

Maria Inês Paes Ferreira • Guilherme Sardenberg Barreto
Jader Lugon Junior • José Augusto Ferreira da Silva
Marcos Paulo Figueiredo de Barros

ENGENHARIA & CIÊNCIAS AMBIENTAIS

contribuições à
gestão ecossistêmica



Maria Inês Paes Ferreira • Guilherme Sardenberg Barreto
Jader Lugon Junior • José Augusto Ferreira da Silva
Marcos Paulo Figueiredo de Barros

ENGENHARIA & CIÊNCIAS AMBIENTAIS

contribuições à
gestão ecossistêmica

Campos dos Goytacazes



2019

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

E57 Engenharia e ciências ambientais: contribuições à gestão ecossistêmica / Organização Maria Inês Paes Ferreira... [et al.]. — Campos dos Goytacazes (RJ): Essentia Editora, 2019.

451 p.: il. (algumas color.)

ISBN 978-85-99968-58-1

1. Sustentabilidade e meio ambiente – Rio de Janeiro (Estado).
2. Desenvolvimento sustentável – Rio de Janeiro (Estado). 3. Gestão ambiental – Rio de Janeiro (Estado). 4. Água – Conservação – Rio de Janeiro (Estado). 5. Áreas protegidas – Rio de Janeiro (Estado). 6. Ecossistemas – Rio de Janeiro (Estado). I. Ferreira, Maria Inês Paes, 1962- (Org.)

CDD 306.098153
CDU 628(81)

© 2019 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Todos os direitos reservados. É proibida a duplicação ou reprodução deste volume, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou quaisquer meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, distribuição na internet ou outros), sem a autorização, por escrito, da Essentia Editora.

Essentia Editora

Rua Coronel Walter Kramer, 357
Parque Santo Antônio - Campos dos Goytacazes/RJ
CEP 28080-565 | Tel.: (22) 2737-5648
www.essentiaeditora.iff.edu.br | essentia@iff.edu.br

Reitor

Pró-Reitor de Administração
Pró-Reitor de Desenvolvimento de Pessoas
Pró-Reitor de Ensino e Aprendizagem
Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional
Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Inovação

CONSELHO EDITORIAL 2016-2017

Adriano Carlos Moura
Cláudia Marcia Alves Ferreira
Desiely Silva Gusmão Taouil
Edinalda Maria Almeida da Silva
Edson Carlos Nascimento
Helvia Pereira Pinto Bastos
Inez Barcellos de Andrade
Jefferson Manhães de Azevedo
José Augusto Ferreira da Silva
Judith Maria Daniel de Araújo
Kíssila da Conceição Ribeiro
Luciano Rezende Moreira
Luiz de Pinedo Quinto Junior
Marcos Antônio Cruz Moreira
Maria Amélia Ayd Corrêa
Mária Ines Paes Ferreira
Paula Aparecida Martins Borges Bastos
Pedro de Azevedo Castelo Branco
Roberto Moll Neto
Vicente de Paulo Santos Oliveira
Wander Gomes Ney

Jefferson Manhães de Azevedo

Guilherme Batista Gomes
Aline Naked Chalita Falquer
Carlos Artur Carvalho Arêas
Jose Luiz Sanguedo Boynard
Vicente de Paulo Santos de Oliveira

CONSELHO EDITORIAL 2018

Cláudia Marcia Alves Ferreira
Danielly Cozer Aliprandi
Denise Rena Haddad
Edson Carlos Nascimento
Eldo Campos
Ferdinanda Fernandes Maia
Gunnar Glauco de Cunto Carelli Taets
Inez Barcellos de Andrade
José Augusto Ferreira da Silva
Kíssila da Conceição Ribeiro
Luciano Rezende Moreira
Marcos Antônio Cruz Moreira
Mária Ines Paes Ferreira
Paula Aparecida Martins Borges Bastos
Pedro de Azevedo Castelo Branco
Raimundo Helio Lopes
Renato Barreto de Souza
Vicente de Paulo Santos Oliveira

EQUIPE EDITORIAL

Editor Executivo
Comissão de Editores Científicos

Revisão de língua portuguesa
Organização e Revisão

Catálogo
Capa, Projeto Gráfico e Diagramação
Revisão técnica
Apoio Técnico

Cláudia Marcia Alves Ferreira
Inez Barcellos de Andrade
Paula Aparecida Martins Borges Bastos
Raimundo Helio Lopes
Rita de Cassia Brison Pires
Mária Inês Paes Ferreira
Guilherme Sardenberg Barreto
Marcos Paulo Figueiredo de Barros
Jader Lugon Junior
José Augusto Ferreira da Silva
Henrique Barreiros Alves
Rodolfo Rodrigues Pontes
Inez Barcellos de Andrade
Thayná Fernandes Ribeiro Toledo

SUMÁRIO

- 06 **PREFÁCIO**
- 08 **GESTÃO DAS ÁGUAS E DE ÁREAS PROTEGIDAS**
- 12 ***Mudanças na paisagem das lagoas costeiras da ecorregião de São Tomé: do século XIX ao século XXI***
Leidiana Alonso Alves (UFF)
José Maria Ribeiro Miro (IFFluminense)
Arthur Soffiati (UFF)
- 29 ***Bacias hídricas da ecorregião de São Tomé: rio Guaxindiba***
Arthur Soffiati (UFF)
- 49 ***Avaliação da gestão participativa na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba***
Davi Pinto Cherene Viana (IFFluminense)
Luis Felipe Umbelino (IFFluminense)
- 63 ***Conhecimento tradicional local e percepção ambiental de pescadores artesanais e catadores de caranguejo: a macrobiota associada aos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, São Francisco do Itabapoana - RJ, Brasil***
Edêmea Faria Carlos da Rocha (IFFluminense)
Maria Inês Paes Ferreira (IFFluminense)
Dalila Silva Mello (IFFluminense)
Thayná Fernandes Ribeiro Toledo (IFFluminense)
- 88 ***Typha domingensis Pers. (Typhaceae): do artesanato à fitorremediação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados***
Mariana Cristina Huguet Marques (UFRJ)
Izabela Silva dos Santos (UFRJ)
Giuliana Franco Leal (UFRJ)
Marcos Paulo Figueiredo-Barros (UFRJ)
- 116 ***Pequenos estuários alimentados por pequenas bacias hidrográficas: estudo de caso dos estuários dos rios Macaé e das Ostras (RJ)***
Glenda Camila Barroso (UFRJ)
Maurício Mussi Molisani (UFRJ)
- 142 ***Conhecimentos ecológicos no processo de enquadramento dos recursos hídricos em classes de qualidade***
Jamilé de Almeida Marques da Silva (UFRJ)
Frederico Meirelles-Pereira (UFRJ)
Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ)
Rosa Maria Formiga-Johnsson (UERJ)

156 *Governança e instrumentos de gestão das águas – uma proposta metodológica para o enquadramento participativo de corpos hídricos baseada no caso da região hidrográfica VIII – Macaé Ostras*

Juliana Nunes Cristo Torres (IFFluminense)
Jade Golzio Barqueta Donnini (IFFluminense)
Gabrielle Martins do Nascimento (IFFluminense)
Maria Inês Paes Ferreira (IFFluminense)

182 *A insustentável “capital do petróleo”: o caso do estuário do rio Macaé*

Rafael Nogueira Costa (UFRJ Macaé)
Fátima Teresa Braga Branquinho (UERJ)
Maurício Mussi Molisani (UFRJ Macaé)

194 **ESTUDOS ECOLÓGICOS E GEOTECNOLOGIAS APLICADOS À GESTÃO ECOSISTÊMICA**

198 *O monitoramento ambiental como subsídio à gestão de ecossistemas aquáticos costeiros: o exemplo da lagoa Imboassica, RJ, Brasil*

Roberto Nascimento de Farias (UFRJ)
Lorena Cescon de Salles (FSMA)
Amanda da Silva Batista Vítório (UFRJ)
Frederico Meirelles-Pereira (UFRJ)
André Megali Amado (UFRN/UFJF)
Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ)
Francisco de Assis Esteves (UFRJ)
Marcos Paulo Figueiredo-Barros (UFRJ)

222 *A qualidade da água e as mortandades de peixes na laguna de Araruama*

Julio Cesar Wasserman (UFF)
Ângelo César Carvalho (UFF)
Kaylanne Montenegro da Silva (FIOCRUZ)
Murilo de Carvalho Vicente (UFF)
Teresa Cristina Soares de Mello Guimarães (UFF)

245 *A fauna de peixes do estuário do rio Macaé e do Arquipélago de Santana e sua relevância para a conservação e gestão ambiental*

Paula Araujo Catelani (UFRJ)
Arthur de Barros Bauer (UFRJ)
Fabio Di Dario (UFRJ)
Luciano Gomes Fischer (UFRJ)
Ana Cristina Petry (UFRJ)

280 *Efeito protetor das esterases em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) expostas ao organofosforado Masoten®*

Eduardo Santos Silva (UERJ)
Carlucio Rocha dos Santos (UFRJ)
Rojane Oliveira Paiva (UFRRJ)
Marcos Massao Murata (UERJ)
Artur Pedro do Carmo Moes (UERJ)
Rodolpho Rocha da Silva (IFFluminense)
Juliana Nogueira Berenger (IFFluminense)
Elimayra Carvalho Pacheco Figueiredo (IFFluminense)
Victor Barbosa Saraiva (IFFluminense)
Vicente de Paulo Santos de Oliveira (IFFluminense)
Manildo Marcião de Oliveira (IFFluminense)

- 293 ***Lagoas costeiras como um laboratório natural para o estudo do metano: ferramenta para o manejo ecossistêmico de corpos d'água***
Claudio Cardoso Marinho(UFRJ)
- 319 ***Disponibilização de geoinformação utilizando plataformas livres: webgis do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba***
Saulo de Oliveira Folharini (UNICAMP)
André Luiz dos Santos Furtado (EMBRAPA)
Regina Célia de Oliveira (UNICAMP)
Davi de Oliveira Custódio (EMBRAPA)
Pedro Romildo da Costa (EMBRAPA)
- 330 ***Estado ambiental: magnitude, alcance temporal e espacial de impactos ambientais no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba***
Saulo de Oliveira Folharini (UNICAMP)
André Luiz dos Santos Furtado (EMBRAPA)
Regina Célia de Oliveira (UNICAMP)
- 344 ***A utilização das geotecnologias em redução de riscos***
Cinthia Maria Amaral (UFF)
Claudio Henrique Reis (UFF)
José Augusto Ferreira da Silva (IFFluminense)
Raul Reis Amorim (Unicamp)
- 407 ***Geotecnologias na fiscalização ambiental: o uso de vants, sig e mapas colaborativos para fins militares***
José Francisco de Oliveira Júnior (PMERJ)
José Augusto Ferreira da Silva (IFFluminense)
Jader Lugon Junior (IFFluminense)
- 432 ***Modelagem do transporte de contaminantes e identificação de fontes com estudo de caso no baixo Macaé***
Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues (UERJ)
Wagner Rambaldi Telles (UFF)
Radael de Souza Parolin (UNIPAMPA)
Jader Lugon Junior (IFFluminense)
Antônio José da Silva Neto (UERJ)

PREFÁCIO

Crise é algo conjuntural, enquanto *colapso* tem caráter definitivo. O mundo recebe o século XXI com uma tal combinação de chamadas *crises* – de segurança, de valores, econômica, ambiental – que o nosso modo de vida parece beirar um *colapso*. Essa constatação levou os líderes políticos de todos os países no mundo a assinarem, em 2012, um documento chamado “O Futuro que Queremos”, na Conferências das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, mais conhecida como Rio+20. Sediados no Rio de Janeiro, 20 anos depois da emblemática Rio 92, tais lideranças demonstraram aspirar um futuro planetário sem pobreza, sem fome, com pleno bem-estar das pessoas e com a natureza conservada. Em setembro de 2015, tal documento se transformou em um acordo global mais detalhado, que propunha um futuro com 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Tais objetivos dão a visão de um mundo economicamente produtivo, socialmente justo e ambientalmente equilibrado.

Mas como a ciência se alinha com essa nova proposta de futuro? Durante boa parte do século XX, a ciência residiu em suas caixas disciplinares. A biodiversidade era para os biólogos. Os problemas sociais, para os sociólogos. Os desafios infraestruturais, para os engenheiros. A economia, para economistas. Esse caráter disciplinar da ciência é tal, que hoje ainda se fala em “sistemas humanos” e “sistemas naturais”, quando, na verdade, com a globalização e as mudanças climáticas, todos os sistemas são “sistemas acoplados homem-natureza”. O comércio liga partes distantes do mundo, assim como um aumento de temperatura de um grau no oceano pacífico causa seca da África, e o desmatamento Amazônico afeta balanço hídrico e de carbono no planeta inteiro. Assim, ciente dos problemas planetários, a ciência tem partido cada vez mais em busca de soluções. Tais soluções não residem na caixa de uma única disciplina, pois a vida real é multi-, inter- e transdisciplinar, enquanto o planeta, cada vez mais confirma a Hipótese de Gaia de James Lovelock, e parece ser um único organismo, onde o bem-estar e bom funcionamento de um órgão, depende de todos os órgãos funcionarem bem.

Com isso, no âmbito dessa transdisciplinaridade e busca de soluções, emerge o que muitos chamam de ciência da sustentabilidade: uma ciência que integra disciplinas e ferramentas econômicas, sociais e ambientais, em busca de solução para alguns dos grandes

desafios do planeta, como a crise hídrica, a crise alimentar, a crise da biodiversidade e a crise climática. Mas a ciência não tem jeito mesmo... e mesmo a ciência da sustentabilidade se divide em pelo menos duas caixas: 1) a que estuda os chamados “sistemas socioecológicos”, que reconhece a interdependência intrínseca do homem e da natureza; e 2) a que estuda os “sistemas tecnológicos”, que busca soluções para os problemas com base em tecnologias. E o escopo, está dividido em busca de soluções globais e busca de soluções locais.

É justamente nesse contexto onde se insere esse interessante livro “Engenharia e Ciências Ambientais: Contribuições à Gestão Ecossistêmica”. Ele define um espaço geográfico de foco, que inclui a Região dos Lagos e o Norte Fluminense, e expõe um conjunto de abordagens que tratam da indissociabilidade homem-natureza. De um lado, o uso de tecnologias de ponta para a prevenção de riscos e desastres naturais, para fiscalização ambiental, para gestão de ativos ambientais, e para caracterização geoespacial. Do outro lado, estudos que relacionam biodiversidade com serviços ecossistêmicos e esses com o bem-estar das pessoas: conhecimento tradicional, cultura, artesanato, com visões históricas e de futuro; bem como combate à poluição e degradação ambiental, e avanços em gestão e governança. Em síntese, o livro traz um pacote de soluções locais, baseadas em governança, em tecnologias e inovação, em ciência – e tudo isso ancorado no entendimento que homem e natureza são “um”.

Curiosa a ciência. Enquanto sua natureza disciplinar persiste, os estudos são publicados em revistas disciplinares, temáticas. E aí vem o que, para mim, torna esse livro delicioso e inspiracional: ele agrupa abordagens e soluções locais, sem qualquer chauvinismo temático, disciplinar ou tecnológico. Isso é feito a partir de agrupamentos inter e trans-institucionais: autores de várias instituições que atuam na região. O isolamento dos guetos e laboratórios acadêmicos aqui não se verifica. Para ir ao encontro de soluções, precisamos mesmo de muitas cabeças de diferentes origens.

À luz da melhor ciência disponível, tudo vale para encontrar soluções para problemas que afligem essa parte do estado do Rio de Janeiro. Os ensinamentos desse livro remetem à possibilidade desse conhecimento todo ganhar escala e orientar soluções em outras partes do Rio, do Brasil, do mundo.

Por fim, o livro ainda nos remete à seguinte reflexão: para chegarmos ao “Futuro que Queremos” traçado pelas Nações Unidas, precisamos imaginar a “Região que Queremos”. Esse pacote de abordagens e soluções que o livro traz nos oferece precisa agora ser apropriado por tomadores de decisão que aprendam e encaminhem medidas para que a Região dos Lagos, o Norte Fluminense e o estado do Rio como um todo, caminhem as trilhas do desenvolvimento sustentável.

Boa leitura!

Fabio Rubio Scarano

Diretor Executivo da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)
Professor Associado da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Professor do Programa de Ciências Ambientais e Conservação da UFRJ-Macaé

APRESENTAÇÃO

GESTÃO DAS ÁGUAS E DE ÁREAS PROTEGIDAS

Desde os anos 30, pesquisadores da biologia da conservação propõem a adoção da gestão baseada nos ecossistemas – *ecosystem based management* – EBM (também denominada gestão ecossistêmica) como modelo a ser empregado para a conservação da biodiversidade¹. Na década de 70, a proposta foi ampliada, transformando-se em inspiração para cientistas políticos, geógrafos e outros profissionais que estudam as questões ambientais, que, desde então, advogam sua importância na formulação de políticas públicas inovadoras. Apesar de ter sido popularizada nos meios acadêmicos como visão norteadora de gestão, sua implementação usualmente é restrita, uma vez que implicaria a transcendência das fronteiras político-administrativas nacionais, regionais e locais para que se pudessem planejar e executar ações integradas, pensando os territórios em termos de fronteiras ecossistêmicas.

A década de 80 foi marcada por diversas tentativas de colocar em prática esses debates conceituais e de incorporá-los às políticas públicas, mas com resultados ainda restritos ao campo das áreas protegidas e da conservação da Natureza. Nos anos 90, o Serviço de Florestas americano adotou a gestão de ecossistemas como política oficial para gerenciar florestas nacionais, e algumas outras agências governamentais seguiram esse exemplo, incentivando a cooperação dos proprietários de terras locais e do poder público. No Brasil, a inspiração trazida pela ECO 92 alcançou horizontes ampliados que incorporaram essa visão sistêmica de gestão à política ambiental brasileira, traduzida de forma concreta na Lei das Águas, em nível federal, e na divisão do estado do Rio de Janeiro em macrorregiões ambientais, em nível estadual. A Política Nacional de Recursos Hídricos foi pioneira ao incorporar o olhar integrador, estabelecendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, conforme preconizado por Odum.

As macrorregiões ambientais transcendiam as fronteiras político-administrativas dos municípios, considerando as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão para as ações governamentais em prol da manutenção da qualidade ambiental, envolvendo poder público, usuários dos recursos ambientais e sociedade civil. Em estruturas denominadas consórcios, subsidiadas pelos entes federativos municipais e

¹ Para maiores detalhes sobre o histórico da evolução do conceito, recomenda-se a leitura da revisão "What is Ecosystem Management?", de R. Edward Grumbine, publicada em 1994 na revista *Conservation Biology*, v. 8, n.1, p. 27-38.

empresas com ativa participação da sociedade civil organizada, buscou-se promover conexões interinstitucionais transescalares² dentro de seus territórios de abrangência. Advogamos que os conflitos federativos inerentes à efetivação dessa concepção de gestão ambiental levaram o governo do estado a restringir a proposta inicial à divisão do estado em regiões hidrográficas, cujo escopo de gestão foi reduzido à gestão dos recursos hídricos, de competência normativa e deliberativa dos Comitês de Bacia e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Em sequência à Lei das Águas, criado e regulamentado entre 2000 e 2002, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) introduziu componentes de participação dos diversos segmentos envolvidos e comprometidos com a conservação da Natureza. Os Conselhos Gestores das Unidades seriam assim os fóruns de participação e controle social que permitiriam mediar os conflitos entre conservação e desenvolvimento econômico que se estabelecem na gestão, devidos à criação desses espaços territoriais especialmente protegidos pela legislação brasileira. Postulamos aqui que, como contraponto a modelos de desenvolvimento insustentáveis, a garantia da qualidade ambiental está associada à necessidade de criação de “regimes especiais de proteção dos recursos naturais”³. Adotamos, portanto, o conceito ampliado de tipologias de áreas protegidas, para além das Unidades de Conservação (UC) estabelecidas pelo SNUC e das áreas de preservação permanente descritas no Código Florestal. Nessa visão ampliada, incluem-se também as zonas de amortecimento das UC; as áreas destinadas às comunidades tradicionais, quais sejam, as terras indígenas e os territórios quilombolas; as áreas tombadas; os monumentos arqueológicos e pré-históricos; as áreas especiais e locais de interesse turístico, destinados à prática do ecoturismo; as reservas da biosfera; os corredores ecológicos; os espaços protegidos constitucionalmente como patrimônio nacional, como a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica, a Serra do Mar e a Zona Costeira, entre outros⁴.

Na seção a seguir, exemplificamos algumas contribuições que a engenharia e as ciências ambientais podem fornecer para o desenvolvimento de instrumentos e práticas de gestão ecossistêmica, fortemente ancorados em componentes de resgate da história ambiental e da participação social em ecorregiões. Esses territórios são importantes para a conservação de águas e da biodiversidade da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, que abrange dezessete estados brasileiros e todo o território do estado do Rio de Janeiro.

Iniciamos a seção com a descrição da história ambiental da “ecorregião de São Tomé” (denominação plasmada por Aristides Soffiati) no capítulo *Mudanças na paisagem das Lagoas costeiras da ecorregião de São Tomé: do Século XIX ao Século XXI*, seguido pela

² Paulo Freire Vieira e Friket Berkes apontam, contudo, que “permanece uma questão em aberto: saber se a gestão ecossistêmica pode funcionar como uma instituição promotora de conexões transescalares” (VIEIRA, P. F., BERKES, F., SEIXAS, C. S. **Gestão Integrada e Participativa de Recursos Naturais: Conceitos, Métodos e Experiências**. Florianópolis: APED, 2005. cap. 9).

³ Para maiores detalhes, recomenda-se a obra: MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, v.9, n1, p. 41-64, 2006.

⁴ Detalhes sobre a tipologia desses espaços protegidos podem ser encontrados em: PEREIRA, P. F. **Conceito e implicações dos espaços territoriais especialmente protegidos no ordenamento ambiental**. 2006. 63 p. Monografia (Especialização em Desenvolvimento Sustentável e Direito Ambiental) - Universidade de Brasília, UnB-CDS, 2006.

descrição da bacia hidrográfica do rio Guaxindiba no capítulo *Bacias hídricas da ecorregião de São Tomé: rio Guaxindiba*, parcialmente protegida por uma UC de Proteção Integral, a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, também abordada no capítulo seguinte, intitulado *Avaliação da gestão participativa na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba*. O trabalho de pesquisa apresentado foi ancorado na percepção ambiental dos membros do seu Conselho Gestor, técnica consagrada em estudos de caso no campo da gestão participativa.

Aliando o conhecimento tradicional ao acadêmico, no capítulo *Conhecimento tradicional local e percepção ambiental de pescadores artesanais e catadores de caranguejo: a macrobiota associada aos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú*, apresentamos um estudo de percepção de usuários tradicionais dos recursos dos manguezais de Gargaú, na Região Hidrográfica IX do estado do Rio de Janeiro. A diversidade biológica por eles reconhecida fornece subsídios importantes para a proposta de criação de uma UC de Uso Sustentável na região, ressaltando-se que a proteção especial desse território é ventilada há décadas por órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente, pesquisadores e ambientalistas.

Na sequência, aborda-se a Região Hidrográfica VIII do estado do Rio de Janeiro, que compreende as bacias hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras e da Lagoa Imboassica. Aceleradamente ocupada nas últimas décadas em função da economia do petróleo, sua zona costeira vivencia a degradação ambiental como “um outro lado do progresso”. O conhecimento ecológico associado ao saber local pode mitigar impactos ambientais negativos da eutrofização de lagoas costeiras, como a Lagoa Imboassica. Resignificada como estratégia simultânea para melhoria de qualidade ambiental e geração de renda, no capítulo *Typha domingensis Pers (Typhaceae): do artesanato à fitorremediação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados*, essa planta aquática é tradicionalmente empregada pela comunidade de Gargaú, que inspira as propostas dos autores sobre fitorremediação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados.

Os estuários dos rios Macaé e das Ostras são caracterizados em termos de quantidade e qualidade das suas águas, com foco na hidroquímica, produção primária do fitoplâncton e no fluxo de materiais entre o continente e o oceano no capítulo *Pequenos estuários alimentados por pequenas bacias hidrográficas: estudo de caso dos estuários dos rios Macaé e das Ostras*, que se propôs a estudar a hipótese de que estuários com uma mesma classificação podem apresentar comportamentos diferentes. Os autores nos apresentam um amplo histórico das diferentes classificações propostas para estuários, considerando as particularidades geográficas, de ocupação humana e de marés.

Qualificar atores sociais tradicionalmente excluídos dos processos de gestão ambiental para o gerenciamento de recursos hídricos passa pela provisão de conhecimentos ecológicos necessários ao enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade, de acordo como os usos prioritários estabelecidos coletivamente pela sociedade. Tal processo é debatido no capítulo *Conhecimentos ecológicos no processo de enquadramento dos recursos hídricos em classes de qualidade*. Como

objetos de estudo, são utilizadas a análise do enquadramento legal e a gestão dos recursos hídricos por meio da participação popular no contexto do Comitê de Bacias.

Permeando a hidrotécnica e a hidropolítica, a condução do processo de enquadramento requer compatibilizar conflitos relativos aos seus usos múltiplos, que se acentuam em situação de escassez, já vivenciada em nível regional. No capítulo *Governança e instrumentos de gestão das águas – uma proposta metodológica para o enquadramento participativo de corpos hídricos baseado no caso da Região Hidrográfica VIII – Macaé Ostras*, é apresentada uma metodologia para a implementação desse instrumento de gestão das águas, de forma a refletir sobre os rios que temos, que queremos e que podemos ter.

Fechamos a seção com uma crítica ao modelo de crescimento acelerado impulsionado pela economia do petróleo no capítulo *A insustentável “capital do petróleo”: o caso do estuário do rio Macaé*, explicitando a situação ambiental emblemática de um município no qual o bônus do crescimento não se traduz em prosperidade, mas em ônus para expressiva parcela da população. Reverter esse quadro passa pela participação cidadã qualificada, que consideramos vital para o sucesso da gestão integrada e participativa das águas.

MUDANÇAS NA PAISAGEM DAS LAGOAS COSTEIRAS DA ECORREGIÃO DE SÃO TOMÉ: DO SÉCULO XIX AO SÉCULO XXI

Leidiana Alonso Alves (UFF) · José Maria Ribeiro Miro (IFFluminense) · Arthur Soffiati (UFF)

Introdução

Alexander von Humboldt (1769-1854) foi um naturalista que utilizou todo o aparato técnico e instrumental disponível na sua época para descrever paisagens. Mensurou praticamente tudo o que era possível contar, levantou grande quantidade de dados sobre paisagens e até estabeleceu correlações metodológicas e cartográficas, como as isolinhas, ou seja, técnica cartográfica de marcar espaços com identidade similar, por exemplo, a distribuição da vegetação ou de outros atributos do ambiente. Sua obra parece ter chamado a atenção do mundo para os aspectos dos Trópicos e para outra forma de ver a natureza. Mas ele não foi o único¹.

Os relatos de viagens, diários, manuscritos, mapas e impressos escritos por comerciantes, marinheiros, piratas e traficantes, muito além dos “homens de ciência”, descreveram o território brasileiro. Essas informações chegavam à elite europeia. Por meio desses documentos, conheciam-se detalhes das rotas marítimas, geografias do litoral brasileiro, a profundidade do oceano, a direção de ventos e correntes, as depressões e as ilhas. Além disso, eles mostravam a presença de assentamentos europeus na costa e as características das populações autóctones. Mas, e principalmente, os produtos que poderiam ser extraídos ou cultivados na colônia portuguesa, como ouro e diamantes².

No livro *Viagem ao Brasil*, Maximiliano Alexandre Philipp (1782-1867), Príncipe de Wied-Neuwied, atualmente pertencente à Alemanha, relata sua viagem pelo Brasil entre os anos de 1815 e 1817, pelos atuais estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia. Sua descrição é rica e nos relata a História Natural, a cultura indígena e a escravidão negra nesse território. Isso mostra a curiosidade dos europeus da sua época sobre o Brasil e sua natureza³.

¹ VITTE, A. C.; SILVEIRA, R. W. D. Considerações sobre os conceitos de natureza, espaço e morfologia em Alexander von Humboldt e a gênese da geografia física moderna. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p.607-626, jul./set. 2010.

² DOMINGUES, A. O Brasil nos relatos de viajantes ingleses do século XVIII: produção de discursos sobre o Novo Mundo. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 28, n. 55, p. 133-152, 2008.

³ COSTA, C. R. **O Príncipe Maximiliano de Wied-Neuwied e sua Viagem ao Brasil (1815-1817)**. Dissertação (Mestrado em História) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2008.

Evidentemente, muitas coisas mudaram no litoral sul do Espírito Santo passados dois séculos da excursão do Príncipe. Desta forma, pretende-se destacar neste capítulo algumas dessas diferenças e mostrar aos leitores, interessados nas discussões ambientais, o quanto pode ser útil recorrer a esse tipo de documento. Convidamos os leitores a desfrutar do que disseram os viajantes dos séculos passados sobre essa terra e seus costumes.

A ecorregião de São Tomé

A região costeira entre os rios Macaé (RJ) e Itapemirim (ES) constitui uma Região Natural pelos critérios estabelecidos por Bertrand⁴, pois apresenta singularidades morfoclimáticas internas: formada por um grande acrescido Quaternário de terrenos que afastam a zona serrana do mar e áreas mais antigas constituídas pela Formação Barreiras, com cerca de 60 milhões de anos, que se supõe ter origem continental e oceânica⁵; clima influenciado por massas de ar que sopram do oceano Atlântico na direção da Serra do Mar⁶; domínio do bioma de Mata Atlântica e suas variações biogeográficas definidas pelas condições físicas intrarregionais⁷; e um desenvolvimento econômico baseado em atividades que levaram ao desmatamento acelerado dos ambientes das baixadas e dos tabuleiros, permanecendo preservada a zona Cristalina, por seu relevo acidentado e de difícil acesso até tempos mais recentes⁸.

No início do Holoceno (11 mil anos A. P.), os terrenos da Formação Barreiras se estendiam do rio Macaé ao Itapemirim, cortados em três porções pelos rios Itabapoana e Paraíba do Sul. No Holoceno, o nível do mar subiu e iniciou um processo de transgressão marinha que invadiu o vale do rio Paraíba do Sul e alcançou a lagoa de Cima. O Máximo Transgressivo Holocênico foi registrado em 5.100 anos A.P. Antes dele, o setor sul da Região Natural, entre o rio Macaé e a antiga foz do Paraíba do Sul, avançava no mar a uma distância maior do que a atual, além de já existir uma faixa de restinga entre os atuais rio Macaé e Barra do Furado, constituída há 123 mil anos A.P. e protegida da transgressão marinha pela altitude⁹.

Ao invadir a porção baixa da Formação Barreiras, o mar formou uma semilaguna cercada por ilhas. A costa leste era, então, mais recuada do que no presente. Com a regressão marinha a partir de 5.100 anos A.P., o rio Paraíba do Sul foi progredindo no interior da semilaguna e formando uma planície aluvial. Junto ao litoral, formou-se uma grande restinga de gênese marinha pelo transporte de sedimentos fluviais do Paraíba

⁴ BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *Revista RA´E GA*, Curitiba: Editora UFPR, n.8, p.141-152, 1968.

⁵ ARGENTO, M. S. F. **A contribuição dos sistemas cristalino e barreira na formação da Planície Deltaica do Paraíba do Sul**. 1987. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, 1987.

⁶ BERNARDES, L. M.C. Tipos de clima do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, Ano XIV, n.1, p.57-80, jan./mar. 1952.

⁷ CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. *Geografia do Brasil*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

⁸ SOFFIATI NETTO, A. A. Histórico Sócio-ecológico: Aspectos históricos das lagoas do norte do estado do Rio de Janeiro In: ESTEVES, F. A. **Ecologia das lagoas costeiras**. Macaé: NUPEM/UFRJ, 1998.

⁹ MARTIN, L. et al. **Geologia do Costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 1997.

do Sul, que atuou como um espigão hídrico. Constituiu-se, assim, a ecorregião de São Tomé, nome que alude ao Cabo de São Tomé, no ponto em que a costa descreve forte orientação para o norte, e à Capitania de São Tomé, primeira tentativa de colonização europeia da Ecorregião¹⁰.

O grande aterro é amparado por três unidades de tabuleiro: a primeira entre os rios Macaé e Paraíba do Sul; a segunda entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana; e a terceira entre os rios Itabapoana e Itapemirim. Nesse recorte, foi construída uma grande planície aluvial pelo rio Paraíba do Sul e as três restingas a seguir: a de Carapebus, a do Paraíba do Sul e a de Marobá, como se vê na Figura 1.

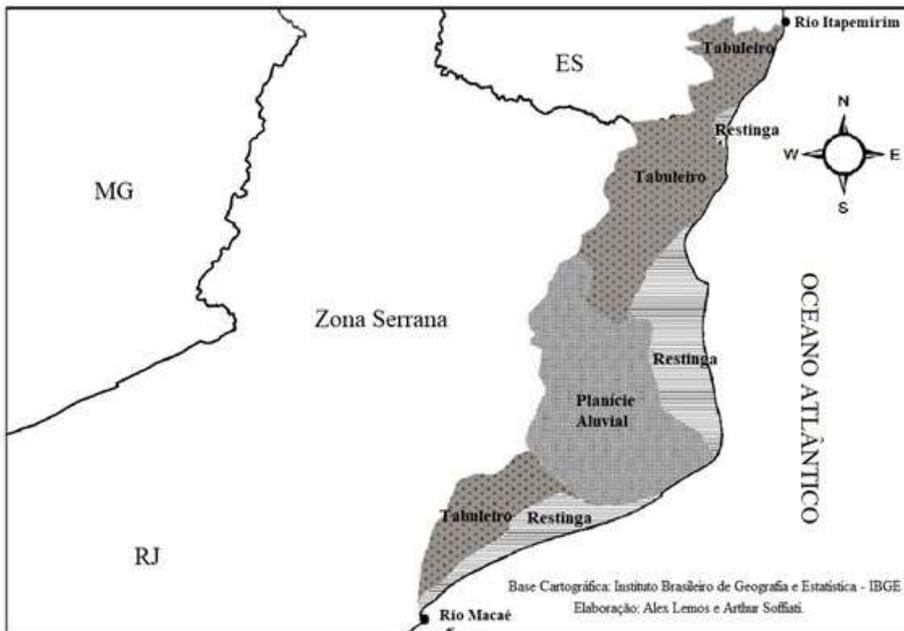


Figura 1: Localização da Ecorregião de São Tomé

Fonte: Adaptado de Lemos e Soffiati (2015)¹¹

José Saturnino da Costa Pereira¹² percebeu que esse grande aterro afastava o mar da zona serrana. Por sua vez, o geólogo canadense Charles Frederick Hartt¹³ entendeu que a zona serrana é que se afasta do mar. Estudos posteriores mostraram que Pereira teve intuição mais precisa do que Hartt.

¹⁰ Existem duas grandes interpretações sobre a formação do delta do Paraíba do Sul. A primeira foi apresentada entre 1945 e 1955 por Alberto Ribeiro Lamego. A segunda, mais recente e mais atualizada, é a que embasa as explicações aqui apresentadas e pode ser encontrada em Martin *et al.* (1997).

¹¹ Adaptado de LEMOS, A.; SOFFIATI NETTO, A. A. Norma e anomalia em fenômenos climáticos na ecorregião de São Tomé. In: SIQUEIRA, Antenor *et al.* (Org.). **Riscos de desastres relacionados à água**: aplicabilidade de bases conceituais das Ciências Humanas e Sociais para a análise de casos concretos. São Carlos: Rima, 2015.

¹² PEREIRA, J. S. C. **Apontamentos para a formação de um roteiro das costas do Brasil, com algumas reflexões sobre o interior das Províncias e suas produções**. Rio de Janeiro: Tipografia Nacional, 1848.



Figura 2: Formação da planície deltaica do rio Paraíba do Sul

Fonte: Adaptado de Martin et al. (1997)¹⁴

Na Figura 2, observa-se a configuração da drenagem regional há 5 mil anos A.P., em que materiais foram transportados das áreas de tabuleiros para regiões mais baixas, próximas do litoral. Somando-se a isso, sedimentos argilosos do rio Paraíba do Sul e arenosos oriundos das correntes marinhas condicionaram a formação geológico-geomorfológica regional. Esse é o material de origem da região, onde hoje se encontram diversas lagoas, canais e brejos que a caracterizam¹⁵.

¹³ HARTT, C. F. **Geologia e Geografia Física do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1941.

¹⁴ MARTIN, L. et al. **Geologia do Costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 1997.

¹⁵ *Ibidem*.

A paisagem do litoral sul do estado do Espírito Santo

A natureza

O que se convencionou chamar de região sul do Espírito Santo não existia antes da divisão territorial definida pela organização político-administrativa do Brasil colonial, imperial e republicano. Atualmente, o Sul Capixaba pode ser delimitado pelos rios Itapemirim, ao norte, e Itabapoana, ao sul. Esses dois rios encerram a unidade setentrional de tabuleiros da ecorregião de São Tomé. Além dos dois rios, essa unidade era cortada por pequenos cursos d'água, com orientação noroeste-sudeste. Do norte para o sul, sucediam-se os córregos Funda, Encantada, D'anta, do Siri, da Lagoinha, das Pitas, dos Cações, do Mangue, Caculucage, dos Quartéis, da Tiririca, da Boa Vista e de Marobá. Suas depressões, quando barradas na foz, transformaram-se em lagoas.

A vegetação nativa original é atualmente classificada como Mata Atlântica Estacional Semidecidual, ou seja, uma formação de terras baixas e sujeitas à dupla estacionalidade: uma seca e outra úmida. Na estação úmida, provocada pelas chuvas entre fins de outubro e fins de março, a mata se apresenta completamente verde. Na estação seca, que normalmente ocorre entre o mês de abril e início de outubro, as árvores podem perder de 20 a 50% das folhas¹⁶.

Na excursão que empreendeu do Rio de Janeiro a Salvador pela costa brasileira, entre 1815 e 1817, o naturalista alemão Maximiliano de Wied-Neuwied, ao cruzar o sul do Espírito Santo, anotou:

Seguimos através de grandes matas virgens, alternadas com extensões arenosas e descampadas onde descobrimos muitos rastos de antas (*Tapirus americanus*) e veados [...]. Nadando próximo à costa, cujas praias procuram na primavera, viam-se as grandes tartarugas marinhas soerguendo lentamente, acima d'água, as cabeçorras redondas [...]. As barrancas e a parte alta da costa são em toda região cobertas de florestas, em que ninguém se aventura a penetrar [...]. À proporção que avançávamos, a floresta se tornava cada vez mais bela, fechada e altaneira; os troncos compridos e esguios formavam uma sombria trama, de modo que o caminho, coberto de todos os lados, parecia um túnel estreito e escuro¹⁷.

Quanto à população nativa, Wied-Neuwied relata em seu diário que:

A viagem de Itabapoana para o norte exige alguma precaução, porque o viajante tem que atravessar um trecho de seis a oito léguas, até o rio Itapemirim, em que os Puris (Figura 3) sempre têm se mostrado hostis. Como já tivessem cometido vários assassinatos terríveis nesse distrito, achou-se conveniente estabelecer um posto militar, chamado Quartel ou Destacamento das Barreiras [...]. Numa eminência, sobranceiras ao mar, construíram duas casas de barro e plantaram um pouco de mandioca e de milho para a subsistência dos soldados. A costa sobe, nesse ponto, em ribanceiras de argila, altas e perpendiculares barreiras, em cujo topo fica o quartel; deste se descortina, por isso, amplo panorama do oceano, para o norte e para o sul do litoral, onde as tropas dos viajantes são vistas a grande distância¹⁸.

¹⁶ VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991.

¹⁷ WIED-NEUWIED, M. **Viagem ao Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1989. p. 129.

¹⁸ *Ibidem*, p.129-30.

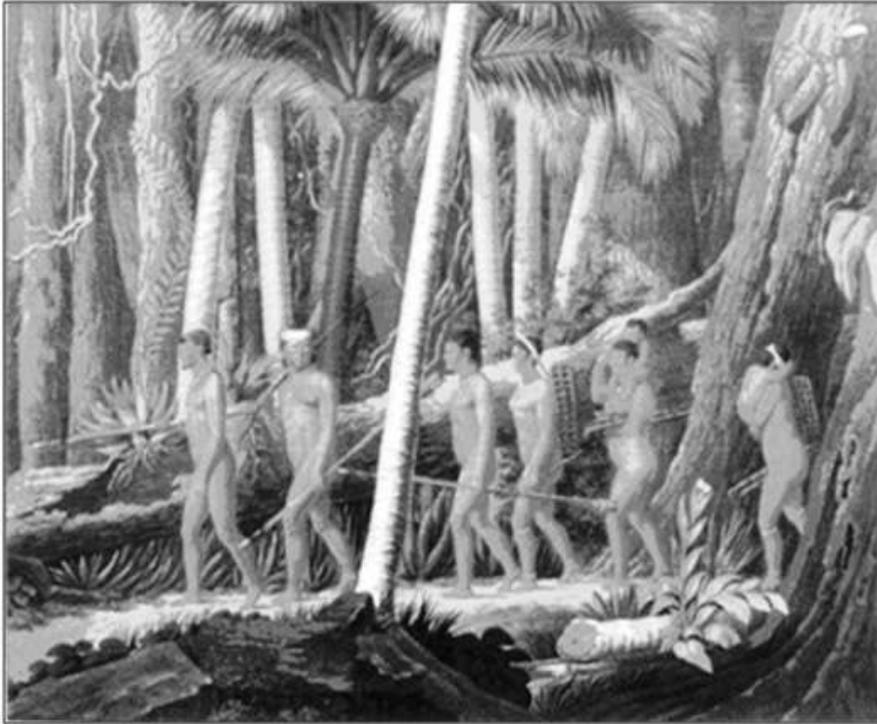


Figura 3: Família de índios Puris na mata

Fonte: Fayet (2006)¹⁹

Ante a ameaça verdadeira ou exagerada que os nativos representavam, a expedição de Maximiliano observou que:

Tendo ainda que viajar quatro léguas pelo distrito assolado pelos Puris, entre os rios Itabapoana e Itapemirim, tomamos a precaução de caminhar em grupo compacto, e avançamos lentamente, sob escolta, através de uma planície arenosa, firme e perfeitamente horizontal, acompanhando as íngremes encostas do litoral, formadas de argila branca, amarela ou castanho-avermelhada, e camadas de arenito ferruginoso²⁰.

Pelas palavras do naturalista alemão, pode-se concluir que o terreno entre os rios Itabapoana e Itapemirim era constituído por barreiras que ondulavam, criando áreas altas e depressões, terrenos esses revestidos por luxuriantes florestas, habitadas pelos índios do grupo Puri, do tronco Macro-jê²¹. O trecho entre os dois rios já era percorrido por descendentes de colonos que, por sofrerem ameaça dos índios, eram de certa forma protegidos por um quartel localizado em ponto privilegiado, que permitia descortinar

¹⁹ FAYET, A.L. Imagens etnográficas de viajantes Alemães no Brasil do século XIX. *Revista Chilena de Antropología Visual*, Santiago, n. 7, p. 31-59, 2006.

²⁰ WIED-NEUWIED, M. *Viagem ao Brasil*. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1989. p. 131.

²¹ FREIRE, J.R.B.; MALHEIROS, M.F. *Aldeamentos indígenas do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 1997.

longas distâncias a norte e a sul. Em alusão a ele, ainda existe a lagoa dos Quartéis. E, como reminiscência da visão privilegiada, existe uma lagoa próxima que foi denominada de Boa Vista. Caminhando pela praia, o naturalista descreve as falésias altas do Grupo Barreiras, com suas concreções ferruginosas, que ainda se encontram no litoral. O sul do Espírito Santo dava continuação ao norte do Rio de Janeiro. Duas unidades de tabuleiros de formação barreiras apenas separadas pelo rio Itabapoana e pela pequena restinga de Marobá.

O extrativismo e a agropecuária

Maximiliano²² registra que, “Na terra, as construções do destacamento são compactamente cercadas por sombria floresta secular, em que já se havia começado a fazerem roçados”.

Na chegada à lagoa do Siri, encontrou-se um povoamento completamente abandonado devido aos ataques dos índios. Alcançando o rio Itapemirim, o alemão encontrou uma pequena e recente vila com boas construções, embora habitada por agricultores pobres, pescadores e poucos artífices²³.

No que concerne ao rio Itapemirim, Maximiliano relata que:

O rio, no qual se viam alguns pequenos brigues ancorados, é muito estreito, mas comporta certo comércio de produtos das plantações, como açúcar, algodão, arroz, milho e madeira das florestas. Um temporal, que desabou na serra, veio mostra-nos quão rápida e perigosamente sobem as águas na zona tórrida; porque o rio se tornou logo tão caudaloso, que quase transbordou: aliás, tem sempre correnteza maior que o Itabapoana²⁴.

Pelos registros de Wied-Neuwied, ficamos sabendo que as altaneiras florestas estacionais semidecíduais do Sul Capixaba estavam sendo progressivamente suprimidas, tanto para o uso agrícola quanto para a comercialização de lenha e madeira. Embora acusados de ataques, os Puris perdiam aos poucos as florestas que lhes ofereciam refúgio. Alguns já falavam o português e passavam por processo de aculturação e de extermínio. Seus territórios desmatados davam lugar a lavouras e pastagens. Aproveitada uma parte para subsistência dos habitantes de Itapemirim, o excedente da produção era vendido para outros núcleos populacionais, chegando a eles por meio de embarcações que ancoravam no rio Itapemirim.

Embora de forma incipiente, o sul do Espírito Santo se integrava aos poucos numa economia de mercado. E foi assim posteriormente. A lavoura de cana e a pecuária cresceram. Junto a essas atividades, passou-se também a plantar coco e abacaxi. Atualmente, o Sul Capixaba é um dos grandes produtores de abacaxi. Pouco a pouco, as florestas foram suprimidas da área. Restaram pequenos fragmentos delas, como se observa no município de São Francisco de Itabapoana. O mesmo ocorreu com os manguezais dos rios Itapemirim e Itabapoana, além de pequenos fragmentos que cresceram no estuário dos córregos.

²² WIED-NEUWIED, M. **Viagem ao Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1989. p. 129.

²³ *Ibidem*, p. 132.

²⁴ *Ibidem*, p. 132-133.

A fauna nativa relatada por Wied-Neuwied, constituída, inclusive, de animais de grande porte, como a anta, por exemplo, extingue-se na região pela destruição de seus habitat e pela caça.

A urbanização

Ao passar pelo sul do Espírito Santo em 1815, Maximiliano registrou algumas casas abandonadas na lagoa do Siri em decorrência dos ataques indígenas. Logo adiante, à beira de uma lagoa não nomeada por ele, havia duas casas habitadas por pessoas poderosamente armadas para se defenderem dos índios. Finalmente, nesse trecho da viagem, ele e sua expedição chegam à vila de Itapemirim, distante sete léguas da Fazenda Muribeca, na margem do rio Itabapoana²⁵.

Verifica-se que, no processo de urbanização da ecorregião de São Tomé, os principais núcleos urbanos estão localizados na linha de costa, como a cidade de Itapemirim, as localidades de Santa Clara, Guaxindiba e Gargaú, a norte do rio Paraíba do Sul; enquanto a sul encontram-se Atafona, Grussaí, Farol de São Tomé e a cidade de Macaé. No interior, destaca-se a cidade de Campos dos Goytacazes. Rigorosamente junto ao mar, nota-se que vilas e cidades fixaram-se e cresceram nas duas pontas do arco que a ecorregião configura. Na porção norte, Itapemirim cresceu tanto em direção à costa que, recentemente (14 de janeiro de 1992), se desmembrou dando origem ao município de Marataízes.

Atualmente, Marataízes recebeu, pelos entusiastas, o título de capital nacional do abacaxi pérola e conta com aproximadamente 35 mil habitantes. A cidade cresce rapidamente para o sul, acompanhando a linha de costa na direção da margem esquerda do rio Itabapoana. O município faz fronteira com Itapemirim e Presidente Kennedy, na verdade, os três municípios que estão sendo analisados.

Santos²⁶ ressalta que a urbanização brasileira no século XIX apresentava características diferentes das que acontecem hoje, pois tratava-se muito mais da criação de cidades e vilas, subordinadas a uma economia agrícola de relações fracas entre os lugares, num país de grande dimensão territorial, do que se observa a partir do século XX, quando a urbanização se subordinou à economia industrial. Mesmo assim, com o processo, formaram-se bases para o povoamento e a criação de riquezas nas cidades brasileiras no litoral e no interior, denominada pelo autor como *mecanização de território*.

²⁵ *Ibidem*, p.132.

²⁶ SANTOS, M. **A urbanização Brasileira**. 5. ed. 3 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013. p. 22.

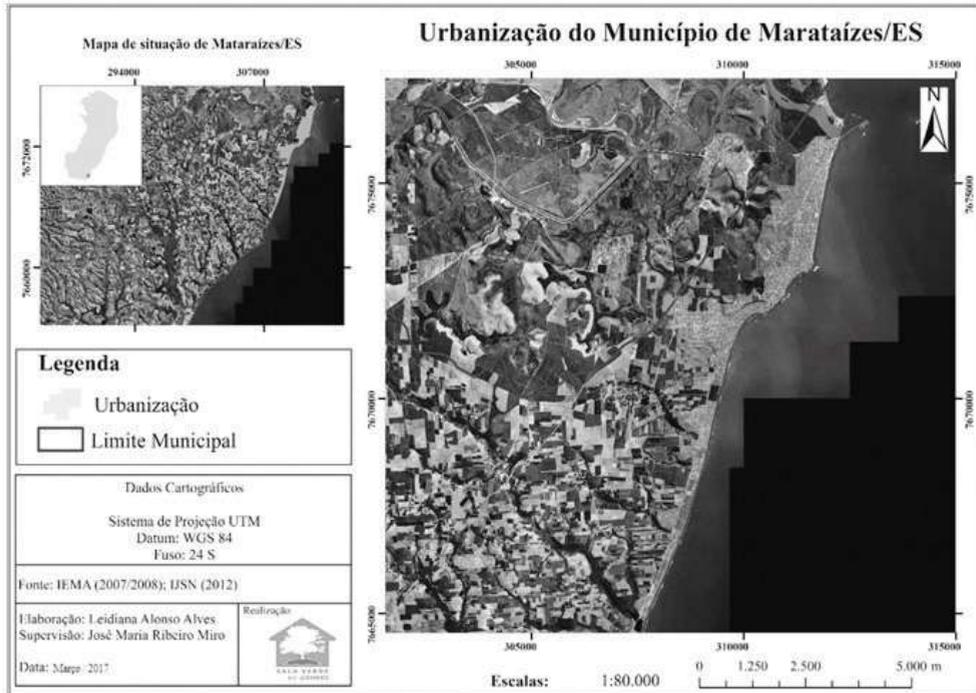


Figura 4: Expansão urbana do município de Marataízes

Fonte: Elaborado pelos autores

20

Marataízes hoje está em franco crescimento no sentido norte-sul. Como ilustrado na Figura 4, observa-se que ele já se conurbou com Itapemirim e, em direção ao sul, atingiu a lagoa do Siri e a Lagoinha. Embora o sul do Espírito Santo seja pouco povoado, já existem núcleos urbanos nas barras das lagoas de Marobá, Boa Vista, Tiririca e dos Cações.

A degradação progressiva das lagoas

O desmatamento, a agropecuária e a urbanização do sul do Espírito Santo se iguala aos erros de outras regiões do país. O desflorestamento indiscriminado empobreceu a biodiversidade, deixou o solo exposto à erosão e à laterização. Com a supressão das matas protetoras de nascentes e margens, a erosão forneceu sedimentos para o assoreamento das lagoas. O regime intermitente imposto às barras dos córregos comprometeu seriamente os estuários, zona formada pelo encontro da água doce continental com a água salina do mar, formando um ecossistema de água salobra. Isso favorece o desenvolvimento da vegetação de manguezal, no Sudeste do Brasil, representado pelas espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia Schaueriana*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, todas elas exclusivas de manguezal²⁷.

²⁷ SOFFIATI, A.A. **Os manguezais do sul do Espírito Santo e do norte do Rio de Janeiro com alguns apontamentos sobre o norte do sul e o sul do norte**. Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia, 2014.

Três ou quatro lagoas desapareceram em decorrência do crescimento desordenado de Marataízes. Antes várias alcançavam o mar, hoje isso não acontece mais. Uma delas, pelo menos, com formato arredondado, localizava-se numa área de baixada junto ao mar, o que favorecia o acúmulo de água da chuva e do lençol freático.

As lagoas da Região Sul Capixaba apresentam orientação noroeste-sudeste, revelando sua formação relacionada aos rios que desciam das serras e dos tabuleiros, até que foram barrados por processos sedimentares junto ao mar. Contudo, várias delas perderam seus estuários, que foram utilizados para o abastecimento público de água, como por exemplo, das lagoas Funda, Encantada e D'anta (Figuras 5 e 6).



Figuras 5 e 6 – Ilustram plantações e o crescimento urbano nas margens da lagoa Funda

Foto: Arquivo dos autores

Em algumas ainda há comunicação subterrânea e fragmentária, o que permite as águas da lagoa D'anta chegar ao mar e desenvolver alguns exemplares de espécies exclusivas de manguezal, descaracterizado por espécies invasoras tolerantes à água e salinidade, como o algodoeiro da praia (*Talipariti pernambucense*), o rabo-de-galo (*Dalbergia ecastaphyllum*) e a samambaia do brejo (*Achrostichum aureum*). Isso ocorre também com as lagoas Funda ou Encantada, que possui um pequeno defluente ligando uma delas ao mar, mas que somente uma pesquisa mais acurada poderá revelar a qual pertence. Pela orientação geográfica, este defluente parece mais continuação da lagoa Funda do que da Encantada, embora os moradores afirmem pertencer a esta última.

Aliás, alguns pequenos córregos-lagoas foram soterrados pelo crescimento urbano de Marataízes e perderam seus nomes, restando apenas fragmentos irreconhecíveis. As lagoas Funda, Encantada e D'anta também começam a ter seus nomes trocados por força do tempo. A lagoa D'anta sugere a presença de antas no passado, animal registrado por Maximilian de Wied-Neuwied apenas pelo rastro. Somente a partir da lagoa do Siri, os nomes permanecem fixos, sendo que a dos Cações foi restrita a um pequeno vale cultivado, que só volta a existir enquanto lagoa nas estações chuvosas.

Mais ao sul, no interior da grande Marataízes, encontram-se as lagoas do Siri e Lagoinha. A margem esquerda da primeira foi desmatada para dar lugar à plantação de

coqueiros, numa colina de tabuleiro sem obediência às curvas de nível. O resultado é o assoreamento da lagoa pela erosão. A estrada ES-060 foi recentemente asfaltada e cruza a lagoa através de uma ponte. Na barra da lagoa do Siri (Figuras 7 e 8), quase sempre fechada, formou-se um balneário turístico, atividade que produz esgoto e resíduos sólidos que são lançados *in natura* no corpo hídrico.



Figuras 7 e 8 – A primeira mostra a estrada ES-060 fragmentando a lagoa do Siri. A segunda ilustra o balneário na barra da lagoa do Siri

Foto: Arquivo dos autores

A montante da ponte desenvolveu-se o maior bosque monoespecífico de *Rhizophora mangle* da ecorregião. Certamente, o número de exemplares desta espécie é maior que a de qualquer manguezal da região. Contudo, todos apresentam nítidos sinais de estresse pela estabilização da lâmina d'água. Abaixo deste fragmento, situa-se a Lagoinha, que teve seu curso barrado e desviado para o sul, a fim de atender as necessidades de um *camping*. Ela ainda alcança o mar com dificuldade.

Seguindo a linha de costa, na direção sul, localizam-se respectivamente, as lagoas das Pitãs, dos Cações e do Mangue, embutidas em depressões mais ou menos íngremes de tabuleiro. Percebe-se, com clareza, que elas eram córregos com foz no mar. Das três, a dos Cações foi inteiramente drenada e urbanizada. Hoje, seu desaguadouro no mar, entre exemplares conspícuos de falésias, só volta a existir por ocasião de chuvas intensas, junto ao acúmulo de esgoto do núcleo urbano. Nas lagoas das Pitãs e do Mangue, a vegetação ciliar adulterada encobre o exíguo espelho d'água. Acima delas, atividades agrícolas favorecem a erosão e o assoreamento. A rodovia estadual ES-060 alterou profundamente os estuários de ambas as lagoas.

Ainda caminhando em direção ao Rio de Janeiro, avista-se a lagoa de Caculucage (Figuras 9 e 10), que possui a maior extensão quando comparada as já citadas. Sem dúvida era um curso d'água volumoso barrado pela rodovia estadual. Na barragem foi instalado um extravasor em ponto alto que só permitia a saída de água doce para o mar quando o nível da lagoa se tornava muito elevado. Este vertedouro está sendo

substituído por outro, subdimensionado, que parece permitir a entrada de água do mar somente quando há ressacas. Seja como for, o estuário foi suprimido, suas margens foram desmatadas, não restando qualquer vestígio dele, ou dos exemplares de plantas exclusivas de manguezal, onde a dominância é da macrófita aquática *Typha domingensis*, popularmente conhecida como taboa ou tabua.



Figuras 9 e 10 – À esquerda observa-se o espelho d'água da lagoa de Caculucage e na direita o extravasor sob a estrada ES - o60

Foto: Arquivo dos autores

O mesmo aconteceu com a lagoa dos Quarteis, barrada por um cordão arenoso junto ao mar, formado por ação de correntes marinhas e acúmulo de sedimentos oriundos da interferência antrópica. Originalmente, foi um diminuto córrego em meio à floresta suprimida e substituída pela agricultura. A rodovia ES-o60 seccionou-a e reduziu sua capacidade de manter a barra aberta. Desta forma, nenhum vestígio de estuário restou.

A lagoa da Tiririca, também cortada pela estrada estadual em seu antigo e novo traçado, contava com apreciável espelho d'água. Hoje, suas margens estão dominadas pela agricultura. Perto da praia ela se estreita e tem seu leito excessivamente fragmentado pela urbanização. No local há evidências que sugerem a abertura da barra quando a lagoa enche.

Logo a seguir, destaca-se a lagoa da Boa Vista, que no passado foi uma das maiores do Sul Capixaba. Ainda hoje, suas águas têm força para manter a barra aberta para o mar por bastante tempo e formar um estuário que sustenta um pequeno manguezal estressado. Seu leito e o de seus afluentes foram drenados por canais retilíneos ainda visíveis na paisagem. Na seção mais baixa, seus meandros foram conservados, mas atualmente é impactada pelos processos de urbanização desordenada.

Ao sul da lagoa da Boa Vista localiza-se a do Criador, ocupando o maior leito dentre todas as já citadas. Na parte alta, restaram os sinais de canais naturais ou de drenagens artificiais, estes últimos, construídos pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Na parte baixa é difícil distingui-la da lagoa de Marobá (Figuras 11 e 12). Em seus leitos antigos as alterações provocadas pela agropecuária e urbanização

alteraram a dinâmica hídrica local e, conseqüentemente, o seu estuário. Deste modo, a água doce que corre para o mar e as marés, que invadem o continente, revelam-se insuficientes para o equilíbrio do estuário. Assim, a dulcificação progressiva do sistema hídrico elimina aos poucos os exemplares de espécies exclusivas de manguezal e permite a invasão de espécies vegetais hidro e halotolerantes.



Figuras 11 e 12 – A primeira mostra a lagoa do Criador, ao fundo pode-se avistar sua barra. Na segunda visualizam-se espécies vegetais invasoras na mesma lagoa

Foto: Arquivo dos autores

Por derradeiro, a lagoa Feia do Itabapoana (Figuras 13 e 14), que na verdade é um alargamento do rio Itabapoana. Ela tem grandes áreas de várzea que ocupam a planície de inundação do rio quando a precipitação é elevada nas cabeceiras. Esse acúmulo de água no baixo curso do rio, em períodos de cheia, justificou sua drenagem. Além disso, o rio Itabapoana, que é limite físico-geográfico entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, teve seu baixo curso canalizado até quase a foz, o que beneficiou agricultores e pecuaristas, mas prejudicou a atividade de pesca artesanal tradicional na região.



Figuras 13 e 14 – Ambas ilustram a lagoa Feia do Itabapoana com o seu espelho d'água junto à planície de inundação do rio Itabapoana

Foto: Arquivo dos autores

Seguindo o pensamento do geógrafo Milton Santos (2004)²⁸ “É o lugar que atribui às técnicas o princípio de realidade histórica, relativizando o seu uso, integrando-as num conjunto de vida, retirando-as de sua abstração empírica e lhes atribuindo efetividade histórica”. Em outras palavras, as possibilidades técnicas de uso dos espaços mudaram desde a chegada dos colonizadores. Dessa forma, não basta apontar as formas inadequadas de ocupação da terra, realizada noutros momentos históricos. Há que se ter na ideia as possibilidades do “novo tempo” e modificar valores preexistentes daquele tempo lugar.

As lagoas costeiras do sul do estado do Espírito Santo estão representadas na Figura 15. Ressalta-se que apesar das intervenções ocorridas na região, elas ainda mantêm a sua forma, desempenham importante função para o sistema hídrico regional e apresentam-se como objetos marcantes na paisagem.

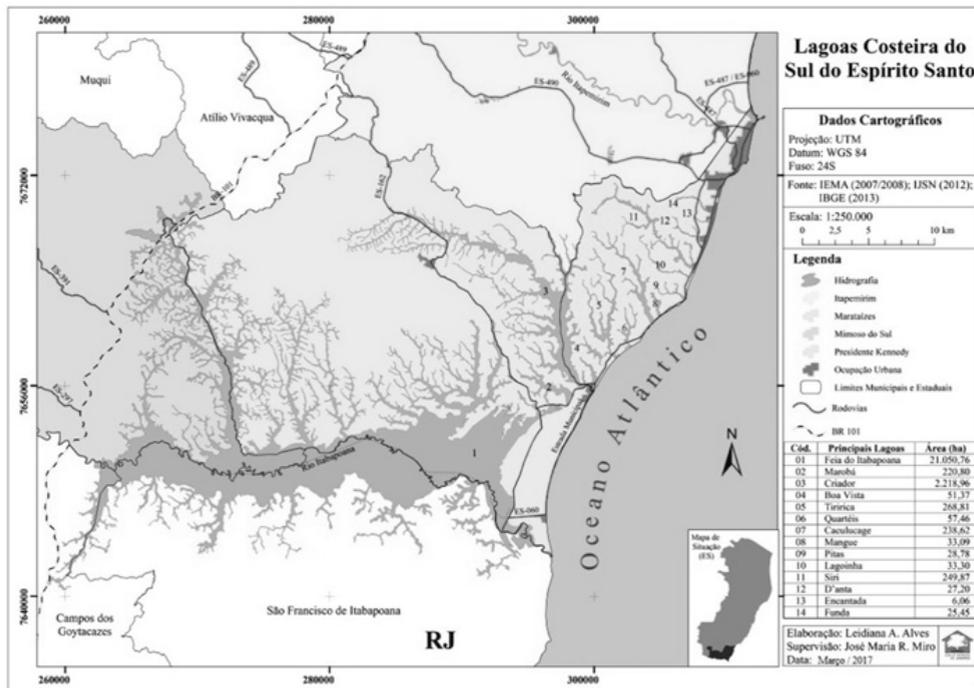


Figura 15 – Lagoas Costeiras do Sul do Espírito Santo em 2017

Fonte: Elaborado pelos autores

O esforço desenvolvido neste trabalho foi de comparar as paisagens descritas pelo Príncipe de Wied-Neuwied, que ao caminhar pela linha de costa do litoral capixaba no início do século XIX, deixou-nos suas impressões. A ideia foi confrontá-las com vistorias de campo realizadas pelos autores no início do século XXI. Assinale-se que as intenções foram diferentes. Enquanto que no período de navegações europeias pelo continente

²⁸ SANTOS, M. **A natureza do espaço**: Técnica e Tempo. Razão e Emoção. 4. ed. 1.reimp. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2004.

americano, o interesse poderia ser o de descrever novas terras e riquezas, o dos autores deste texto foi o de caracterizar alterações nas paisagens, tomando como marco inicial o descrito da região, feito no livro do naturalista.

Por meio desta comparação é possível afirmar que houve notáveis modificações nos sítios visitados. Onde não se vê mais índios Puris, os estuários se encontram degradados, os rios assoreados e, até mesmo, uma lagoa foi drenada e totalmente ocupada.

Sugestões para futuras linhas de pesquisas

Muitas são as linhas de pesquisa em ciências naturais e sociais que podem ser elaboradas sobre esta região, porque tudo está por fazer no sul do Espírito Santo. Neste capítulo, apontamos apenas algumas:

- i. Orientação geográfica das lagoas. Examinando os pequenos córregos que hoje são considerados lagoas no Sul Capixaba, notamos a sua orientação noroeste-sudeste. Qual seria a explicação para isso? Ação da corrente marinha predominante, de norte para sul, deslocando os desaguadouros dos rios para sul e posicionando-os em sentido diagonal? Se for à corrente predominante a responsável por essa orientação, cabe indagar se ela já estava presente quando da antiga formação dos tabuleiros. Ou essa orientação tem origem na neotectônica? Esta hipótese baseia-se em estudos de Geomorfologia do Quaternário, que mostram, através de análises alostratigráficas, que a sedimentação lacustre e a barragem de paleocanais na região podem ter sido alteradas por fenômenos tectônicos, causando a migração de cursos fluviais e dando origem a atual direção das lagoas.
- ii. Delimitação das bacias hidrográficas de canais e lagoas do Sul do Espírito Santo. Pelo menos no campo da ciência, cumpre delimitar a área de contribuição de cada córrego ou lagoa, definindo igualmente, seus estuários, sua vegetação nativa e atual, assim como, o uso da terra por comunidades tradicionais. Isso se torna mais importante no momento em que se instalam empreendimentos portuários na linha de costa, o que pode impactar estes ambientes.
- iii. Manguezais enclausurados. Existem três tipos fisiográficos de manguezal: o ribeirinho (mais comum), o de bacia e o de franja. Eles podem ser encontrados num mesmo manguezal ou constituiriam manguezais separados. Nas lagoas costeiras alongadas, a presença de plantas de mangue indica alguma sorte de comunicação entre o ecossistema de água doce, em caráter permanente ou periódico, com a água salgada. Ainda hoje na região, algumas lagoas se comunicam permanente ou eventualmente com o mar. Outras, porém, foram enclausuradas, seja pela perda de competência em manter a barra aberta, seja pela energia oceânica que deposita sedimentos na barra. A tendência do manguezal ou das plantas de mangue num córrego enclausurado e, transformado em lagoa, é o estresse e até a morte. Este tipo de resposta de plantas de mangue aguarda estudos.

iv. Manguezal da lagoa do Siri. Neste sistema hídrico, encontra-se a maior população de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) da região. Trata-se de um bosque monoespecífico de quatro quilômetros de extensão, aproximadamente, em ambas as margens do antigo córrego. Em nenhum outro limnossistema da ecorregião, encontra-se bosque semelhante. Será ele resultante da seleção operada sobre um manguezal mais diversificado pela longa estabilização da lâmina d'água, afogando os pneumatóforos dos exemplares de mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue preto (*Avicennia* sp) e obrigando os indivíduos de mangue vermelho a deslocarem as lenticelas para a parte emersa dos rizóforos? Em outras palavras, estará o mangue vermelho mais apto a enfrentar o estresse produzido por lâmina d'água estabilizada por longo tempo? Cabem também análises sobre as condições das águas da lagoa.

Linhas de ação

Se linhas de pesquisa cabem a centros acadêmicos, linhas de ação competem aos governantes, geradores de políticas públicas, que devem se apoiar em pesquisas. Cabem aos planos da união, do estado e dos municípios apontar ações na direção de manter estes ambientes em equilíbrio. Apontamos aqui apenas as ações mais urgentes:

- i. Estabelecer o Alinhamento de Orla e as Áreas de Preservação Permanente das lagoas, impedindo, assim, que atividades impróprias sejam praticadas. Não basta apenas afixar placas de advertência, como já foi feito às margens de algumas lagoas, sobretudo, as ameaçadas pela expansão da cidade de Marataízes. As placas (Figura 16) representam apenas o primeiro passo, contribuindo com a Educação Ambiental da população, mas é necessário ir adiante quanto ao processo de proteção destes corpos lênticos.

27



Figura 16 – Placa de advertência afixada nas margens da lagoa Funda

Foto: Arquivo dos autores

- ii. Restaurar e revitalizar os estuários das lagoas, instalando equipamentos que permitam, sempre que possível reestabelecer a sua dinâmica natural, de abertura e fechamento de barras.
- iii. Conciliar as atividades conflitantes nas lagoas, como a pesca, a agricultura e o turismo, organizados em comitês tripartites, compostos pela Sociedade Organizada, Poder Público constituído e Universidades.

BACIAS HÍDRICAS DA ECORREGIÃO DE SÃO TOMÉ: RIO GUAXINDIBA

Arthur Soffiati (UFF)

Introdução

Embora pequena, a bacia do Guaxindiba apresentava pujança ambiental. Nascendo na zona serrana, ela chegava ao mar, depois de cruzar os tabuleiros entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana. Sua integridade ecológica foi mantida até o século XIX, quando as florestas estacionais semidecíduais que a cercavam começaram a ser abatidas pelo fogo ou pelo machado. No século XIX, o canal do Nogueira, destinado à navegação, pretendia ligar a margem esquerda do Paraíba do Sul e a lagoa do Campelo. Houve um projeto de prolongar o canal até o rio Guaxindiba para fins de navegação. A obra foi começada, mas não chegou sequer à lagoa do Campelo por falta de recursos financeiros. No século XX, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) retirou do papel o mais exequível dos projetos e ligou o rio Paraíba do Sul ao rio Guaxindiba por dois canais, valendo-se da lagoa do Campelo. Do Paraíba do Sul ao Guaxindiba, ele abriu o canal do Vigário, e dela ao Guaxindiba, o canal Engenheiro Antonio Resende, valendo-se da foz do rio Guaxindiba, que passou a ser afluente do canal. O manguezal sofreu impactos, mas teve sua área ampliada. Contudo, o resultado foi a redução de vazão da bacia, a erosão das margens dos rios constituintes, o assoreamento, a urbanização desordenada do trecho final, o despejo de agrotóxicos e de fertilizantes químicos, bem como o lançamento *in natura* de esgoto e de resíduos sólidos, com o agravante de óleo de barcos de pesca. O conjunto de tensões transformou profundamente a bacia, que apenas conta com a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba em suas margens como resultado de política pública de proteção de um fragmento de mata nativa e de alguns afluentes da bacia.

As pegadas da civilização ocidental

De passagem pelas plagas correspondentes ao atual território de São Francisco de Itabapoana, em 1815, dirigindo-se à Bahia, o príncipe Maximiliano de Wied-Neuwied caminhou pela praia até que:

Uma trilha, vindo da costa, cedo nos conduziu, através de espessos bosques, a uma grande floresta (...). Na escura e imponente mata virgem achamos bonitas plantas, e o soberbo *Convolvulus* de flores azul-celeste enlaçava-se nos arbustos, até grande altura. O pio forte do "juó", em três ou quatro notas, é ouvido nessas matas imensas, em todas horas do dia e mesmo à meia-noite.

Três anos depois, em 1818, a floresta parece a mesma aos olhos do arguto Saint-Hilaire, que, ao seguir os passos do seu colega naturalista, anota em seu diário de viagem:

Findamos por distanciarmo-nos da praia e penetramos em uma floresta (...) durante todo o dia apenas encontramos água doce em um pequeno lago pantanoso (...). Durante muito tempo continuei a atravessar a floresta.

A paisagem já tinha consideravelmente se modificado quando Jacob Tschudi passou por ela proveniente da província do Espírito Santo. Depois de marchar quatro horas por uma trilha na mata virgem, em meados do século XIX, ele assinala que ela não era mais tão virgem como no tempo de seus antecessores. Cá e lá, encontra-se uma ou outra fazenda. Pousa na de São Pedro, do traficante português de escravos André Gonçalves da Graça, e observa as marcas externas de seu enriquecimento com o tráfico já considerado ilegal àquela época. Chama a atenção para o intenso extrativismo vegetal, salientando que o comércio madeireiro parecia render fabulosos lucros, além das facilidades de transporte, pois que as florestas não ficavam muito distantes da costa, onde eram embarcadas as madeiras para exportação. Mas lamenta que a síndrome do desperdício elimine madeiras nobres junto com as comuns usando o fogo para abrir espaço destinado à lavoura e à criação de animais.

¹ WIED-NEUWIED, Maximiliano de. **Viagem ao Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1989.

² SAINT-HILAIRE, Auguste de. **Viagem pelo Distrito dos Diamantes e litoral do Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1974.

³ TSCHUDI, J. J. **Viagem às Províncias do Rio de Janeiro e São Paulo**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1980.



Figura 1- Queimada no Sertão das Cacimbas

Fonte: desenho de J.J. Tschudi de 1857

Fugindo ao risco de desembarcar escravos contrabandeados nos portos de Gargaú ou de São João da Barra, na foz do rio Paraíba do Sul, ou no porto de São Sebastião do Itabapoana, na foz do rio Itabapoana, André Gonçalves da Graça, na casa de quem pernitoou Tschudi, bem como outros traficantes, escolhia as praias entre Manguinhos e Itapemirim, onde havia condições favoráveis à ancoragem de barcos com maior calado. O comendador Gonçalves da Graça era proprietário da Fazenda São Pedro de Alcântara ou Cobiça, uma enorme propriedade rural cujas terras restantes foram incorporadas à Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba. A Unidade de Conservação protege hoje a antiga mata do Carvão, nome sintomático do destino da grande floresta outrora existente no Sertão das Cacimbas. Os escravos introduzidos ilegalmente no país ou ficavam trabalhando na fazenda ou eram logo vendidos para outros proprietários regionais. Os que morriam em terra eram sepultados num local que o mar se incumbiu de descobrir, deixando à mostra incontáveis ossadas.

É ilustrativo seguir um pouco a carreira de José de Sousa Velho, grande contrabandista português que manteve negócios com André Gonçalves da Graça. Velho movimentava-se com bastante intimidade no norte da província do Rio de Janeiro e no sul

da província do Espírito Santo por vários lugares. Em janeiro de 1856, o juiz municipal de São João da Barra informava o presidente da província do Rio de Janeiro sobre a presença de Velho hospedado na casa de André da Graça e em sua fazenda nos Manguinhos (curioso como o nome da praia pode derivar da existência de pequenos manguezais no córrego que desemboca na localidade ou em outros pontos próximos da costa). Na mesma correspondência, o juiz acompanha os passos do contrabandista lusitano por Itabapoana e Itapemirim, à procura de porto seguro para um desembarque que tencionava fazer. Ainda em janeiro de 1856, o chefe de polícia do Espírito Santo oficia ao vice-presidente da província alertando acerca da descoberta de indícios de preparativos para desembarque de africanos nas barreiras do Ceri (atual lagoa do Siri) e em Marobá.

Num relatório de março de 1856, o conselheiro Josino do Nascimento e Silva, secretário do Ministério dos Negócios da Justiça, propõe a substituição do comandante do destacamento de Manguinhos ou Itabapoana, por já estar muito relacionado com André da Graça, e encarece a necessidade de saber o nome do proprietário da fazenda do Largo, “ponto famoso para desembarques”. Em setembro de 1856, o presidente da província do Rio de Janeiro advertia o ministro José Thomaz Nabuco d’Araujo quanto à iminência de um desembarque clandestino de escravos na praia de Bonsucesso, em Macaé.

Outro grande traficante de escravos com base no trecho da Ecorregião de São Tomé foi o comendador Joaquim Thomaz de Faria, proprietário das imensas fazendas de Sant’Ana, do Campo Alegre e da Floresta, com engenhos e muitos escravos⁴.

Sobre o mesmo assunto, Norbertino Bahiense levanta a hipótese segundo a qual o lugar denominado de Quartéis, nome também de uma lagoa do sul do Espírito Santo, deve-se à construção de vários pequenos quartéis nos pontos de desembarque de escravos traficados⁵. Outra hipótese atribui o nome de Quartéis a um destacamento militar instalado em Boa Vista para proteger os viajantes do ataque de índios. Dele deram notícia Wied-Neuwied e Saint-Hilaire, que lá buscaram abrigo em suas excursões científicas pela costa⁶.

Pelo contributo desses dois autores, nota-se como o norte da província do Rio de Janeiro estava ainda bastante ligado ao sul do Espírito Santo, podendo-se, a título de ensaio, levantar a ilação de que esse vínculo seria resultado de certa unidade e continuidade geológica e geomorfológica e de uma mesma estrutura econômica, que subjazia às fronteiras político-administrativas separando o Rio de Janeiro do Espírito Santo, em caráter definitivo apenas em 1832. Na verdade, até o presente, essa continuidade geográfica e econômica continua existindo.

É interessante notar, igualmente, que vários dos topônimos mencionados por João Oscar e Norbertino Bahiense vinculam-se às pequenas bacias hídricas. Itapemirim era vila situada à margem do rio do mesmo nome e optou por subordinar-se a Campos quando do pleito dessa cidade em se tornar sede de uma nova província do Império⁷. Ceri refere-se à lagoa do Siri. Marobá é o maior sistema hídrico situado entre os rios

⁴ OSCAR, João. **Escravidão e engenhos**: Campos, São João da Barra, Macaé, São Fidélis. Rio de Janeiro: Achiamé, 1985.

⁵ BAHIENSE, Norbertino. **Domingos Martins e a Revolução Pernambucana de 1817**. Vitória: Littera Maciel, 1974.

⁶ WIED-NEUWIED, Maximiliano de. **Viagem ao Brasil**. *op.cit.*

⁷ SOFFIATI, Arthur. O movimento político de Campos em 1855. **Vértices**, Campos dos Goytacazes: Essentia, v. 14, n. especial 1, 2012.

Itapemirim e Itabapoana. A fazenda do Largo certamente alude à bacia do Largo. A ponta de Buena, situada pouco abaixo da foz de córrego de mesmo nome, criou uma reentrância na costa que permitiu o fundeamento de navios. Manguinhos foi mais conhecido no século XIX do que nos dias correntes graças à sua posição estratégica no tráfico de escravos e à fazenda do poderoso André Gonçalves da Graça. As fazendas de Cobiça e de Floresta referem-se a afluentes do rio Guaxindiba, hoje transformados em vastos brejos em consequência de interferências antrópicas profundas.

Em 1868, Fernando José Martins⁸ escrevia a título de depoimento:

O terreno do lado do norte do rio [Paraíba do Sul], que compreende os sertões das Cacimbas, Campo Novo, Funil, Céu, Muribeca e Morro do Coco, é o mais aproveitável para a lavoura. Existem 13 engenhos de açúcar, sendo dois movidos por vapor, duas grandes serrarias também movidas por vapor, cinco fazendas de criar, e o resto da planície que por espaço de 6 léguas estende-se até a margem meridional do rio Itabapoana, acha-se hoje toda ocupada por situações de bem extensa produção.

Por esse relato, percebe-se como se está longe da fisionomia da unidade central de tabuleiros da região descrita por Wied-Neuwied e Saint-Hilaire, no início do século XIX. Além da fazenda Muribeca, à margem direita do rio Itabapoana, foram construídos 13 engenhos de açúcar, sendo que dois movidos a vapor, duas serrarias também a vapor, cinco fazendas destinadas à pecuária e várias outras para a agricultura. Todas elas, atividades que exigem o sacrifício de florestas. A parte agrícola de um engenho requer terras para o plantio de cana, o que só poderia ocorrer com a supressão vegetal numa área quase inteiramente florestada. A parte industrial necessita de lenha como fonte de energia e de madeira para a fabricação de caixotes e de tonéis nos quais acondicionavam-se o açúcar e a aguardente. As serrarias atuaram por mais de um século no sertão das Cacimbas, famoso desde o século XVIII por suas matas e madeiras nobres. Para explorá-las, foi aberto, na primeira metade do século XIX, o grande canal de Cacimbas, que partia da margem esquerda do rio Paraíba do Sul e atingia a lagoa de Macabu. Em 1837, o major Henrique Luiz de Niemeyer Bellegarde⁹ registrou:

O extenso e produtivo Sertão de Cacimbas, hoje já povoado por muitos e bons estabelecimentos quer de agricultura, quer de exploração de ricas madeiras, acha-se muito mal servido de comunicações para a Vila, e Porto de S. João da Barra, oferecendo aliás proporções para abertura de um canal que, comunicando os brejos de cacimbas com a Lagoa de Macabu, lhes evite o caminho que ora fazem por terra até aos maus Portos de Gargaú, Terra Nova, etc.

Já é por demais conhecido o papel exercido pelas florestas na fixação do solo e da água, tanto quanto os efeitos de sua supressão sobre esses dois componentes ecossistêmicos. Assim, a derrubada da tão decantada floresta que revestia os tabuleiros

⁸ MARTINS, Fernando José. **História do descobrimento e povoação da cidade de S. João da Barra e dos Campos dos Goitacases, antiga Capitania da Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Tipografia de Quirino & irmão, 1868.

⁹ BELLEGARDE, Henrique Luiz de Niemeyer. **Relatório da 4ª Seção de Obras Públicas da Província do Rio de Janeiro apresentado à respectiva Diretoria em agosto de 1837**. Rio de Janeiro: Imprensa Americana de I.F. da Costa, 1837.

da região deixou o solo exposto às intempéries – sol, chuva e ventos, – concorrendo para a erosão e para a perda da fertilidade. Uma atividade agropastoril perdulária acentuou esse processo. O solo foi, dessa maneira, carregado para as bacias hídricas, provocando turbidez de suas águas e assoreamento de seus leitos.

A drenagem desses sistemas embrejados com vistas à ampliação de áreas para atividades agropecuárias acompanhada de represas não apenas alterou o regime hídrico das bacias, como também mudou por completo as características de rios e lagoas costeiras. Para tanto, contribuiu muito a construção da rodovia RJ-196, em 1973, que se estende de Guaxindiba a Barra do Itabapoana. Essa estrada estrangulou o fluxo das águas dos rios, forçando-as a passar por estreitos bueiros. A visão da engenharia, que a construiu, não foi capaz sequer de identificar as bacias cortadas de forma global, estudando-lhes o regime hídrico para conhecimento de vazão máxima, média e mínima. Os dispositivos de circulação das águas foram instalados pontualmente, sem se considerar o conjunto, erro que se repete em todo o Brasil pela engenharia de estradas.

O extrativismo mineral, notadamente pelas Indústrias Nucleares do Brasil, que mantêm, desde a década de 1930, uma unidade de separação física de minérios, como a ilmenita, a zirconita e a monazita, na localidade de Buena, igualmente vem dando seu contributo para produzir alterações ambientais de monta. O revolvimento do solo, o corte de taludes de tabuleiros e o barramento de cursos d'água estão entre as intervenções antrópicas mais danosas ao ambiente.

A interrupção total ou parcial das bacias hídricas, o transporte de fertilizantes químicos aplicados na agropecuária e o esgoto doméstico, oriundo da urbanização progressiva das margens dos sistemas hídricos acarretam a eutrofização, fenômeno que consiste na superalimentação das águas e na morte progressiva dos rios e de lagoas. Por fim, a introdução de espécies exóticas – vegetais e animais – exigiu mudanças profundas na constituição ambiental nativa da região.

Do Itabapoana ao Guaxindiba

Entre os rios Itabapoana e Guaxindiba, há uma sequência de pequenos cursos d'água com nascente na unidade central de tabuleiros da ecorregião de São Tomé e foz no oceano. Esse tipo de formação geológica prossegue abaixo do rio Guaxindiba, agora afastada do mar pela seção setentrional da grande restinga do Paraíba do Sul. No Holoceno médio, pequenos cursos d'água desembocavam no mar. Porém, as fozes foram tamponadas pela restinga, que as afastou da costa. Agora, desembocam na lagoa do Campelo, como demonstrou a geógrafa Leidiana Alonso Alves¹⁰.

Toda a extensão dos tabuleiros era revestida por uma extensa cobertura de mata estacional semidecidual, interrompida pelo rio Itabapoana e prosseguindo até o rio

¹⁰ ALVES, Leidiana Alonso. **Análise geossistêmica da variação tempo-espacial dos espelhos d'água das lagoas do sistema Campelo entre os anos de 2006 e 2015**. Campos dos Goytacazes: IFFluminense campus Campos Centro, 2016.

Itapemirim. Os pequenos e quase despercebidos cursos d'água deviam, então, manter seus desagüadouros permanente ou periodicamente abertos. Plantas de manguezais no estuário de alguns atestam este contato com o mar. Do norte para o sul, são eles os córregos Salgado, Doce, Guriri, Tatagiba Açu, Tatagiba Mirim, Buena, Barrinha e Manguinhos.

A extensa mata do Sertão de Cacimbas foi derrubada para a extração de lenha e madeira ou simplesmente queimada a fim de abrir espaço para a agropecuária. Mais tarde, instalou-se no chamado Sertão de São João da Barra, hoje Município de São Francisco de Itabapoana, a Nuclemon, empresa federal de lavra de terras raras, hoje com o nome de Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Nessas terras cada vez mais empobrecidas pela erosão, lixiviação e lavra, existem plantações de cana, mandioca e abacaxi, além da pecuária.

Completamente escalvadas, essas terras são muito vulneráveis a enchentes e a estiagens. Os pequeninos rios que a drenam sofrem também com represas construídas por proprietários rurais, com estradas vicinais construídas pela prefeitura e com as duas rodovias abertas pelo DER-RJ: a RJ 224 e a RJ 196.

A recuperação parcial dessa grande extensão de terra requer a demarcação dos córregos e seu reflorestamento ciliar, a remoção dos obstáculos dentro de seus leitos, sistemas de circulação de água nas estradas municipais, estaduais e possivelmente federal, como se cogita com relação à articulação da RJ-196 com a ES-060.

Brejos e nascentes devem ser protegidos, assim como a reintrodução da fauna nativa, terrestre e aquática. A única Unidade de Conservação no interior do município é a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, com sede nova e moderna. Mas ainda há carência de áreas protegidas, como toda a extensão da bacia de Manguinhos, que poderia se transformar numa Área de Proteção Ambiental (APA).

Bacia do Guaxindiba

Fascina a arquitetura da bacia do rio Guaxindiba. Sublinhando-a na *Carta do Brasil IBGE*, tem-se como resultado um desenho semelhante a uma árvore copada de caule curto cujos galhos foram penteados pelo vento, como aquelas plantas que não conseguem crescer de forma arredondada à beira da praia pela ventania intensa. A rigor, o rio Guaxindiba nasce nas imediações da sede do distrito campista de Morro do Coco, batizado com o nome de ribeirão Grande. Logo em seguida, passa a se chamar ribeirão Guaxindiba e vai recebendo incontáveis afluentes e subafluentes, que lhe conferem o aspecto de uma intrincada rede de artérias, veias e capilares. Seus mais notáveis afluentes são os córregos do Valão Seco, Alegria dos Anjos e Santa Luzia, que, juntos, engrossam no dilatado brejo da Cobiça. O próprio rio Guaxindiba engorda com o nome de brejo do Espiador, que, além de receber águas da Cobiça, recebe também o contributo do brejo da Floresta. Os três formavam uma área bastante pantanosa já perto do mar.

Os vasos sanguíneos da bacia do Guaxindiba, em sua feição atual, não espelham mais o que ela foi há cerca de duzentos anos, quando a quase totalidade da sua área de drenagem era cercada por densas florestas estacionais, das quais restaram apenas o remanescente da Mata do Carvão e fragmentos melancólicos aqui e acolá. Artérias, veias e capilares estão entupidos pela sedimentação. Por elas, o sangue não mais circula como antes. Ainda em 1940, Camilo de Menezes¹¹ afiançava que

O Rio Guaxindiba é o único afluente do oceano entre a foz do Paraíba e a ponta de Manguinhos. Sua barra, ao contrário das situadas ao sul de Atafona, é muito estável e só se fecha quando cessa totalmente a descarga do rio; logo às primeiras chuvas pode-se abri-la facilmente.

Cobertura vegetal nativa era o segredo dessa vitalidade. Era ela que protegia as inúmeras nascentes, que sustentava as margens dos cursos d'água formadores da bacia, que acumulava a umidade das chuvas para assegurar perenidade ao sistema hídrico. Sua remoção foi devastadora para ele. Outras intervenções antrópicas acabaram por transformar um corpo vigoroso em esquelético.



Figura 2 – Manguezal do rio Guaxindiba

Fonte: Comissão de Saneamento da Baixada Fluminense

¹¹ MENEZES, Camilo de. **Descrição hidrográfica da Baixada dos Goitacases**. Campos: Ministério da Viação e Obras Públicas/Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense/Residência da Baixada dos Goitacases, abril de 1940 (datil).

Antecedentes da ligação Paraíba do Sul-Guaxindiba

Em 1829, foi projetado um canal partindo de Santo Antônio de Guarulhos, em frente à cidade de Campos, cujas obras de abertura começaram em 1833 sob comando do brigadeiro Antonio Elisiário de Miranda Brito. Com o nome de Canal do Nogueira, ele pretendia interligar o rio Paraíba do Sul à lagoa do Campelo, passando pelas lagoas Maria do Pilar, Taquaruçu, brejo da Olaria, do Fogo e Brejo Grande, além de permitir a comunicação com outras lagoas por meio de ramais, já que as águas do Campelo se misturavam com as das lagoas da Saudade, Formosa, dos Coxos e Tigibibaia. Os trabalhos prosseguiram de forma ininterrupta até 1845.

Mas, data de 1840, até pesquisas mais pormenorizadas, a proposta de ligação entre o Paraíba do Sul e o Guaxindiba. Ela foi formulada por José Silvestre Rebello¹², no bojo de um ambicioso projeto que pretendia ligar Porto Alegre a Belém do Pará por uma série de canais que, no conjunto, receberia o pomposo nome de canal imperial. Rebello escreve:

Sempre me animo a descrever um canal imperial, que comunique a cidade de Porto Alegre no Rio Grande com a cidade de Belém na Província do Pará. Em Porto Alegre, na lagoa que banha o lado ocidental da cidade, deságua o rio Gravataí, e como tem pouca corrente, servirá de canal até aonde deixa de ser navegável.

Seria muito mais fácil e barata a navegação por cabotagem entre Rio Grande do Sul e Pará, pois o mar não apresenta desníveis a serem vencidos com obra de engenharia a altos custos ou simplesmente inviáveis. Mas Rebello está imbuído do espírito fáustico da Modernidade e vive na primeira metade do século XIX, quando o aquaviarismo reinava, na falta de ferroviárias e rodovias, que começariam a ser construídas na segunda metade do século XIX. Esse imenso canal se valeria do que existia de natural e já construído. No norte da Província do Rio de Janeiro, canais já existentes seriam incorporados ao canal imperial.

da margem do norte do Paraíba continuará o canal pelas valas começadas, que passam pelo Brejo Grande, pela Lagoa do Campelo, e que vão até a das Cacimbas. Desta deve seguir ao rio Guaxindiba, e deste ao de Itabapoana; logo seguirá a Itapemirim, a Guarapari e à cidade de Vitória e ao rio Doce, sempre pouco distante das praias.

A geografia do autor é confusa. Talvez ele pensasse que o canal do Nogueira, saindo pela margem esquerda do Paraíba do Sul, chegasse à lagoa do Campelo, como era a intenção de seu idealizador inicialmente, para que outro canal ligasse posteriormente a lagoa ao canal de Cacimbas, que conectava o Paraíba do Sul à lagoa de Macabu, nas proximidades do rio Guaxindiba. Daí em diante, talvez o mar fosse usado. Por descomunal e cara, a obra nunca se realizou.

Em 2 de junho de 1852, 85 moradores de Guarulhos (atual Guarus) encaminharam requerimento à Comissão dos Negócios Internos, reivindicando a abertura de um canal que ligasse a lagoa da Saudade ao rio Paraíba do Sul, passando pelos sertões do Nogueira e de

¹² REBELLO, José Silvestre. Memória sobre canais e sua utilidade. **O Auxiliador da Indústria Nacional**, ano VIII. Rio de Janeiro: Tipografia Nacional, 1840.

Imburi, proposta que Henrique Luiz de Niemeyer Bellegarde¹³ já havia apresentado em 1837 com o nome de canal do Campelo, articulado ao canal do Nogueira. Logo a seguir, a Câmara Municipal de Campos reforçou o pedido junto ao presidente da província. Estabeleceu-se, então, uma discordância entre Ernesto Augusto Cesar Eduardo de Miranda, chefe do 5º Distrito, favorável à abertura da vala, e Amélio Pralon, engenheiro da Câmara Municipal de Campos, propugnando a continuação do canal do Nogueira. Prevaleceu a opinião de Pralon, e o Nogueira foi retomado entre 1853 e 1871, ficando inconcluso.

Uma planta de 1857, encomendada pelo Visconde do Rio Bonito, vice-presidente da Província do Rio de Janeiro, a Antonio Justiniano Rodrigues¹⁴, mostra o canal do Nogueira começando na margem esquerda do rio Paraíba do Sul, pouco abaixo de Santo Antônio de Guarulhos, atingindo a lagoa de Brejo Grande, depois de atravessar as lagoas de Maria do Pilar, Taquaruçu, Brejo da Olaria e do Fogo, e sugerindo continuidade no extremo norte da lagoa de Brejo Grande. Com eclusas, o canal visava ao escoamento da produção do sertão do Nogueira. Na folha correspondente à Província do Rio de Janeiro do Atlas do Império do Brasil, de Candido Mendes, o canal do Nogueira cruza a lagoa do Campelo, conecta o canal de Cacimbas e alcança o rio Guaxindiba. Voltando a José Silvestre Rebello¹⁵, sua proposta formulada em 1840 tem fundamento. Na meticulosa carta de Bellegarde e Niemeyer¹⁶, figura apenas o que existe, não o que se projetou. Nela, assinala-se apenas o traçado completo do canal do Nogueira, que nunca chegou ao fim. Se, de fato, uma comunicação entre os rios Paraíba do Sul e Guaxindiba já havia sido aventada no século XIX, a grande discussão acerca do canal do Norte, no século XX, deve ser revista.



Figura 3 – Ligação projetada do rio Paraíba ao rio Itabapoana

Fonte: Candido Mendes de Almeida, 1868

¹³ BELLEGARDE, Henrique Luiz de Niemeyer. **Relatório da 4ª Seção de Obras Públicas da Província do Rio de Janeiro apresentado à respectiva Diretoria em agosto de 1837**, *op. cit.*

¹⁴ RODRIGUES, Antonio Justiniano. **Planta geral do canal do Nogueira**. Rio de Janeiro: 1857.

¹⁵ REBELLO, José Silvestre. Memória sobre canais e sua utilidade. **O Auxiliador da Indústria Nacional**, ano VIII. Rio de Janeiro: Tipografia Nacional, 1840.

¹⁶ BELLEGARDE, P. A.; NIEMEYER, C. J. **Nova carta corográfica da Província do Rio de Janeiro, publicada às expensas de Eduardo Bensburg**. Rio de Janeiro: Litografia Imperial, 1865.

Ao sustentar a viabilidade de um canal paralelo ao rio Paraíba do Sul entre Campos e sua foz para auxiliar o escoamento das águas nas enchentes, o engenheiro sanitário Francisco Saturnino Rodrigues de Brito menciona que tal solução já havia sido cogitada pelo engenheiro José Antonio Martins Romeu. Hildebrando de Araujo Góes¹⁷ esclarece que Martins Romeu chefiou a Comissão do Porto de São João da Barra e Baixada do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, criada em 21 de setembro de 1912 e extinta a 31 de dezembro do mesmo ano, realizando muito pouco da agenda prevista. Em 1929, Saturnino de Brito¹⁸ retoma a proposta de Martins Romeu após concluir que

Na margem esquerda [do rio Paraíba do Sul] as condições das inundações são algo diferentes: – geralmente as águas saem do rio, aumentam lagoas e banhados, inundam terras, – mas, quando a cheia baixa no rio principal, as águas de inundação a ele voltam, quer normalmente, quer descendo paralelamente para entrar no rio a jusante. Portanto, na defesa contra as inundações nessa margem convém estudar, como recurso auxiliar, a canalização das águas para descarga a jusante, quer no Paraíba, quer diretamente no mar, em Gargaú. Esta obra, – para dar resultado eficiente, como solução do problema, – custaria caríssimo, pois seria necessário cavar um rio desde a barra do Muriaé até o oceano. Poder-se-á, porém, abrir um canal de drenagem, de utilidade incontestável e no futuro voltar a examinar a sua transformação em canal de navegação marítima e fluvial, de acordo com a indicação do engenheiro Martins Romeu.

Camilo de Menezes¹⁹ volta a discutir a proposta em 1940. No seu entendimento, a melhor solução para os transbordamentos do rio Paraíba do Sul pela margem esquerda seria a construção de um canal com início na cidade de Campos que atravessasse as lagoas de Taquaruçu e outras e acompanhasse de perto o traçado do antigo canal do Nogueira até a lagoa de Brejo Grande. Daí, ele seria prolongado até a Lagoa do Campelo e aproveitaria as depressões entre os cordões de restinga para chegar ao Atlântico pela barra do rio Guaxindiba. Menezes propõe como alternativa o nascedouro desse canal a montante de Campos, colocando a cidade a salvo das enchentes. Nessa opção, haveria um obstáculo a ser transposto: o divisor de águas por onde passa o leito da ferrovia Leopoldina, com cota alta. Mesmo assim, o canal seria viável, segundo seu parecer, se começasse na foz do valão dos Jacarés, aproveitando a lagoa do Cantagalo. Depois de transpor o divisor, ele se dirigiria à lagoa Brejo Grande e seguiria o percurso descrito para a primeira alternativa. Além de proteger Campos das enchentes, esse canal, quer nascendo acima da cidade, quer pouco abaixo dela, proporcionaria a vantagem adicional de ser aproveitado como via navegável da principal unidade urbana da região até o oceano, resolvendo de vez o problema do porto marítimo na foz do rio Paraíba do Sul.

Autor de famoso plano de urbanismo para Campos, em 1944, o Escritório de Engenharia Coimbra Bueno insistiu na abertura do Grande Canal, que teria origem na margem esquerda do rio Paraíba do Sul, entre a desembocadura do rio Muriaé e o estrangulamento do Fundão. Daí, rumaria para a lagoa das Pedras, cruzaria a rodovia BR-101 e a ferrovia, desembocando na lagoa do Brejo Grande.

¹⁷ GÓES, Hildebrando de Araujo. **Saneamento da Baixada Fluminense**. Rio de Janeiro: [S. n.], 1934.

¹⁸ BRITO, Francisco Saturnino Rodrigues de. **Defesa contra inundações**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1944. (Obras Completas de Saturnino de Brito; v. XIX).

¹⁹ MENEZES, Camilo de. **Descrição hidrográfica da Baixada dos Goitacases**, *op. cit.*

Também o escritório do engenheiro Hildalius Cantanhede projetou um canal com início no rio Paraíba do Sul, pouco abaixo da foz do rio Muriaé, aproveitando depressões de brejos e lagoas. Depois de passar por quase dois quilômetros de uma zona bastante habitada, ele cruzaria a rodovia e a ferrovia e desembocaria na lagoa das Águas Claras, que conecta a lagoa do Brejo Grande.

Mais uma vez, a proposta vem à baila em 1969, com o Relatório Gallioli, encomendado pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento. Remontando apenas aos projetos de Coimbra Bueno e de Hildalius Cantanhede, a empresa de engenharia vislumbrava o chamado Canal Norte com:

2 traçados possíveis, ambos com origem na margem esquerda do rio Muriaé. Um despejaria as águas na lagoa da Saudade (Canal Variante 'A'), e o outro na lagoa do Brejo Grande (Canal Variante 'B'), tendo essas águas como destino natural o oceano. Numa primeira fase, tal despejo final das águas se faria através das depressões naturais existentes, e, posteriormente, por um novo canal rumo ao norte – acompanhando o sopé da chapada até Guaxindiba. Este canal seria de seção reduzida porque, previamente, uma grande parcela das águas de cheia poderia ser laminada na lagoa do Campelo, uma vez que esta fosse convenientemente sistematizada²⁰.

Considerando apenas fatores econômicos, o Relatório Gallioli conclui que o Canal Norte apresentaria alto custo de construção e sugere que a obra não seja executada.

Dois rios - dois canais - uma lagoa

A proposta pragmática de Camilo de Menezes²¹ e da Engenharia Gallioli prevaleceu: dois rios interligados por dois canais e usando uma lagoa. De certa forma, o canal do Nogueira, construído na primeira metade do século XIX, aproximou-se bastante da estrutura de engenharia de drenagem do Departamento Nacional de Obras e Saneamento²² (DNOS). Nos anos de 1970, o órgão federal optou pela proposta mais simples de Camilo de Menezes e da Engenharia Gallioli: abrir um canal partindo do rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Campos, até a lagoa do Campelo e passando pela lagoa do Taquaruçu. Defluindo por um vertedouro construído na ponta setentrional da lagoa do Campelo, outro canal, o Engenheiro Antonio Resende, aproveitava o curso d'água embutido numa depressão entre a restinga e o tabuleiro, com nome de brejo do Mundezinho, para chegar até a foz do rio Guaxindiba, que passou a ser afluente do canal. A ele, foi ligado o antigo canal de Cacimbas, pela margem direita, e, pela esquerda, foram abertos os canais da Saudade, de Floresta e Guaxindiba, este último chamado de Valão Novo pela população local. Foi este canal que contribuiu para drenar o brejo do Espiador, grande abastecedor do rio Guaxindiba ou, melhor dizendo, o próprio rio Guaxindiba engordado pelo lento fluxo de suas águas.

²⁰ Ibidem.

²¹ MENEZES, Camilo de. **Descrição hidrográfica da Baixada dos Goitacases**, *op. cit.*

²² DNOS. **Saneamento das várzeas nas margens do rio Paraíba do Sul a jusante de São Fidélis**: estudos e planejamentos das obras complementares. Relatório geral. Rio de Janeiro: Engenharia Gallioli, 1969.

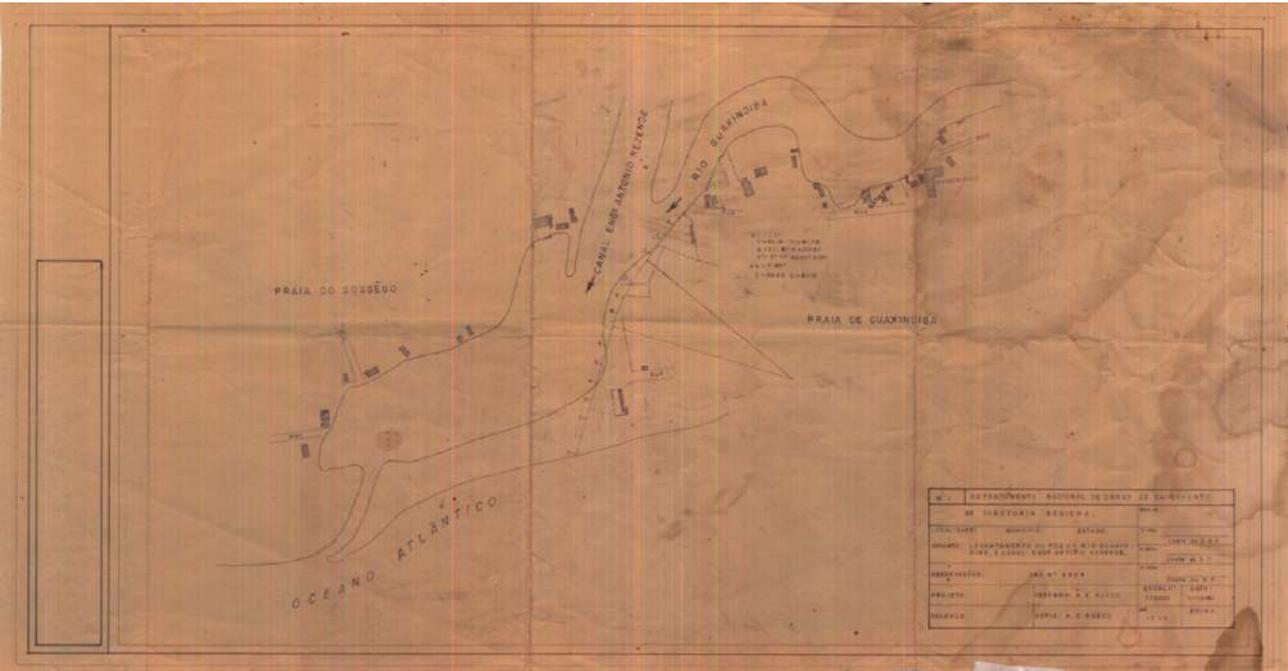


Figura 4 - Projeto do canal Engenheiro Antonio Resende

Fonte: Departamento Nacional de Obras e Saneamento



Figura 5 - Foto aérea da abertura do canal Engenheiro Antonio Resende na década de 1970

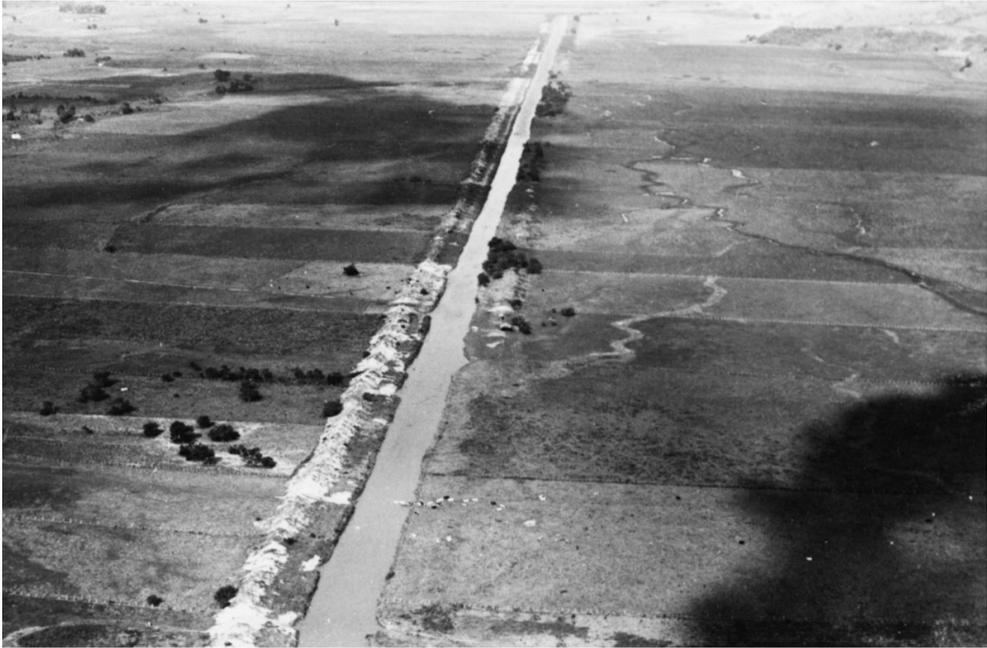


Figura 6 – Foto aérea do canal de Guaxindiba na década de 1970

Fonte: Departamento Nacional de Obras e Saneamento

O manguezal do complexo Guaxindiba

Aberto para o mar, o manguezal do sistema Guaxindiba-Engenheiro Antonio Resende-Valão Novo mostra-se muito estressado. Os estressores se alinham de forma complexa, como expressa com propriedade Edgar Morin²³ ao tratar de eco causalidade:

Ao nível da organização viva, a relação endoexocausal torna-se uma relação auto-ecocausal. Isto significa que a organização-de-si, tornada auto-organização, é dotada duma maior autonomia, mas também duma dependência nova em relação ao meio, tornado ecossistema, o qual por sua vez obedece a formas sui generis de causalidade generativa. Isto significa que as relações entre o endo e o exo atingem aí um grau muito elevado de complexidade simbiótica e de interpretação, visto que o ecossistema é constituído por estes seres vivos, os quais por sua vez se constituem nas e pelas interações ecológicas (...) a causalidade interna ultrapassa o meio nos seus produtos, nos seus subprodutos, nos seus comportamentos e nas suas subjugações (...) o ecossistema retroage sobre o subjogador/poluinte, fazendo-o suportar novas dependências e o contragolpe das suas devastações.

Ao enunciar esse princípio, um dos muitos que perpassam a obra de Morin, pode-se concluir que sua concepção tem um alcance mais distante do que os conceitos de estratégia e de tática utilizados por Michel de Certeau²⁴, porquanto o fraco sobrevive

²³ MORIN, Edgar. **O método I: A natureza da natureza**. Mira-Sintra: Europa-América, [19--].

²⁴ CERTEAU, Michel de. **A invenção do cotidiano I: Artes de Fazer**. Petrópolis: Vozes, 1996.

desenvolvendo táticas no interior de estratégias dadas pelo forte, mas o intelectual francês não vislumbra a possibilidade de reversão do contexto, com o fraco afetando o forte. Com as recorrências de Morin, a causalidade complexa desenvolve uma dialética, ela também complexa, que comporta situações imprevisíveis. Assim, as mesmas causas podem conduzir a efeitos diferentes e/ou divergentes; causas diferentes podem produzir os mesmos efeitos; pequenas causas podem arrastar grandes efeitos; grandes causas podem arrastar efeitos mínimos; certas causas são seguidas de efeitos contrários; os efeitos das causas antagonicas são incertos. Isso porque “A causalidade complexa não é linear: é circular e inter-relacional; a causa e o efeito perderam a sua substancialidade; a causa perdeu a sua onipotência, o efeito a sua onidependência”.

Tentemos analisar as condições do manguezal do sistema Guaxindiba à luz da teoria moriniana. A estabilização vertical da lâmina d’água do rio Guaxindiba, com pouca variação, acima da estrada RJ-196, provocou a emissão de raízes adventícias nos exemplares de mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e nos poucos exemplares de mangue preto (*Avicennia germinans*) com pneumatóforos aéreos. É de se esperar que essa causa provoque sempre esse mesmo efeito. No entanto, na lagoa do Açú, a estabilização do nível d’água, com menos oscilações do que no rio Guaxindiba, pois que o sistema se encontra fechado, não conduziu ao mesmo fenômeno. No rio Guaxindiba, a relativa estabilização do nível d’água, a montante da estrada, gerou o que Norma Crud Maciel e o autor relatam num estudo:

Em algumas árvores o crescimento das raízes é mais intenso do que em outras. Certos exemplares apresentam poucas raízes adventícias no tronco mas, em compensação, algumas delas são curtas e muito robustas, emitindo outras raízes adventícias. Em outras, as raízes adventícias saem do tronco como se fossem um galho, tal é o seu comprimento e seu diâmetro. De sua parte superior sai algo semelhante a dois ramos finos e sem folhas e, mais além, mais outras duas formações idênticas à primeira. Na parte inferior dessa estranha raiz saem inúmeras outras raízes, ora espalhadas, uma a uma, ora formando pequenos aglomerados, com geotropismo positivo (...). Acreditamos que a emissão de raízes adventícias é uma resposta dada pela espécie à prolongada inundação e à falta de oxigênio, na água e no substrato, o que torna o ambiente tóxico²⁵.

Nessa parte do rio, até alguns exemplares de guaxuma (*Talipariti pernambucense*) emitiram raízes adventícias, como no córrego de Manguinhos. No entanto, na confluência do Canal de Guaxindiba com o canal Engenheiro Antonio Resende, pertencente ao mesmo complexo, mas normalmente aberto à influência das marés, foi encontrado um exemplar jovem de *Avicennia germinans*, com cerca de 2,5 m. e raízes adventícias com pneumatóforos aéreos extremamente hipertrofiados. A raiz adventícia mais grossa até o chão conta com 7 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, sendo que o mais longo pneumatóforo aéreo alcança 12 cm de comprimento. Outros exemplares dessa espécie mostram os mesmos dispositivos de adaptação, assim como acontece com indivíduos

²⁵ MACIEL, Norma Crud; SOFFIATI NETTO, Aristides Arthur. Presença de raízes aéreas em *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. Combretaceae. Rio Guaxindiba, São Francisco de Itabapoana, RJ, Brasil. **SIMPÓSIO DE ECOSISTEMAS BRASILEIROS**, 4., 02 a 07 abril 1998, Águas de Lindóia, SP. Actes, 1998. **Anais** [...]

de *Laguncularia racemosa* também com o mesmo comportamento. Não submetida a afogamento, é admissível que a mesma consequência observada nos representantes dessas espécies no rio Guaxindiba, acima da estrada, aqui ocorra como resposta ao óleo despejado por barcos de pesca que ancoram no canal. Lá, a estabilização da lâmina d'água. Aqui, o óleo. Duas causas distintas com a mesma consequência.



Figura 7 - Exemplares de *Laguncularia racemosa* com raízes adventícias no rio Guaxindiba a jusante da RJ-196

Fonte: foto do autor (agosto de 1997)



Figura 8 - Exemplar jovem de *Avicennia germinans* com raízes adventícias e pneumatóforos aéreos. Confluência do canal Guaxindiba com o canal Engenheiro Antonio Resende

Fonte: foto do autor (março de 1998)

Pequenas causas arrastaram grandes efeitos no rio Guaxindiba e em outros manguezais. Pequenos desmatamentos, pequenas sedimentações, pequenos barramentos, pequenos lançamentos de matéria orgânica e de fertilizantes químicos, o estrangulamento progressivo do manguezal por pequenos avanços de lavouras, de pastos e de pequenas casas, enfim, mil mãos visíveis a atuar acarretaram grandes

consequências. Hoje, o manguezal do rio Guaxindiba em seu todo reduziu-se a uma espécie de mata galeria encurralada. A baixa circulação da água por barragens e assoreamento acentua a eutrofização e outro fenômeno observado por Norma Crud Maciel e o autor²⁶: a herbivoria, ou seja, o pastejo de folhas das plantas exclusivas e não exclusivas do manguezal por consumidores primários invertebrados, configurando a fragilidade do ecossistema. Apesar de todos esses fatores, as árvores de *Laguncularia racemosa* continuam apresentando uma alta produtividade de propágulos, o que revela sua capacidade de resistência em ambiente hostil. Esses propágulos, contudo, transformam-se em plântulas apinhadas no exíguo espaço a que foi reduzida a área do manguezal, sem a necessária luminosidade para seu crescimento. Com a derrubada natural ou antrópica dos indivíduos adultos, as plântulas têm oportunidade de prosperar todas ao mesmo tempo, formando uma população com caules retilíneos e delgados com pneumatóforos alongados mais do que o ordinário a brotar do solo para facilitar a aeração. Trata-se de uma tática para que todas – ou a maior parte delas – sobrevivam, nem que para tanto seja necessário mudar sua arquitetura normal alastrada.

Mas grandes causas podem arrastar pequenos efeitos. Sem dúvida, a abertura do canal Engenheiro Antônio Resende representou uma obra de grande impacto para o rio Guaxindiba, que teve sua foz roubada e passou a ser um pequeno afluente dele. Num primeiro momento, o manguezal ali existente sofreu rude golpe. Nos dias que correm, a construção desse canal exigiria estudos de impacto ambiental e causaria grande celeuma entre engenheiros e cientistas. Todavia, o canal criou ambiente para a propagação do manguezal, que absorveu, assim, grande parte da sua força estressora.

Examinando o conjunto atualmente, verifica-se que a maior parte do manguezal se encontra no canal Engenheiro Antonio Resende, que não existia antes dos anos de 1970. Sua abertura criou espaço para o desenvolvimento do ecossistema até cerca de seis quilômetros de sua foz, onde ainda são encontrados propágulos de mangue preto e tocas de guaiamum. O que impede o alastramento da vegetação lateralmente é a barreira de areia retirada pelo DNOS²⁷ para a abertura do canal. Ela não deve ser removida, pois criaria área para a construção de casas, mas reduzida na sua espessura para alargamento do espaço de inundação das marés.

O rio Guaxindiba abaixo da RJ-196 ainda recebe a influência das marés, embora elas corram com dificuldade pelo leito com as margens invadidas por casas. O crescimento urbano foi desordenado no complexo Guaxindiba. O aporte de esgoto doméstico e de resíduo sólido supera a capacidade depuradora do sistema. No trecho final do Guaxindiba, a jusante da rodovia, o manguezal assumiu a forma de mata ciliar encurralada. A amplitude das marés não permite que a água salobra atinja o manguezal a montante da estrada porque o bueiro de acesso hídrico foi instalado acima do nível maior das marés. Assim, o Guaxindiba, nesse trecho, só perde água doce e submete o fragmento de manguezal a forte estresse. Além do mais, por ocasião de enchentes, o aumento de vazão leva o rio a transbordar e cruzar a rodovia em busca do trecho abaixo dela.

²⁶ MACIEL, Norma Crud; SOFFIATI NETTO, Aristides Arthur. **Presença de raízes aéreas em *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. Combretaceae. Rio Guaxindiba, op. cit.**

²⁷ DNOS. **Saneamento das várzeas nas margens do rio Paraíba do Sul a jusante de São Fidélis: estudos e planejamentos das obras complementares: Relatório geral, op.cit.**



Figura 9 - Enchente do rio Guaxindiba em 2008-9, inundando a RJ-196

Fonte: foto do autor

No canal de Guaxindiba ou valão Novo, ocorre o mesmo. As marés cheias sobem o canal até esbarrarem no leito da RJ-196. Como o bueiro situa-se em ponto mais alto do que a amplitude das marés, o fluxo hídrico também apresenta mão única. Só a água doce flui em direção ao mar.

Enfim, os estressores operando no sistema Guaxindiba-Engenheiro Antonio Resende-canal Guaxindiba são o bloqueio ao livre espraiamento das marés pela rodovia e pelo estrangulamento do rio entre a RJ-196 e o mar, a urbanização desordenada do baixo curso do rio e do canal Engenheiro Antonio Resende, o desmatamento provocado pela expansão urbana, o esgoto, o lixo, o despejo de óleo por barcos pesqueiros e a perda de vazão do canal maior por barragens. Assim, tem se tornado comum o assoreamento do sistema junto ao mar, impedindo a entrada e saída de embarcações. Ao contrário do que desejava Camilo de Menezes²⁸, o canal Engenheiro Antonio Resende não se prestou à navegação entre o mar e a cidade de Campos, mas barcos de pequeno calado conseguem penetrar no canal e no rio até certo ponto, efetuando descarte de óleo.

²⁸ MENEZES, Camilo de. **Descrição hidrográfica da Baixada dos Goitacases**.*op. cit.*



Figura 10 - visão aérea de Guaxindiba

Fonte: foto do autor

Apesar dos tensores, as três espécies de mangue encontradas do norte fluminense resistem no complexo em exame: o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), o mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e a siribeira ou mangue preto (*Avicennia germinans*). Uma monografia sobre o complexo Rio Guaxindiba-Canal Engenheiro Antonio Rezende aponta-o como o mais rico em espécies do norte do Estado do Rio de Janeiro, pois foram encontrados exemplares de *Avicennia schaueriana*, que o autor só identificou a partir do Rio das Ostras em direção ao sul. A autora do trabalho relata também que o corte de árvores de mangue não está ligado diretamente à substituição do manguezal por aterros destinados à expansão urbana, mas a outras atividades, como construção de pontes e de cercas²⁹.

Na parte alagadiça, alastra-se a taboa (*Typha domingensis*). Na margem arenosa, encontram-se quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*), aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e guaxuma (*Talipariti pernambucense*). Há evidências de corte de *Laguncularia*, chamada de mangue preto pela população local, mas também de grande número de sementes germinando e de exemplares bastante jovens. Sinal de que o manguezal reage, apesar dos impactos.

No que concerne à fauna, a espécie de caranguejo dominante é o aratu (*Goniopsis cruentata*). Ocorrem também o uçá, o guaiamum e siris. As principais espécies de aves que frequentam o ambiente são o quero-quero (*Vanellus chilensis*), o socozinho (*Butorides s. striatus*), o joão-teneném (*Synallaxis spixi*) e o bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus maximiliani*). São comuns as cobras que habitam ambientes aquáticos.

²⁹ CHAGAS, Gabriele Paiva. **Estrutura e distribuição das espécies no manguezal do complexo rio Guaxindiba/canal Engenheiro Antonio Rezende, São Francisco de Itabapoana, RJ.** 2011. Monografia (Graduação) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

AVALIAÇÃO DA GESTÃO PARTICIPATIVA NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA ESTADUAL DE GUAXINDIBA

Davi Pinto Cherene Viana (IFFluminense) · Luis Felipe Umbelino (IFFluminense)

Introdução

A política ambiental brasileira apresentou grandes avanços após a implantação do Sistema Nacional de Unidade de Conservação¹ – Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e posterior regulamentação a partir do Decreto n.º 4.340, de 22 de agosto de 2002. Essa Lei trouxe diretrizes e normas visando à modernização da gestão e do manejo das áreas protegidas, das quais destaca-se a necessidade da participação social no processo de criação e gestão das Unidades de Conservação (UCs).

Está bem claro que hoje as UCs mais bem geridas são aquelas que dispõem de uma participação mais efetiva da comunidade local e que buscam apoio financeiro de organismos internacionais e de outras instituições nos seus processos de gestão². Contudo, os principais desafios da gestão das UCs estão relacionados à efetiva participação das comunidades tradicionais e locais, bem como de entidades civis interessadas, de forma equilibrada, nessa política. Acredita-se que unidades de conservação bem geridas são aquelas que possuem seu conselho gestor representativo e participativo em relação às tomadas de decisão realizadas pelas Unidades de Conservação. Objetiva-se com o presente estudo examinar, sob o enfoque participativo, a gestão da Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba - EEEG, a partir da percepção dos membros do seu conselho gestor. Este capítulo está estruturado a partir de uma revisão teórica acerca da gestão participativa no processo de governança em espaços protegidos, da efetividade de gestão em unidades de conservação e dos aspectos ambientais, político-institucionais, administrativos e fundiários da Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba – EEEG.

1 BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso: maio 2015.

2 PÁDUA, M.T. J. **Unidades de Conservação**: muito mais do que atos de criação e planos de manejo. In: Unidades de conservação: atualidades e tendências. Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2002.

Governança participativa em Unidades de Conservação

Partimos do pressuposto de que arranjos de governança participativos representam avanços práticos para a gestão ecossistêmica por incorporar a participação da comunidade, de lideranças locais e de outros atores no planejamento e na gestão da UCs. A inserção da participação social na gestão de políticas públicas é algo recente. Segundo Machado, Miranda e Pinheiro³, esse fato pode ser compreendido, basicamente, por dois movimentos que ocorreram simultaneamente: um deles é a redefinição do papel do Estado, e o outro é a democratização da sociedade.

Dessa forma, não é sem motivo que o SNUC estimula a participação social. Esta é fundada no *caput* do art. 225 da Constituição Federal, que impõe à coletividade e ao Poder Público o dever de zelar pelo equilíbrio ecológico do planeta, além de constituir um dos princípios fundamentais do Direito Ambiental. Ainda, e mais recente, o Decreto n. 5.758/2006, que institui o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas – PNAP, determina a participação social como princípio, diretriz, eixo temático e estratégia.

Segundo Milaré⁴, essa participação, quando exercida de forma efetiva e não figurativa, acaba impondo o constante diálogo entre o Estado e a sociedade e entre os diversos segmentos sociais, nos processos decisórios e na formulação e execução das políticas públicas voltadas à conservação e à preservação dos recursos naturais. Segundo Crespo e Drummond⁵, existe um consenso internacional de que a gestão coordenada e participativa é uma estratégia de sucesso na eficiência da gerência de UCs. Esse caminho foi mais valorizado após a regulamentação do SNUC.

Dessa forma, um instrumento mediador na relação entre a sociedade e o Estado para atingir uma gestão participativa são os conselhos gestores. Esses conselhos, ao reunirem os atores governamentais e os representantes da sociedade civil, são espaços fundamentais de negociação e participação dos atores locais e de construção das instâncias de governança para os processos de tomada de decisão. A legislação brasileira consagra os conselhos gestores como o espaço oficial de participação da sociedade na gestão das unidades de conservação. Porém, é preciso reconhecer que, na prática, são observados alguns problemas quanto à melhor forma de operacionalização dos conselhos, visto seu pouco tempo de existência. Também é importante lembrar o histórico de conflitos e de ausência de estratégias de diálogo entre órgãos ambientais e agentes sociais populares envolvidos em áreas protegidas, o que gera uma desconfiança mútua e dificulta a reversão desse cenário centralizador de gestão ambiental dominante no país. A criação de UCs de cima para baixo, sem participação social em sua definição, dificulta o sentido de pertencimento que auxiliaria na criação de um espaço de tomada de decisões, em que seria necessária a confiança na obediência às normas estabelecidas e acordadas em grupo.

3 CRESPO, S; DRUMMOND, J. A. O Parque Nacional da Tijuca: contribuições para a gestão compartilhada de unidades de conservação urbana. **Série Comunicações Iser**, Rio de Janeiro, ano 19, n. 24, 2000.

4 MILARÉ, E. **Direito do ambiente**: doutrina, jurisprudência, glossário. 5. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

5 CRESPO, S; DRUMMOND, J. A. O Parque Nacional da Tijuca: contribuições para a gestão compartilhada de unidades de conservação urbana. **Série Comunicações Iser**, Rio de Janeiro, ano 19, n. 24, 2000.

Efetividade no processo de gestão de Unidades de Conservação

Com relação aos conceitos aplicados às Unidades de Conservação, é possível afirmar que a efetividade é a relação da eficácia e eficiência no uso dos recursos organizacionais para atingir os objetivos da gestão. Sendo que eficácia é a medida para avaliar se as ações alcançaram os objetivos, e a eficiência é a medida para avaliar se essas ações foram feitas com menores custos, recursos e riscos^{6,7}. A avaliação da eficácia da gestão de unidades de conservação é uma ferramenta importante para a identificação da situação atual da UC e/ou do sistema como um todo, sendo um tema constante nas estratégias de estabelecimento de um sistema abrangente de áreas protegidas que seja ecologicamente representativo e efetivamente manejado⁸.

Métodos de avaliação de gestão vêm despertando grande interesse em vários países do mundo e têm como característica principal identificar a distância entre a gestão desejada e a realidade atual⁹. O projeto Parque em Perigo, desenvolvido pela *The Nature Conservancy* (TNC), em 1992, talvez tenha sido a primeira tentativa prática de maior vulto para se avaliar a situação de unidades de conservação utilizando rotinas estruturadas especificamente para isso¹⁰.

Posteriormente, Faria (1993) apresentou uma metodologia destinada a avaliar a efetividade de manejo de UCs, utilizando uma série de indicadores agrupados: administrativo, político, legal, de planejamento, de conhecimentos etc.¹¹ Considerando a metodologia de Faria (1993) e seu desenvolvimento progressivo, Cifuentes, Izurieta e Faria¹² produziram o manual *Medición de la Efectividad del Manejo de Areas Protegidas*, apresentando uma diversidade de indicadores agrupados em diferentes âmbitos da gestão¹³. Essa metodologia foi considerada a mais detalhada e sofisticado dos procedimentos que utilizam indicadores e *scores*¹⁴ e provavelmente o mais amplamente utilizado.

Dessa forma, a avaliação da qualidade da gestão é uma importante ferramenta para otimizar os recursos financeiros nas UCs, considerando o alto custo de implementação e gestão de UCs. Lima *et al.*¹⁵ afirmam que a falta de eficácia de gestão das UCs é um dos fatores que contribui para a deficiência na conservação da biodiversidade, juntamente com o estado de degradação dos ecossistemas protegidos promovido pela expansão agrícola e pelo manejo inadequado dessas áreas.

⁶ CIFUENTES, M.; IZURIETA A. FÁRIA, H. H. **Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas**. *op.cit.*

⁷ HOCKINGS, M.; PHILIPPS, A. How well are we doing? Some thoughts on the effectiveness of protected areas. *Parks*, Gland, v. 9, n. 2, p. 5-14, June 1999.

⁸ ARAÚJO, M. A. R., **Melhorando a efetividade da gestão de unidades de conservação: a experiência do Programa de Gestão para Resultados**. PGR, Programa Áreas Protegidas da Amazônia, ARPA e Cooperação Técnica Alemã, GTZ. Brasília: MMA, 2009.

⁹ HOCKINGS, M. *et al.* **Assessing effectiveness: a framework for assessing management effectiveness of protected areas**. 2.ed. Gland, Switzerland: IUCN, 2006.

¹⁰ FÁRIA, H. H. **Eficácia de gestão de unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista de Presidente Prudente, 2004.

¹¹ FÁRIA, H. H. **Eficácia de gestão de unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil**. *op. cit.*

¹² FÁRIA, H. H. CIFUENTES, M.; IZURIETA A. FÁRIA, H. H. **Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas**. *op.cit.*

¹³ FÁRIA, H. H. **Eficácia de gestão de unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil**. *op. cit.*

¹⁴ HOCKINGS, M.; STOLTON, S.; DUDLEY, N. **Evaluating effectiveness: a framework for assessing the management of Protected Areas**. Gland Switzerland: IUCN, 2000. p. 1-121. (WCPA Best Practice Protected Area Guideline Series, n. 6)

¹⁵ LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; GONÇALVES, W. Avaliação da efetividade de manejo das unidades de conservação de proteção integral em Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v.29, n.4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n4/al7v29n4.pdfn4.pdf>. Acesso em: maio 2015.

Araújo¹⁶ afirma que, no Brasil, a baixa eficácia da gestão é, em boa parte, explicada por problemas relacionados à cultura organizacional. A falta de orientação para resultados e a baixa valorização e reconhecimento dos servidores gera forte desmotivação, conflitos entre membros das equipes, baixa pró-atividade e falta de inovação.

Breve caracterização da área de estudo

A ideia de criar uma unidade de conservação para a proteção da então chamada Mata do Carvão aconteceu na reunião do Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, ocorrida na cidade de Atibaia, São Paulo, em 1999. A região da Mata do Carvão tinha sido drasticamente reduzida e isolada no meio de culturas agropecuárias que a rodeavam totalmente. O motivo da inclusão daquela área era cuidar daquele patrimônio que remanesceu, mesmo não existindo um conhecimento de fauna e flora. Dessa forma, em dezembro de 2002, foi assinado o decreto¹⁷ nº 32.576/02 de criação da Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba¹⁸.

A EEEG encontra-se integralmente inserida no município de São Francisco de Itabapoana - RJ, em área de baixada litorânea. A hidrografia local é composta por inúmeras áreas de brejos e alguns rios, sendo principal o rio Guaxindiba. Em seu entorno encontramos alguns núcleos urbanos, destacando-se a sede do município.

¹⁶ ARAÚJO, M. A. R. **Unidades de conservação no Brasil**: da república à gestão de classe mundial. Belo Horizonte: Segrac, 2007.

¹⁷ RIO DE JANEIRO (Estado). **Decreto Estadual nº 32.576, de 30 de dezembro de 2002**. Cria a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba e dá outras providências. Disponível em: <http://www.alerj.rj.gov.br/>. Acesso: maio 2015.

¹⁸ INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, EEEG**: Plano de Manejo. Rio de Janeiro: INEA, 2010. 272p.

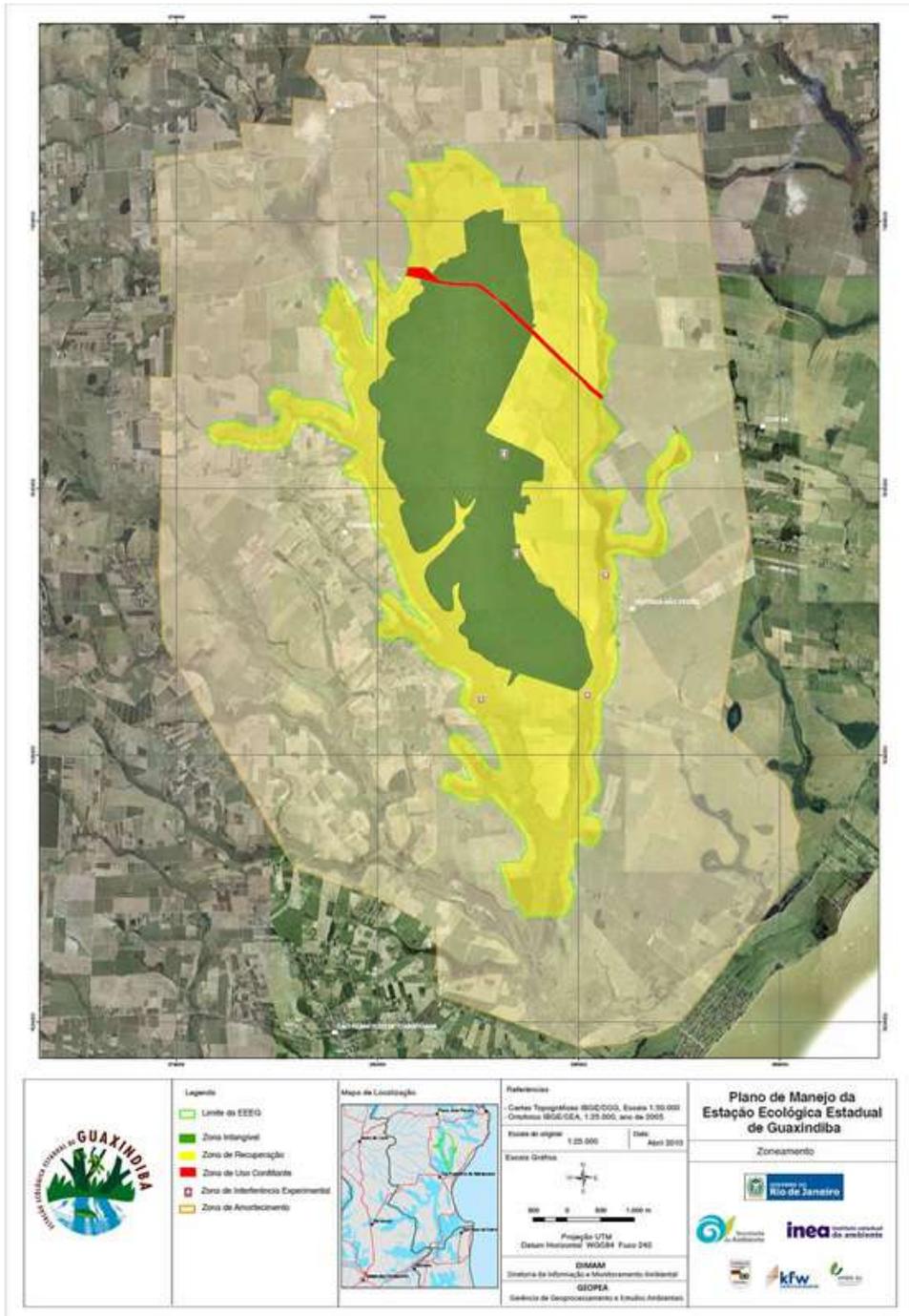


Figura 1: Mapa ilustrando os limites da EEEG, sua ZA e área de vegetação nativa

Fonte: Inea, 2010¹⁸

¹⁸ INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, EEEG**: Plano de Manejo. Rio de Janeiro: INEA, 2010. 272p.

No que tange aos aspectos ambientais, a cobertura vegetal encontrada na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba representa um dos últimos fragmentos da chamada “Floresta de Tabuleiros”^{19,20}, que outrora ocupava a porção norte do estado do Rio de Janeiro e a região sul da Bahia. Quanto aos recursos hídricos, a região da EEEG é composta por três bacias hidrográficas, a saber: Bacia do Rio Guaxindiba, Bacia do Córrego Baixa do Arroz e Bacia do Buena. O fragmento florestal presente no interior da UC, de cerca de mil hectares, está localizado entre os brejos da Cobiça e da Floresta, conformando uma área brejosa de 764 ha presente na EEEG²¹.

Foram identificadas no entorno da EEEG algumas localidades que direta ou indiretamente influenciam ou sofrem influências dessa proximidade: Vilão, Carrapato, Coreia e Fazenda São Pedro. Segundo levantamento realizado para elaboração do Plano de Manejo da Estação, a visão da população sobre a estação ainda é muito limitada, desde o total desconhecimento das diversas categorias de ocupação e monitoramento da mata até do andamento dos trâmites administrativos, legais e políticos da EEEG. A população reclama dos muitos grupos de “estudiosos” que aparecem nas localidades, fazem perguntas, mas nunca dão retorno das conclusões ou relatórios dessas visitas.

Embora o município, e em particular essas comunidades, tenham um baixo índice de escolaridade na população adulta, é possível que, a partir da escola, se possa fazer um trabalho de conscientização, utilizando-se crianças e adolescentes como multiplicadores de uma consciência ambiental sustentável. Entre os principais conflitos relacionados à EEEG podemos citar: supressão seletiva de vegetação; agropecuária; fogo; caça e fragmentação.

Material e Método

Realizou-se uma revisão teórica acerca da gestão participativa no processo de governança em espaços protegidos e dos aspectos ambientais, político-institucionais, administrativos e fundiários da Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba – EEEG. Adotou-se um procedimento metodológico adaptado de uma técnica denominada *Medición de la efectividad del Manejo de Areas Protegidas - EMAP*, desenvolvida por Cifuentes, Izurieta e De Faria²².

Para auxiliar na pesquisa, foram analisados documentos oficiais produzidos por entidades das diversas esferas de governo, e adotadas técnicas de observação participante, bem como utilizados instrumentos específicos para a coleta de informações diretas, o questionário e a entrevista, aplicados aos membros do conselho gestor e ao gestor da UC, respectivamente. Justificamos a escolha desses atores em função de o conselho gestor ser a principal instância de governança participativa prevista para as unidades de conservação.

¹⁹ RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: Aspectos ecológicos. São Paulo: Hucitec: Edusp, 1979. v. 2.

²⁰ SILVA, G. C.; NASCIMENTO, M. T. Fitossociologia do componente arbóreo de um remanescente de mata sobre tabuleiros terciários no Norte Fluminense (mata do Carvão). **Revista Brasileira de Botânica**. v. 24, p. 51-62, 2001.

²¹ INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, EEEG**: Plano de Manejo, op. cit.

²² CIFUENTES, M; IZURIETA A.; FARIA, H. H. **Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas**, op. cit.

Como a intenção era avaliar a gestão participativa da EEEG, a aplicação de questionário aos membros do conselho gestor foi fundamental para o diagnóstico, uma vez que possibilitou valorar a gestão da unidade de conservação. O modelo de questionário estruturado abrangeu seis âmbitos (gestor da UC, financiamento, avaliação das relações sociais e políticas, avaliação do âmbito legal, avaliação do âmbito planejamento e avaliação do âmbito conhecimento), divididos em 25 questões (variáveis e subvariáveis). Cada uma delas continha cinco alternativas (0, 1, 2, 3 e 4) e permitia uma pontuação de 4,0 pontos, perfazendo, portanto, um total de 100 pontos. As 25 questões foram divididas em grupos de 5 questões, não necessariamente sequenciadas na estrutura do questionário. Cada grupo tinha uma relação direta com um dos princípios da governança descritos anteriormente. Essa matriz de avaliação se baseia na construção de cenários de gestão para cada variável ou subvariável relacionada aos princípios estabelecidos e que correspondem a valores específicos, em que a situação com pontuação máxima (4) equivale ao “ótimo de gestão” para aquela variável ou subvariável específica. Dessa forma, o cenário ótimo ou total ótimo corresponde às melhores condições que a UC pode atingir no emprego de mecanismos de governança ambiental. O cenário atual ou total alcançado, por outro lado, corresponde à situação da respectiva unidade no momento da avaliação²³.

O ótimo numérico de cada princípio é a soma da pontuação máxima alcançada pelas variáveis e subvariáveis analisadas, ou seja, 20 pontos. O valor atual de cada princípio, portanto, corresponde à soma das pontuações alcançadas pelas suas variáveis e subvariáveis. Para valorar a gestão participativa da EEEG, realizou-se o somatório total alcançado por todas as variáveis e subvariáveis. A escala de qualificação adotada para a avaliação tem cinco níveis (0 a 4), associados a uma ponderação percentual que expressa o grau de gestão participativa, desde insatisfatória a muito satisfatória, conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Escala de qualificação da gestão participativa da EEEG

Qualificação	% do ótimo	Significado
0	< 35	Gestão insatisfatória
1	36-50	Gestão pouco satisfatória
2	51-75	Gestão medianamente satisfatória
3	76-90	Gestão satisfatória
4	91-100	Gestão muito satisfatória

Fonte: Adaptado de Cifuentes, Izurieta e De Faria (2000) e Macêdo (2008)

²³ FARIA, Helder Henrique de. Aplicação do emap e rotinas estatísticas complementares na avaliação da eficácia de gestão de unidades de conservação do estado de São Paulo. **Revista Ciências do Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 185-219, 2006.

O modelo utilizado neste estudo foi adaptado de uma metodologia descrita por Cifuentes, Izurieta e De Faria²⁴. Por se tratar de um procedimento flexível, permitiu a realização das devidas adaptações para este trabalho, pois o método facilita a inclusão, a eliminação ou a modificação de indicadores e variáveis, de acordo com as características de cada área protegida. Também foi usado como referência um estudo de efetividade de gestão de áreas protegidas que avaliou a gestão participativa de parques estaduais da Bahia, tendo como referencial teórico a mesma metodologia utilizada neste trabalho. O estudo, produzido por Macêdo²⁵, avaliou a gestão participativa dos parques estaduais da Bahia.

Resultados e Discussão

Com base na metodologia e procedimentos apresentados, segue abaixo uma abordagem quantitativa, elencada pelos princípios supracitados, que utilizou o questionário para realizar o diagnóstico das informações colhidas junto aos membros do conselho gestor.

- Legitimidade e Participação: Neste princípio, foram utilizadas as seguintes variáveis: atitudes pessoais do gestor da unidade, considerando as atitudes do gestor com relação a suas atribuições, atitudes e posturas diante das comunidades locais; apoio e participação comunitária, definida pela existência de uma relação positiva entre a comunidade e a UC; características do conselho gestor, em que é analisada a sua formação, representatividade, legitimidade, transparência e funcionamento; mitigação de conflitos, que analisa se o envolvimento das comunidades locais na gestão da UC contribuiu para mitigar conflitos e a degradação dos recursos naturais; e processo de criação, que analisa se as comunidades e os atores locais foram consultados quanto à delimitação da UC. Para o princípio de Legitimidade e Participação, a EEG recebeu uma pontuação acumulada de 16,8 pontos. Conforme descrito na metodologia, o número máximo de pontos a serem alcançados dentro de cada princípio seria 20 pontos.

- Igualdade e Inclusividade: Para analisar este princípio, as seguintes variáveis foram consideradas: existência e atualização do plano de manejo, considerando se a unidade tem um plano de manejo e se ele está atualizado; compatibilidade do plano de manejo, relacionado à compatibilidade do plano com outros instrumentos regionais, tal como o zoneamento; nível de planejamento, em que se analisa a complexidade do processo de planejamento; zoneamento, que trata do instrumento que define o ordenamento territorial da unidade; e limites, em que se avalia o reconhecimento dos limites da unidade. A pontuação acumulada atingidas pela EEG foi de 15,5 pontos.

²⁴ CIFUENTES, M; IZURIETA A, FARIA, H. H. **Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas**. *op. cit.*

²⁵ MACÊDO, J. A. C. **Avaliação da gestão participativa dos parques estaduais da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, UnB, CDS, 2008.

- **Responsabilidade e Transparência:** Foram consideradas as seguintes variáveis para a análise deste princípio: capacidade da UC de gerar recursos próprios, que se refere à capacidade legal, administrativa e financeira de gerar recursos financeiros próprios a serem utilizados pela unidade; capacidade de gestão, que se refere à capacidade da unidade de vincular-se a fontes de financiamento, apoio financeiro e técnico; mecanismos de controle e auditoria, no que tange à existência e ao funcionamento dos sistemas contábeis e à regularidade dos controles financeiros; apoio institucional, com base na relação com o órgão gestor da unidade, o Inea; e intercâmbio, que se refere à troca de informação, experiência e recursos entre as instituições que se relacionam com a EEEG. A pontuação acumulada obtida foi de 12,9 pontos.

- **Auditoria e Equidade:** Para a análise deste princípio, foram consideradas as seguintes variáveis: regularização fundiária, em que se observa se os processos de avaliação e indenização dos imóveis inseridos na UC antes da sua criação estão concluídos e se as famílias foram remanejadas; resolução de conflitos, em que se verifica quais as estratégias utilizadas para a resolução de conflitos relacionados com a posse de terras e uso dos recursos no entorno da UC; clareza, referindo-se a conflitos e competências do conjunto de instrumentos legais; aplicação, referindo-se à obediência aos instrumentos legais por parte das comunidades do entorno, bem como aos esforços para fazer com que eles sejam cumpridos; e conhecimentos tradicionais, em que se observa a existência e o uso do conhecimento tradicional e a sua possível contribuição para uma melhor gestão da unidade. A pontuação acumulada atingida foi de 13,7 pontos.

- **Efetividade e Eficiência:** Foram consideradas cinco variáveis para a análise deste princípio: motivação, em que foi considerado o entusiasmo com que o gestor da UC exerce o cargo e a satisfação demonstrada no relacionamento com os segmentos sociais locais; jurisdição, quanto à clareza com que outras instituições exercem determinado poder, direito ou autoridade sobre a UC; alcance, entendida como a permanência do apoio externo à administração da EEEG; características do planejamento, no que tange à existência e à forma participativa ou não do plano de manejo; e investigação, em que se avaliou a relação entre os estudos que se realizam e as necessidades de gestão da UC, assim como a disponibilidade de conhecimentos para sua devida aplicação. A pontuação acumulada neste princípio em estudo foi de 14,0 pontos.

O resultado final da pontuação acumulada da EEEG encontra-se ilustrado na Figura 2.

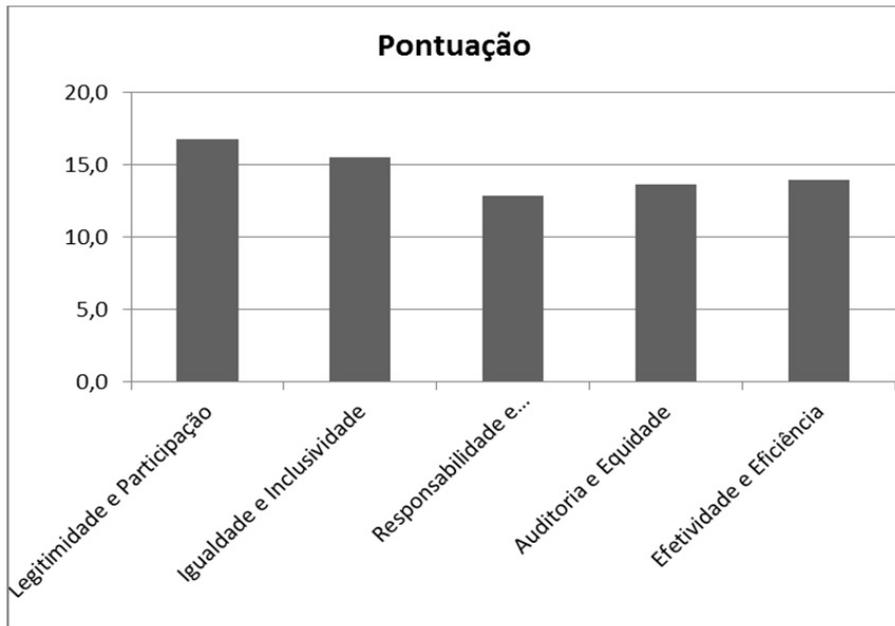


Figura 2: Distribuição dos pontos da EEG por princípio

Observada a Figura 2, com base na metodologia aplicada, foi constatado que a EEG, por ter obtido 73 (setenta e três) pontos, se enquadrou na categoria de Gestão Medianamente Satisfatória (51 a 75% do ótimo), de acordo com a Escala de Qualificação e Ponderação da Gestão Participativa (vide Tabela 1).

58

Diagnóstico e Avaliação da Gestão Participativa na EEG

Neste item, foi realizada uma análise das informações produzidas a partir da pesquisa bibliográfica e documental, da observação participante e da entrevista realizada com o gestor da UC. Objetivou-se comparar e complementar as informações obtidas, relacionando-as com as situações observadas na EEG, com o intuito de validar a metodologia que foi utilizada no trabalho, a qual culminou na valoração da gestão participativa da UC em questão.

- O gestor da unidade: Com relação ao gestor da EEG, foi observado o seu compromisso com o exercício das funções do seu cargo. Muitas vezes mal compreendido por alguns setores das comunidades locais, por ter que fazer cumprir determinadas exigências, é respeitado, contudo, pela grande maioria dos atores locais, devido à presteza e à cordialidade com que conduz as questões relativas à unidade de conservação. O gestor está no cargo desde 2009, o que pode explicar o bom relacionamento que tem com as comunidades do entorno e com os conselheiros.

- **Envolvimento e participação das comunidades e mitigação de conflitos:** A EEEG sofre com alguns conflitos antigos, ligados ao não reconhecimento de seus limites. Comunidades que vivem no seu entorno ainda não incorporaram totalmente a EEEG ao seu modo de vida e, ao contrário, continuam realizando antigas práticas de caça predatória. Entretanto, cabe frisar que em menores proporções do que antigamente, tanto devido ao processo fiscalizatório mais intenso quanto ao programa de Educação Ambiental em curso na UC.

- **O Conselho Gestor:** Constatou-se que a participação social é ainda frágil, sujeita a toda uma cultura que inibe o exercício de práticas democráticas de governança e seu maior envolvimento, especialmente pela população menos escolarizada, partindo de uma premissa de que a responsabilidade de dar certo compete ao gestor e à instituição, nesse caso o Inea. Contudo, os conselheiros, em sua maioria, têm uma visão positiva do processo, apoiam as iniciativas desenvolvidas pelo gestor e são otimistas com relação ao futuro.

- **Processo de criação da EEEG:** A criação da EEEG partiu da necessidade de conservação daquele fragmento florestal, visto o processo de degradação ambiental com que a região, em especial aquele ecossistema, vinha sofrendo. O processo de criação da UC foi pouco participativo, já que as reuniões com a comunidade local ocorreram posteriormente à decisão de criação e à definição da categoria da UC pelo órgão gestor. Os segmentos sociais, em sua maior parte, não estavam cientes da criação da UC.

- **Parcerias e articulação institucional, administrativa e financeira:** De acordo com a lei do SNUC, uma das atribuições do conselho gestor de uma unidade de conservação é “avaliar o orçamento da Unidade e o relatório financeiro anual elaborado pelo órgão executor em relação aos objetivos da unidade de conservação”²⁶. Contudo, a estrutura administrativa da EEEG não contempla uma unidade orçamentária autônoma, ficando subordinado aos procedimentos e controle financeiros do Inea, enquanto órgão gestor. Assim, o gestor não tem competência para firmar convênios, parcerias ou qualquer outro instrumento de cooperação técnica ou financeira. O desempenho da gestão de uma unidade de conservação está intimamente relacionado à capacidade dessa unidade de coordenar esforços no sentido de identificar e formalizar parcerias²⁷. Entretanto, em função de um certo grau de articulação do órgão gestor nos níveis locais e do próprio dinamismo de seu gestor, a EEEG conseguiu formar algumas redes de apoio, evidenciando a importância que esse espaço protegido conquistou.

²⁶ BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências, *op. cit.*

²⁷ CAMARGO, A. Meio Ambiente e Governança. In: TRIGUEIRO, A. **Meio Ambiente no século 21:** 21 especialistas falam na gestão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

Cabe evidenciar a parceria com diversas instituições de ensino no que tange à visitação para Educação Ambiental. Segundo o gestor, são em média quarenta visitas anuais, todas elas acompanhadas pela equipe de Guarda-Parque e corpo técnico, em consonância com o Programa de Fortalecimento das Ações de Educação Ambiental em Unidades de Conservação do Estado do Rio de Janeiro, coordenado pela Gerência de Educação Ambiental e pela Gerência de Unidades de Conservação de Proteção Integral do Inea.

O gestor relatou a existência de parcerias com algumas associações de moradores de comunidades vizinhas, tais como Vilão, Coreia e Nova Belém. Nas parcerias, a equipe vem oferecendo orientações quanto à piscicultura, ao cadastramento no CAR, ao uso de agrotóxicos no espaço protegido, à dessedentação animal no interior da unidade e a cursos de brigada voluntária para combate a incêndios florestais. Além dessas ações, a gestão da unidade também oferece o espaço físico da sede administrativa para reuniões, cursos, exposições e festejos comunitários.

- Pesquisas e estudos: Um dos principais objetivos dessa categoria de UC (Estação Ecológica) é possibilitar a realização de pesquisas científicas. Isso porque esses estudos expandem o conhecimento sobre os diversos ecossistemas, sobre os saberes tradicionais e sobre as relações sociais associados à área protegida. Entretanto, a EEEG, apesar de todo o potencial baseado nos elevados índices de endemismo, foi pouco explorada no que tange à realização de pesquisas científicas.

Por fim, considerando a análise realizada e a aplicação do método descrito, concluímos que a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba possui uma Gestão Medianamente Satisfatória, apresentando as seguintes características: a EEEG tem os elementos mínimos necessários para uma gestão participativa, contudo apresenta deficiências que não permitem estabelecer uma base sólida para sua efetividade; existe um gestor nomeado e aceito pela comunidade e um conselho gestor implantado e em funcionamento, porém com membros que possuem uma frequência de participação variando entre baixa e mediana; existe uma estrutura de apoio à gestão (sede e equipamentos) que facilita o acesso dos atores locais; alguns parceiros foram identificados, e acordos de cooperação efetivados, existindo recursos financeiros mínimos para suporte à administração; os seus limites estão definidos e aceitos na sua maioria, contudo as questões fundiárias não foram resolvidas totalmente; existe um plano de manejo e um zoneamento elaborado; algumas normas e regulamentos referentes à unidade não são respeitados, gerando conflitos que podem comprometer o alcance dos seus objetivos de conservação.

Ressalte-se que a EEEG obteve uma pontuação de 73 (setenta e três) pontos, o que a coloca bem próxima ao limite entre as faixas de Gestão Medianamente Satisfatória e Gestão Satisfatória (vide Tabela 1). Alguns fatos contribuíram para queda da pontuação: a não participação das comunidades locais na sua criação e a não conclusão da regularização fundiária.

Resultado análogo foi obtido por Faria²⁸ ao avaliar a efetividade de gestão de algumas UCs. Esse estudo, que abrangeu 8 Unidades de Conservação de proteção integral de São Paulo, apontou que somente o Parque Estadual de Campos de Jordão apresentou nível satisfatório de manejo; três (37,5%) apresentaram nível de satisfação médio, e quatro (50%) unidades, nível pouco satisfatório.

Brito²⁹ analisou as unidades de conservação do Estado do Mato Grosso (14 de proteção integral e 5 de uso sustentável), entre federais e estaduais. Como resultado, quanto ao nível de implementação das unidades, concluiu que 63% possuíam nível inadequado de implementação e 37%, nível regular, e nenhuma unidade dispunha de nível médio ou satisfatório de implementação.

Macêdo³⁰ discutiu os efeitos da participação sobre a gestão de três parques estaduais da Bahia a partir da técnica EMAP. Para cada unidade, foi calculado o índice de efetividade. Os Parques Sete Passagens e Serra do Conduru tiveram como resultado uma gestão mais participativa, com 71 e 57 pontos, respectivamente (numa escala de 1 a 100), alcançando uma gestão medianamente satisfatória. Já o Parque Morro do Chapéu alcançou 37, ficando na categoria de gestão pouco satisfatória.

Faria³¹ verificou a eficácia de gestão de unidades de conservação de São Paulo. O estudo envolveu 59 UCs, sendo 41 do grupo de proteção integral e 18 do grupo de uso sustentável. As UCs pesquisadas apresentaram padrões de qualidade de gestão intermediários, sendo que 22 tiveram a gestão classificadas como de padrão mediano, 27 como de padrão inferior e 04 como de padrão muito inferior. Apenas seis unidades alcançaram pontuação suficiente para o padrão de qualidade elevado.

Considerações Finais

Neste capítulo, foi explanado que uma das principais estratégias de conservação da biodiversidade é a criação de áreas protegidas, e que a gestão integrada e participativa dessas áreas representa uma das ferramentas mais importantes no processo da proteção e de uso sustentável da natureza em conjunto com a valorização sociocultural e o ordenamento territorial. Os conselhos gestores das unidades de conservação são instrumentos eficazes para a gestão ambiental, servindo para a diminuição de conflitos socioambientais, para a integração da sociedade e para o aumento no comprometimento da sociedade na gestão, bem como para o estabelecimento de um fórum decisório, inclusivo e participativo.

A avaliação de efetividade de áreas protegidas é uma oportunidade para identificar pontos para melhoria e para auxiliar na priorização e otimização dos esforços e dos

²⁸ FARIA, H. H. Avaliação da efetividade do manejo de unidades de conservação: como proceder? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 1997, Curitiba. *Anais* [...], p. 478-499.

²⁹ BRITO, M. A. Avaliação do nível de implementação das unidades de conservação do Estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 2. 2000, Campo Grande. Trabalhos técnicos. *Anais* [...], v.2. p. 645-653.

³⁰ MACÊDO, J. A. C. *Avaliação da gestão participativa dos parques estaduais da Bahia*, op. cit.

³¹ FARIA, H. H. *Eficácia de gestão de unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil*, op. cit.

investimentos para a conservação. Muitos indicadores não refletem apenas a situação da gestão atual, mas sim o resultado de todo o planejamento e criação da Unidade. Portanto, alguns fatores que contribuíram para que a EEEG não atingisse uma pontuação mais elevada são sistêmicos e independentes da gestão atual, e apenas se mantêm como desafios a serem minimizados por ela.

De maneira geral, a EEEG caminha para atingir bons desempenhos futuros. Considerando ainda que, mesmo com todos os pontos problemáticos observados, a simples implantação dessa unidade de conservação já se mostra importante, por representar uma proteção mínima desse fragmento, um dos últimos remanescentes da Floresta de Tabuleiros da região sudeste, uma vez que, mesmo com o mínimo de gestão e aporte de recursos, tais formações vegetacionais apresentaram tendência à melhoria. Este trabalho representa um primeiro panorama da situação gerencial da EEEG, bem como o diagnóstico apresentado reflete apenas um cenário resultante de um momento de análise, que pode facilmente ser mudado, considerando as constantes mudanças na estrutura e competências de órgãos gestores estaduais, mudanças políticas e de prioridades de governo.

A análise da efetividade da gestão também é importante porque permite evidenciar os pontos falhos e subsidiar propostas de mudanças que colaborem para o melhor desempenho da UC, que terá como consequência uma melhor eficiência na conservação. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para o aprimoramento dos estudos de avaliação de políticas públicas ambientais no que tange à gestão de UCs com uma melhor eficiência. Está claro que a atuação dos indivíduos e dos grupos locais, discutindo e propondo, se organizando e exercitando a sua cidadania, promove mudanças na cultura de suas organizações e na própria cultura da comunidade.

Dessa forma, as agressões à EEEG listadas, tais como queimadas, caça predatória e conflitos fundiários, se ligam ao distanciamento das comunidades e de atores locais em relação aos mecanismos de gerência desse espaço protegido. Só a democracia levará à sustentabilidade de políticas ambientais por meio da criação de espaços de negociação e do fortalecimento dos instrumentos existentes, como, por exemplo, os conselhos gestores.

A inclusão dos atores sociais na gestão de áreas protegidas depende da efetivação de espaços institucionais de exercício da cidadania, como os conselhos gestores, mas também, e principalmente, da capacitação da sociedade para participar desse processo, para que essa participação não se configure como uma simulação democrática, mas sim como processos de governança que propiciem uma gestão alicerçada na ampla participação da comunidade nos processos de tomada de decisão. Pretende-se que os resultados deste estudo sirvam como elemento orientador para futuras pesquisas relacionadas ao tema, assim como para a melhoria da gestão da EEEG e de outras unidades comprometidas com o exercício das funções do seu cargo. Muitas vezes mal compreendido por alguns setores das comunidades locais, por ter que fazer cumprir determina exigências, é respeitado, contudo, pela grande maioria dos atores locais, devido à presteza e à cordialidade com que conduz as questões relativas à unidade de conservação.

CONHECIMENTO TRADICIONAL LOCAL E PERCEÇÃO AMBIENTAL DE PESCADORES ARTESANAIS E CATADORES DE CARANGUEJO: A MACROBIOTA ASSOCIADA AOS MANGUEZAIS DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA DO SUL, EM GARGAÚ, SÃO FRANCISCO DO ITABAPOANA- RJ, BRASIL

Edêmea Faria Carlos da Rocha (IFFluminense) • Maria Inês Paes Ferreira (IFFluminense)
Dalila Silva Mello (IFFluminense) • Thayná Fernandes Ribeiro Toledo (IFFluminense)

Introdução

Nas últimas décadas, surgiu uma preocupação, tanto nacional quanto internacional, com a conservação da biodiversidade e com o desenvolvimento sustentável¹. O Brasil possui a maior biodiversidade do mundo, somando aproximadamente 20% de todas as espécies já conhecidas atualmente pela ciência; entre os milhares de espécies da natureza que compartilham a existência com homens e mulheres do planeta, cada uma desempenha funções específicas para o complexo e delicado equilíbrio de todos os ecossistemas. Assim, se uma espécie desaparece, potencializa o desaparecimento de muitas outras. A variação genética é essencial para a sustentabilidade e está intimamente conectada à biodiversidade².

A zona costeira brasileira contempla regiões de transição ecológica – como os *manguezais* (grifo nosso), cuja função é ligar e viabilizar trocas genéticas entre os ecossistemas terrestres e marinhos, fato que os classifica como ambientes complexos, diversificados e de extrema importância para a sustentação da vida no mar³.

Por ser considerado um dos ecossistemas mais complexos do ambiente marinho, não apenas por sua diversidade biológica, mas principalmente devido à diversidade funcional, os manguezais tendem a resistir mais eficientemente às perturbações tanto naturais quanto induzidas pelo homem, mas a cada perturbação há perda de elementos do sistema, tornando-o menos apto à ação de novos tensores e, por consequência, mais vulnerável e com menor capacidade de suporte⁴.

¹ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, PROBIO**: relatório de atividades. Brasília, 2002. 73 p.

² CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL WWF. **Investigando a biodiversidade**: guia de apoio aos educadores do Brasil. Tradução de Débora Agria de Oliveira Melo e Sylvia Oliveira Nocetti. Belo Horizonte: Conservação Internacional; Brasília: Instituto Supereco, WWF Brasil, 2010.

³ BRASIL, *op. cit.*

⁴ SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Situação Atual do Grupo de Ecossistemas**: "Manguezal, Marisma e Apicum" Incluindo os Principais Vetores de Pressão e as Perspectivas para sua Conservação e Uso Sustentável. In: BRASIL, *op. cit.*

Segundo Courrier⁵, o número mais preciso de espécies gira em torno de dez (10) milhões. A diversidade dos ecossistemas marinhos, desde as florestas de mangues, de estrutura complexa, até os sistemas marinhos mais simples, é no mínimo comparável à diversidade terrestre.

A ampla legislação ambiental^[6,7,8,9,10,11,12] que aborda os manguezais não tem protegido a integridade das suas áreas: estudos^{13,14} apontam que os manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul apresentaram uma perda de área de cerca de 20% entre os anos de 1986 (912 ha) e 2001 (725 ha), devido à erosão e deposição acelerada de sedimentos, ao crescimento urbano e, principalmente, à conversão de suas áreas em pastagem. Partindo do pressuposto de que os impactos negativos que ocorrem em Gargaú^{15,16,17,18,19,20,21} podem vir a comprometer a sadia qualidade dos manguezais, a curto e médio prazos, faz-se necessário propor estratégias para sua conservação, associada à subsistência de catadores de caranguejo e pescadores artesanais. Insuficientemente estudada em estudos acadêmicos, a riqueza de biodiversidade presente na região de Gargaú é relatada por sua comunidade e sugere a criação de uma Unidade de Conservação (UC), do Grupo Uso Sustentável (US), que venha proteger esse território para conservar não só suas funções ecológicas e as populações de fauna e de flora que delas dependem para nidificação e/ou reprodução, mas também para o uso dos recursos naturais pela comunidade que deles depende para geração de trabalho e renda oriunda da comercialização dos “produtos” oferecidos por esses ambientes – moluscos, peixes e crustáceos, principalmente.

⁵ COURRIER, K. (ed.). **Global Biodiversity Strategy: Guidelines for Action to Save, Study, and Use Earth's Biotic Wealth Sustainably and Equitably**. [S. l.]: WRI: IUCN: UNEP, 1992. 244p.

⁶ BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Do Meio Ambiente, Capítulo VI, Art. 225. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 05 out. 1988.

⁷ _____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago.1981.

⁸ _____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 fev. 1998.

⁹ _____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Art. 225, § 10, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal e Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

¹⁰ _____. Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 dez. 2006.

¹¹ _____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4-771, de 15 de setembro de 1965, e 7-754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001 e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

¹² _____. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 ago. 2002.

¹³ BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v.18, n.3, p. 491-502, 2004.

¹⁴ BERNINI, E. **Estrutura da cobertura vegetal e produção de serapilheira da floresta de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Brasil**. 2008. 134p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2008.

¹⁵ BERNINI, *op. cit.*

¹⁶ BERNINI; REZENDE, *op.cit.*

¹⁷ ROCHA, E. F. C. d. **A ocupação do ecossistema de manguezal: um estudo etnográfico na comunidade do Buraco Fundo, em Gargaú, São Francisco do Itabapoana, RJ**. 2013. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013.

¹⁸ SOFFIATI, A. **Parecer sobre as condições ambientais do município de São Francisco do Itabapoana**. 2007. (Documento do IBAMA).

¹⁹ SOFFIATI, A. **Os manguezais do sul do Espírito Santo e do norte do Rio de Janeiro: com alguns apontamentos sobre o norte do sul e o sul do norte**. 2ª ed. rev. ampl. atual. Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia Editora, 2014.

²⁰ SOARES, M. F. T. **Sustentabilidade no mangue e medidas conservativas na comunidade de Gargaú, São Francisco de Itabapoana: promoção de gestão através de Educação Ambiental**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Biologia) - Universidade da Tecnologia e do Trabalho, Campos dos Goytacazes, RJ, 2005. 65 p.

²¹ VIEIRA, B. L. Impactos ambientais no bairro Buraco Fundo: uma percepção dos moradores do distrito de Gargaú, São Francisco de Itabapoana/RJ. In: CIRCUITO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CEFET CAMPOS, 4., 2007.

A contribuição científica desta pesquisa para a gestão ecossistêmica dessa localidade no estuário do rio Paraíba do Sul é a sistematização da percepção de residentes usuários do manguezal acerca da fauna e da flora dos maiores manguezais de Gargaú, aliando assim o conhecimento local ao saber perito. A macrobiota e os locais atrativos para nidificação e/ou reprodução das espécies é reportada sob a ótica do grupo focal constituído por catadores de caranguejo (“caranguejeiros”) e/ou pescadores que labutam diariamente nos ecossistemas rio-manguezal para buscar os recursos naturais que os sustentam, sendo, portanto, detentores de um saber popular importante sobre a região estudada que pode auxiliar a estabelecer estratégias de gestão para a sua conservação.

Material e Método

Percepção ambiental: um instrumento de pesquisa

Percepção é um substantivo que se aplica ao ato, ao processo de perceber, assim como aos resultados dessas ações. Deriva do vocábulo latino *percipere* (per = bem, como intensidade + *cápere* = apanhar, pegar, captar). Nesse sentido, perceber um fato, um fenômeno ou uma realidade significa captá-lo e dar-se conta dele com alguma profundidade; a percepção é o primeiro passo no processo do conhecimento²². Os estudos sobre a percepção ambiental buscam compreender como os aspectos ambientais podem influenciar os indivíduos de forma conjunta, ou individualmente, em relação às suas ações, sentidos e emoções com o que percebem²³.

Neste estudo, a “percepção ambiental” dos “caranguejeiros” e pescadores (grupo focal – GF aqui investigado) é um instrumento para apresentar a macrobiota associada a cada manguezal da região de Gargaú, uma vez que o trabalho no “mangue” (linguagem do GF) e nos “braços do rio” requer observar atentamente a paisagem, bem como ser cuidadoso no ato de extrair os peixes, crustáceos e moluscos, pois a tarefa exige a exposição direta de todo o corpo a esses ambientes. Costa e Colesanti²⁴ explicam que a percepção do indivíduo depende de uma interação de fatores, que incluem: i) aspectos ligados aos sentidos, ao indivíduo e ao grupo a que pertence, e ii) aspectos do ambiente em questão. Permite a mensuração e a avaliação dos ambientes em que os indivíduos atuam, além do direcionamento de suas atividades e modo de vida²⁵.

Dessa forma, as populações que usufruem dos recursos desses ambientes podem ter a proficiência de reportar a macrobiota associada aos ecossistemas a partir da percepção ambiental adquirida ao longo do tempo, diariamente, demonstrando

²² COIMBRA, J.D. A. A. Linguagem e Percepção Ambiental. In: PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO; M.A.; BRUNA, G.C. (ed.). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. (Coleção Ambiental, 1).

²³ COSTA; COLESANTI, *op. cit.*

²⁴ COSTA, R. G. S.; COLESANTI, M. M. A contribuição da percepção ambiental nos estudos das áreas verdes. **RAEGA O Espaço Geográfico em Análise**, v. 22, p. 238-251, 2011.

²⁵ MELAZO, G. C. A percepção ambiental e educação ambiental: uma reflexão sobre as relações interpessoais e ambientais no espaço urbano. **Olhares & Trilhas**, v.1, n.6, p. 45-51, 2005.

assim, conhecimento empírico (etnobiologia). Assim, buscou-se investigar a percepção ambiental dos participantes utilizando a técnica de grupo focal (GF), que é uma modalidade de pesquisa qualitativa em profundidade, realizada com um grupo de pessoas que interagem entre si, para a construção dos dados de forma coletiva e dinâmica²⁶.

Considerando que a etnobiologia é essencialmente o estudo do conhecimento e das conceituações desenvolvidas por qualquer sociedade a respeito do mundo natural, das espécies^{27,28}, o conhecimento dos povos tradicionais (indígenas e não-indígenas) não se enquadra em categorias e subdivisões precisamente definidas como as que a biologia tenta, artificialmente, organizar. Sendo um campo relativamente novo da ciência, a etnobiologia ainda está construindo seu método e sua teoria a respeito da maneira pela qual os povos classificam os seres vivos, seu ambiente físico e cultural. Pressupõe-se que cada povo possua um sistema único de perceber e organizar as coisas, os eventos e os comportamentos²⁹; tal pressuposto foi confirmado no caso do GF estudado, capaz de relacionar a macrobiota associada aos maiores manguezais de Gargaú, alimentados pelas águas do rio Paraíba do Sul.

Grupo focal composto por pescadores e “caranguejeiros” de Gargaú

O método de investigação que se baseia no GF é um tipo de pesquisa qualitativa³⁰, que neste trabalho faz uma abordagem fenomenológica, denominada de orientação, pois tem o propósito de “transformar” o pesquisador em membro dessa população, aprendendo sua linguagem e adquirindo subsídios mais consistentes para sua pesquisa, a partir de uma interação muito mais próxima com a realidade, sob o ponto de vista do universo pesquisado, permitindo assim uma coleta de informações, de caráter objetivo, baseadas nas percepções de atores sociais envolvidos nas questões ambientais presentes em uma dada localidade³¹.

O objetivo central do GF é identificar percepções, atitudes e ideias dos participantes a respeito de um determinado assunto. Seus objetivos específicos variam de acordo com a abordagem de pesquisa; em pesquisas fenomenológicas ou de orientação, é aprender como os participantes interpretam a realidade, seus conhecimentos e experiências. O GF se inicia com a reunião de seis (6) a dez (10) pessoas selecionadas com base em suas características homogêneas ou heterogêneas, em relação ao assunto a ser discutido. Sugere-se considerar que seis (6) pessoas são suficientes para promover uma discussão. A discussão é conduzida por um moderador/pesquisador, para provocar as dinâmicas de

²⁶ OLIVEIRA, M. S. **Educação Ambiental e organizações da sociedade civil da Bacia Hidrográfica do Córrego Água Quente**: compreendendo a incorporação da temática ambiental em suas ações sócio-educativas. 2007. 151p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

²⁷ POSEY, D. Manejo da floresta secundária, capoeiras, campos e cerrados Kayapó. In: B. Ribeiro (Org.). **Suma Etnológica Brasileira**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1987. v.1.

²⁸ DIEGUES, A. C. (Org.) et al. **Os Saberes Tradicionais e a Biodiversidade no Brasil**. São Paulo: MMA: COBIO: NUPAUB: USP, 2000.

²⁹ DIEGUES et al. (Org.), *op. cit.*

³⁰ DIAS, C. A. Grupo Focal: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. **Informação & Sociedade: Estudos**, v.10, n.2, 2000.

³¹ AAKER, *op. cit.*

grupo e compreender os sentimentos expressos pelos participantes, que deve conhecer muito bem os objetivos da pesquisa, mas manter-se “neutro” na discussão para obter a participação de todos. O pesquisador é responsável pelo recrutamento dos participantes; é condutor, analisador e relator dos resultados, além de encarregado de intervir no redirecionamento da discussão, caso haja dispersão ou desvio do tema pesquisado³².

No caso estudado, foram reunidas sete (7) pessoas, sendo quatro (4) catadoras de caranguejo (“caranguejeiras”) e três (3) pescadores de água doce (que pescam na região estuarina do rio), selecionados a partir da indicação de uma informante-chave, participante de outros trabalhos acadêmicos^{33,34}. Entre os componentes do GF, três (3) deles não cursaram nem o Ensino Fundamental, e os demais não concluíram o nível Fundamental da Educação Básica; a faixa etária situa-se entre 30 e 80 anos.

Os encontros aconteceram na varanda da residência de duas “caranguejeiras”, totalizando quatro (4) reuniões, com duração de três (3) a quatro (4) horas. A primeira teve o objetivo de explicar o teor da pesquisa e de iniciar o debate sobre as percepções a respeito da macrobiota do meio aquático do estuário do rio e de cada manguezal – dentro e sob o sedimento. Nos demais encontros, as informações foram se consolidando e sendo revistas para a construção de um quadro aproximado da macrobiota associada ao manguezal.

Para embasar cientificamente os resultados, buscou-se conhecer a opinião do saber “perito”, por meio da submissão eletrônica de um questionário semiestruturado a sete (7) pesquisadores que têm publicações sobre a área de estudo do presente trabalho, atuantes nas áreas de Antropologia, Biologia, Ciência Animal, Ecologia e Recursos Naturais e História Social. O questionário foi dividido em dois (2) blocos: 1) impactos negativos e positivos percebidos; e 2) macrobiota dos ecossistemas locais. Cada bloco foi composto por três perguntas, com abordagens sobre impactos e medidas mitigadoras (bloco 1), e quanto à flora e à fauna existentes (bloco 2); perguntou-se também se, na visão dos pesquisadores, a população local contribui na conservação dos manguezais da área e/ou como estratégia para a conservação da biodiversidade.

O manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, na região de Gargaú

O processo de formação dos manguezais depende dos tipos de solos litorâneos e, sobretudo da dinâmica das águas, que age sobre cada ambiente costeiro, além da variação do nível do mar. É um processo gradual e lento. Durante essa variação, há uma reorganização constante no espaço desses ambientes e uma adaptação dos manguezais, evitando assim, a sua extinção. Ocorre principalmente nos estuários, baías e lagunas,

³² DIAS, *op. cit.*

³³ ABRÊU, G; ABRÊU, L. **Mapeamento participativo**: a percepção ambiental das catadoras de caranguejo de Gargaú, município de São Francisco de Itabapoana, RJ. 2013. Monografia (Licenciatura em Geografia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2013.

³⁴ ROCHA, *op. cit.*

no encontro das águas doce e salgada³⁵, sendo considerado um ecossistema aberto por suas trocas significativas de materiais e organismos com os ecossistemas terrestre, oceânico, estuarino e ambiente atmosférico³⁶.

A vegetação de mangue do Brasil se constitui de angiospermas de pouca variedade; pode-se citar a presença de rizóforos, lenticelas e pneumatóforos que otimizam o processo de trocas de gases, além de estômatos em suas folhas que permitem a excreção do excesso de sal característico do ambiente³⁷. As raízes formam uma barreira física aos sedimentos transportados pelas águas que, ao serem depositados ao seu redor, criam novas áreas para colonização de novas plantas. É um processo lento e contínuo que faz com que o manguezal cresça sempre em direção à água³⁸.

A literatura técnico-científica considera que a amplitude das marés seja um fator importante para a formação e desenvolvimento do manguezal pelo transporte de sedimentos, matéria orgânica, dentre outras, porém há controvérsias, conforme explana Soffiati (2014):

Este ecossistema pode se desenvolver em ambientes sem a presença de marés, muito embora os que contam com a lavagem delas aparentem mais saúde que os manguezais situados em ecossistemas aquáticos fechados ou semifechados. É que as marés salinizam os solos, inibem o crescimento de plantas concorrentes das espécies exclusivas de manguezal, mais resistentes ao sal. Além disso, as marés promovem a ventilação dos vegetais [...], desse modo parece que apenas duas condições são imprescindíveis para a ocorrência de manguezais: as temperaturas intertropicais e a baixa energia marinha³⁹.

A ocorrência de manguezais e apicuns é registrada da Foz do Rio Oiapoque, na Região Norte, à Divisa Laguna/Jaguaruna, na Região Sul⁴⁰. No Estado do Rio de Janeiro, eles são relativamente extensos, comumente encontrados por trás de restingas, com bosques que apresentam indivíduos mais altos margeando estuários, canais e a jusante de alguns rios, podendo ser bosques monoespecíficos ou mistos, composto por *Laguncularia spp*, *Avicennia spp* e *Rhizophora spp*.⁴¹ No estuário do rio Paraíba do Sul (Figura 1), os manguezais são constituídos pelas espécies *Avicennia germinans* (mangue preto), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Rhizophora mangle* (mangue vermelho)⁴². Essas espécies apresentam as seguintes especificidades⁴³:

- Gênero *Rhizophora* (R): Mangue vermelho, sapateiro ou verdadeiro, encontra-se geralmente nas franjas dos bosques em contato com o mar, ao longo dos canais, na desembocadura de alguns rios ou, nas partes internas dos estuários onde a salinidade não é muito elevada.

³⁵ PROJETO Planágua SEMADS GTZ. **Manguezais**: Educar para proteger. Jorge Rogério Pereira Alves (org). Rio de Janeiro: FEMAR, SEMADS, 2001.

³⁶ LUGO, A. E. Conserving Latin American and Caribbean mangroves: issues and challenges. **Madera y Bosques**, special number, p. 5-25, 2002.

³⁷ FERNANDES, T. V. **Recuperação de Manguezais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 92p.

³⁸ PROJETO..., *op.cit.*

³⁹ SOFFIATI, 2014, p. 21.

⁴⁰ SCHAEFFER-NOVELLI, *op. cit.*

⁴¹ SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; ADAIME, R.R. Variability of mangrove ecosystems along the brazilian coast. **Estuaries**, v.13, n.2, p. 201-218, 1990.

⁴² BERNINI, E.; REZENDE, C. E., *op. cit.*

⁴³ SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, 150 p., 1986.

- Gênero *Avicennia* (A): Siriúba ou mangue preto, ocupa terrenos da zona entremarés, ao longo das margens lamacentas dos rios ou diretamente exposta às linhas de costa, desde que submetidas a intrusões salinas. Essas plantas toleram salinidades intersticiais muito mais altas que os demais gêneros de mangue.
- Gênero *Laguncularia* (L): Mangue branco ou tinteira, encontrado em costas banhadas por águas de baixa salinidade, às vezes ao longo de canais de água salobra ou, em praias arenosas protegidas. É um gênero monoespecífico, encontrada associada aos manguezais ao longo de todo o litoral.

No manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (Figura 2), durante o período de baixa vazão, o ecossistema estaria submetido a regime de inundação semelhante aos dos manguezais de planícies de marés, propriamente ditas. Nos meses de cheia do rio, o sedimento do manguezal tenderia a permanecer grande parte do tempo submerso, transformando-se temporariamente em planície de inundação, com predomínio de água doce. Aporte maior de água salgada, nessas condições, ficaria restrito a períodos de marés de sizígia. Assim, a alternância entre planície de maré e de inundação confere características distintas ao manguezal estudado, em relação a outros manguezais rígidos principalmente pelo regime de marés⁴⁴.

Os manguezais do estuário são do “tipo ribeirinho, embora existam áreas de manguezal de bacia e de franja”⁴⁵. Os bosques no estuário apresentam as seguintes características⁴⁶:

- *Avicennia germinans*: essa espécie é dominante no estuário do rio Paraíba do Sul, devido à grande influência de água doce;
- *Laguncularia racemosa*: ocorre principalmente em áreas com deposição recente de sedimentos (principalmente em sedimentos arenosos); e
- *Rhizophora mangle*: ocorre em áreas mais lodosas em associação principalmente com *Avicennia germinans*.

⁴⁴ BERNINI; REZENDE, *op. cit.*

⁴⁵ SOFFIATI, A., *op.cit.*, p. 86.

⁴⁶ BERNINI, E. **Questionário semiestruturado** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por edemearocha@gmail.com em 31 jul. 2015.

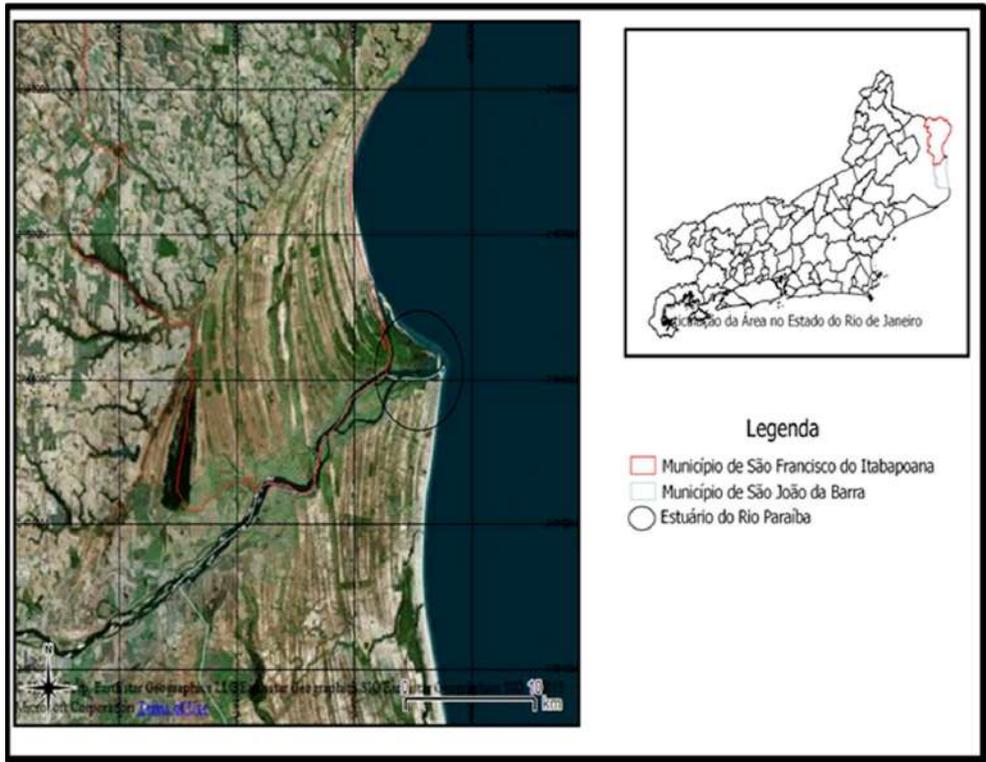


Figura 1: Carta Imagem da localização do estuário do rio Paraíba do Sul/RJ

Fonte: elaboração de José Francisco de Oliveira Júnior; orientação de José Augusto Ferreira da Silva, a partir do IBGE, 2014, Google Earth, 2014

Fonte: Arquivo pessoal de Welliton Rangel (Set./ 2014), gentilmente cedida

A respeito de Gargaú, localidade desse estuário, Filho⁴⁷ descreve:

O sistema estuarino-lagunar Gargaú pertence ao rio Paraíba do Sul e está localizado no Município de São Francisco do Itabapoana/RJ. [...] a região apresenta sucessões de faixas arenosas em sua desembocadura, se caracterizando como uma planície costeira. Apresenta ainda, comportamento instável devido à presença de inundações periódicas influenciadas pela maré. [...] a dinâmica local favorece a presença de manguezais, ecossistema de grande importância econômica por ser fonte de recursos pesqueiros, além de exercer várias funções como: estabilizador dos sedimentos transportados; grande produtor primário e considerados verdadeiros viveiros de peixes, crustáceos e moluscos, que o utilizam para alimentação, reprodução, desova, crescimento e proteção.

A economia gira em torno da pesca, responsável por 90% da circulação financeira local, gerando de forma direta e indireta, aproximadamente, 5.000 empregos. Nos anos noventa, o setor pesqueiro obteve uma melhora significativa com a presença abundante de peixes de recife – peruá (*Balistes capriscus*) – e outras espécies como o camarão-de-sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), o caranguejo uçá (*Ucides cordatus*), que criam

⁴⁷ FILHO, I. S. **Caracterização de Gargaú** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por edemearocha@gmail.com em 03 jul. 2015.

várias alternativas de geração de renda, como o beneficiamento, o turismo e o comércio. Uma grande parte da comunidade de Gargaú sobrevive da exploração e comercialização dos recursos naturais advindos do rio e do manguezal da região^{48,49}. Atualmente, a pesca predatória, o avanço das construções nas áreas de manguezal, nas várzeas e em outras áreas sensíveis, que não são fiscalizadas por técnicos especializados, estão dizimando ambientes que outrora serviam de berçários para várias espécies, o que atinge diretamente toda a cadeia ecológica e a biodiversidade local, afetando negativamente a economia local, forçando a desativação de frigoríficos, a venda de barcos e o fechamento de peixarias e restaurantes⁵⁰.

Devido às horas de contacto contínuo com o manguezal, os pescadores e “caranguejeiros” tornaram-se detentores de saberes a respeito das funções sociais e ecológicas desse ecossistema, como também reconhecem os problemas ambientais citados por Filho (2015) e outros, tais como o desmatamento das florestas de mangue, o despejo de esgoto doméstico e industrial *in natura* diretamente no rio e a dragagem no canal principal^{51,52,53}.

Essas pessoas demonstraram amplo conhecimento sobre esses ambientes ao elaborarem um mapa mental-participativo a partir da percepção ambiental sobre os caminhos do rio que os levam a cada “mangue”⁵⁴ (2013). Esse saber oriundo da vivência é denominado por Diegues e colaboradores⁵⁵ como conhecimento tradicional, ou seja, o conjunto de saberes e saber-fazer a respeito dos mundos natural e sobrenatural, transmitido oralmente de geração em geração. Os autores realizam uma abordagem sobre alguns artigos da Convenção sobre a Diversidade Biológica – CDB, no que tange ao conhecimento tradicional, compatível com os “caranguejeiros” e pescadores artesanais de Gargaú, detentores de saberes transferidos por gerações, os quais podem portanto ser atores importantes para a conservação da biodiversidade. Diegues e colaboradores ponderam ainda que:

O respeito e a manutenção dos conhecimentos e práticas tradicionais são um dos objetivos da Convenção que, em seus preâmbulos e no Artigo 8, recomenda que os benefícios derivados do uso desse conhecimento sejam também distribuídos entre as comunidades que o detêm⁵⁶.

Em Gargaú, os manguezais da área denominada de “riacho dos macacos” pela população local e assim reconhecida nos estudos científicos^{57,58} são os mais conservados do estuário. Sob o nome de “Cajueiro 1” e “Cajueiro 2”, esses manguezais se constituem em áreas afastadas da urbanização, sendo de difícil acesso (informação do grupo focal). O GF destacou ainda as seguintes denominações locais:

⁴⁸ SOFFIATI, *op. cit.*

⁴⁹ ROCHA, *op. cit.*

⁵⁰ FILHO, *op. cit.*

⁵¹ ABRÊU; ABRÊU, *op. cit.*

⁵² PASSARELI, L. d. S. **Manguezais Sob Uma Perspectiva Social e Econômica**: percepção ambiental e valoração do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro. 2013. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2013. 107p.

⁵³ ROCHA, *op. cit.*

⁵⁴ ABRÊU; ABRÊU, *op. cit.*

⁵⁵ DIEGUES *et al.*, *op. cit.*

⁵⁶ DIEGUES *et al.*, 2000, p. 4

⁵⁷ BERNINI; REZENDE, *op. cit.*

⁵⁸ SOFFIATI, *op. cit.*

- **BURACO FUNDO:** manguezal mais próximo da urbanização. Apresenta na sua “testa”⁵⁹, espécies de mangue branco (*Laguncularia racemosa*), poucos mangues vermelhos (*Rhizophora mangle*), guaxuma (*Talipariti pernambucense*), ao fundo do boque, mangues pretos (*Avicennia germinans*), e samambaias-do-brejo (*Acrostichum aureum*);
- **AZABITA:** apresenta; no apicum, espécies tais como ingá do mangue (*Inga vera affinis*), pé de pêro (nome científico desconhecido, produz fruto de cor verde, muito doce), araçá (*Psidium cattleyanum*), cedra (produz fruto escuro que, ao ser degustado em grande quantidade, provoca tonturas), apertacum (produz fruto de cor roxa que causa retenção no intestino, se degustado em grande quantidade), pitanga (*Eugenia uniflora*), cabeluda (*Eugenia tomentosa*), mololô (*Annona glaba*), gabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*), jamelão (*Syzygium jambolanum*), pé de bolo (parecidos com pé de café, mas com fruto de cor roxa), cambuí (*Myrcia selloi*), dentre outras associadas. As áreas de sedimento lodoso apresentam mangues brancos (*Laguncularia racemosa*), mangues vermelhos (*Rhizophora mangle*) e mangues pretos (*Avicennia germinans*) em maior quantidade;
- **ILHA GRANDE:** apresenta espécies de mololo (*Annona glaba*), guaxuma (*Talipariti pernambucense*), samambaia-do-brejo (*Acrostichum aureum*), “curisco”, urtiga (*Urtica dioica L.*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*), mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) e mangue preto (*Avicennia germinans*);
- **MANGUEZAL DO JUSTO:** apresenta predominância de mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e poucos indivíduos de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*);
- **MANGUEZAL PORTO DA AREIA:** apresenta mangue preto (*Avicennia germinans*) e mangue vermelho (*Rhizophora mangle*);
- **MANGUEZAL TABUINHA:** apresenta predominância de mangue preto (*Avicennia germinans*) e poucos indivíduos de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*);
- **MANGUEZAL DA MOÇA BONITA:** apresenta na sua “testa” as espécies mololô (*Annona glaba*), aroeira (*Schinus molle L.*), japeganga (*Smilax japecanga*), rabo-de-macaco, rabo-de-galo (*Dalbergia ecastaphyllum*), ingá do mangue (*Inga vera affinis*), samambaia-do-brejo (*Acrostichum aureum*), guaxuma (*Talipariti pernambucense*), pé de bolo, pé de baleba, pitanga (*Eugenia uniflora*), pé de pêro, cactos (produzem frutos de cores brancas e vermelhas muito saborosos), cajueiro (*Anacardium occidentale*). No interior do bosque, apenas mangue vermelho (*Rhizophora mangle*);
- **MANGUEZAL MANSO:** apresenta na sua “testa”, espécies mololô (*Annona glaba*), aroeira (*Schinus molle L.*), japeganga (*Smilax japecanga*), amendoeira (*Terminalia catappa L.*), rabo-de-macaco, rabo-de-galo (*Dalbergia ecastaphyllum*), ingá do mangue (*Inga vera affinis*), samambaia-do-brejo (*Acrostichum aureum*), guaxuma (*Talipariti pernambucense*), pé de bolo, pé de baleba, pitanga (*Eugenia uniflora*), pé de pêro, cactos, apertacum. No interior do ecossistema, ocorrem o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), o mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e o mangue preto (*Avicennia germinans*);

⁵⁹ “Testa” é uma palavra usada nesse trabalho para indicar frente ou um primeiro contato visual do manguezal” [nota da primeira autora].

- MANGUEZAIS PITANGA, ANTÔNIO FLECHA, ELIAS, MÃE BOA, DA COBRA e DO JUSTO: na zona do apicum, relatou-se a presença de cacto mololô (*Piptocarpha macropoda*), aroeira branca (*Lithraea molleoides*) e aroeira vermelha (*Schinus molle L*). No interior do bosque, predomina o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), com a ocorrência de alguns indivíduos de mangue preto (*Avicennia germinans*);
- MANGUEZAL DA SAMAMBAIA, DO PESSANHA e LILICO: apresentam mangue preto (*Avicennia germinans*);
- MANGUEZAL CAJUEIRO: apresenta, na sua “testa”, guaxuma (*Talipariti pernambucense*) e mangue branco (*Laguncularia racenosa*), e, mais ao fundo do bosque, mangue preto (*Avicennia germinans*). É um manguezal menor que os demais, porém, o mais conservado, conforme já citado.

O “pulsar” da vida animal no manguezal

A fauna dos manguezais, estuários e outros ecossistemas costeiros tem sua origem nos ambientes terrestre, marinho e de água doce, permanecendo nesses ecossistemas toda sua vida como residentes ou apenas parte dela, na condição de semirresidentes, visitantes regulares ou oportunistas. Seja qual for a condição, a fauna está sempre intimamente associada a esses ambientes e deles dependente⁶⁰. A estreita relação de espécies da fauna litorânea brasileira com os ecossistemas costeiros, para abrigo, alimentação, reprodução e/ou nidificação, faz com que a conservação dessas áreas torne-se cada vez mais importante⁶¹. Certas aves percorrem grandes distâncias em seus movimentos migratórios, passando às vezes por vários países, sendo importantes indicadores da qualidade ambiental⁶².

Schaeffer apresenta dados secundários sobre a biodiversidade local que reportam a ocorrência de algumas das espécies de aves associadas aos manguezais brasileiros consideradas raras, ameaçadas ou vulneráveis, tais como *Ajaia ajaia* (colhereiro), *Cosmorodidum albus* (graça branca grande), *Egretta thula* (graça branca pequena), *Eudocimus ruber* (guará), *Pandion halliaetus* (águia pescadora), e *Sterna hirundo* (trinta-réis de bico vermelho)⁶³.

Por ser um ambiente que sofre alterações no nível da água, na salinidade, na temperatura e na turbidez, e por possuir concentrações variáveis de oxigênio dissolvido, o manguezal oferece aos animais, uma vez adaptados a essas condições, uma rica fonte de alimentos e de nutrientes que exclui competidores potenciais, em virtude das suas especificações (WHITFIELD, 1999 apud FERNANDES, 2012)⁶⁴. Assim, para que um animal seja caracterizado como típico dos manguezais, não é levado em conta seu endemismo, ou seja, sua exclusividade, mas sim sua abundância nesses ecossistemas⁶⁵.

⁶⁰ SCHAEFFER-NOVELLI, op. cit.

⁶¹ MACIEL, N. C. **Alguns aspectos da ecologia do manguezal**. In: COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL E DE ADMINISTRAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, CPRH. **Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste**. Recife, 1991. (Série Publicações Técnicas).

⁶² SCHAEFFER-NOVELLI, op. cit.

⁶³ SCHAEFFER-NOVELLI, op. cit.

⁶⁴ FERNANDES, R. T. V. **Recuperação de manguezais**. Rio de Janeiro: Interciências, 2012.

⁶⁵ SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; COELHO JÚNIOR, C.; TORGNELLA-DE-ROSA, M. **Manguezais**. São Paulo: Ática, 2001. (Investigando o meio ambiente).

A ictiofauna e os invertebrados do manguezal são de grande importância para o equilíbrio ecológico do ambiente, atuando em diversos níveis da cadeia trófica. Os peixes, além de serem recursos exploráveis, contribuem para a transformação, o armazenamento, a condução e as trocas de energia e biomassa nos vários níveis tróficos. Exemplificados pelos caranguejos do gênero *Uca*, os invertebrados são reconhecidos não só por sua importância social e econômica como fonte de alimento e de subsistência para as populações ribeirinhas, como também por serem peças-chave na ciclagem da matéria orgânica, por seu hábito alimentar detritívoro e pelo comportamento de cavar tocas, formando galerias no solo do manguezal. Esse comportamento melhora a oxigenação pelo revolvimento do substrato para a superfície, disponibilizando novamente, assim, nutrientes ao ecossistema. Ressalta-se ainda a importância dos moluscos bivalves como filtradores e controladores das comunidades planctônicas e da matéria orgânica em suspensão⁶⁶.

As aves atuam na transferência de matéria e energia do ambiente aquático para o terrestre e no controle biológico de espécimes debilitados, o que diminui o risco de proliferação de doenças pela retirada desses organismos do ambiente⁶⁷. Dentre as aves mais observadas, constam as garças, os martins-pescadores, socós e maçaricos, dentre outras⁶⁸.

No manguezal, os anfíbios encontram refúgio e alimento; dentre as espécies, pode-se citar os sapos, rãs e jias. Os répteis que podem ser encontrados nesses ambientes são os cágados e os jacarés. Existe ainda uma infinidade de insetos tais como as mutucas, os maruins, mosquitos e as abelhas, que inclusive estão sendo muito aproveitadas para a apicultura nos bosques de *Avicennia*. Os mamíferos representam uma fauna diversificada dentro dos manguezais; muitos os visitam durante a noite, à procura de alimento; dentre eles, estão os morcegos, macacos, guaxinins, capivaras e outros⁶⁹.

A macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul em Gargaú, descrita pelo GF, é apresentada de forma sintética no Quadro 1 e contempla a fauna citada na literatura acadêmica^{70,71,72}. O GF apontou também que o ecossistema abriga espécies consideradas, no mínimo, vulneráveis, como as garças brancas grandes e pequenas, os colhereiros e os guarás.

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO	
<i>Nome popular sugerido</i>	<i>Família Pesquisada</i>
Tainhas	Mugilidae
Tanhota	Mugilidae

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continua)

⁶⁶ FERNANDES, *op. cit.*

⁶⁷ FERNANDES, *op. cit.*

⁶⁸ LEMOS, R. M. (Org.) Manguezais: Conhecer para Preservar. Uma Revisão Bibliográfica. Brasília: Ícone, 2011. 136 p.

⁶⁹ LEMOS, *op. cit.*

⁷⁰ SCHAEFFER-NOVELLI, *op. cit.*

⁷¹ LEMOS, *op. cit.*

⁷² FERNANDES, *op. cit.*

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO	
Nome popular sugerido	Família Pesquisada
Barrigudinho	Poeciidae
Traíra	Erythrinidae
Robalinho	Centropomidae
Acará branca	Cichlidae
Acará ferreira	Cichlidae
Tilápia	Cichlidae
Robalo	Centropomidae
Manjuba	Engraulidae
Corvina pequena	Cienídeos
Camboatá	Callichthyidae
Viola	Rhinobatidae
Bagre	Pimelodidae
Bagre- africano	Clariidea
Carapeba	Gerreidae
Carpas	Cyprinidae
Tucunaré	Cichlidae
Morobá	<u>Erythrinidae</u>
Maria Sapeba	Paralichthidae
Piaba	Characidae
Jundiá	<u>Pimelodidae</u>
Peixe-Galo	Carangidae
Cumatã o Curimatã	Prochilodontidae
Cachaco	Não encontrado
Caxingó	Não encontrado
Piau	Anostomidae
Dourado	Characidae
Muçum	Gerreidae

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Linguado	Paralichthyidae	
Baiacu	Tetraodontidae	
Cororoca	Haemulidae	
Pacú	Characidae	
Piabanha	Characidae	
Pirarucu	Osteoglossidae	
Sairú	Characidae	
Sarapoa	Não encontrado	
Tavavaca	Murenídeos	
Total de Peixes= 39 (incluindo a Moreia)		
Nome popular sugerido PEIXES	Família Pesquisada	Comentários
Moreia	Muraenidae	Não possui escamas. Ocorre em locais de mangue preto e vermelho, sendo capturado apenas pelas catadoras braçais, que retiram a moreia de dentro do “buraco” dos machos, que é diferente do “buraco” feito pelas fêmeas. Alimenta-se de crustáceos, peixes.
Nome popular sugerido CRUSTÁCEOS	Família Pesquisada	Comentário
Camarão branco	Penaeidae	Ocorre em áreas perto da barra, tal como o manguezal Manso.
Camarão cinza	Penaeidae	Ocorre em áreas perto da barra, em locais com limo.

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Camarão pitu	Penaeoidea	Habita o meio aquático.
Caranguejo uçá	Ocypodidae	Habita o sedimento.
Caranguejo aratú	Grapsidae	Habita o sedimento.
Chama-maré	Ocypodidae	Habita o sedimento e o meio aquático. É um bioindicador do início da “andada” do caranguejo porque ficam agitados junto à beira d’água.
Guaiamum	Gecarcinidae	Espécie em estado de escassez devido à sobre-exploração. Ocorre em locais de areia, como o apicum.
Grauçá	Ocypodidae	
Siri corre-costas	Portunidae	Habita o meio aquático e o sedimento.
Siri- do-rio	Portunidae	Habita o meio aquático e o sedimento.
Siri-do-mangue	Portunidae	É o maior de todos.
Siri-goia	Portunidae	Habita o meio aquático e o sedimento.
Total de Crustáceos= 12		
Nome popular sugerido MOLUSCOS	Família Pesquisada	Comentários
Busano	Teredinidae	Ataca a madeira dos barcos, perfurando-a.
Caramujo	Neritidae	Habita sobre o sedimento.
Mariscos	Mytilidae	
Ostras	Ostreidae	

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Unha-de-velho	Solecurtidae	Ocorre em manguezais perto da barra.
Total de Moluscos= 5		
Nome popular sugerido ANFÍBIOS	Família Pesquisada	Comentários
Sapo, rã, perereca	Bufoidea	São anfíbios sem cauda.
Total de Anfíbios= 3		
Nome popular sugerido RÉPTIL	Família Pesquisada	Comentários
Cágado	Chelidae	
Camaleão	Chamaeleonidae	
Cobra Aririô	Colubridae	
Cobra cascavel	Viperidae	A área de reprodução é o manguezal Porto da Areia.
Cobra d'água	Colubridae	
Cobra Jararaca	Viperidae	A área de reprodução é o manguezal Porto da Areia.
Cobra Jibóia	Boidae	A área de reprodução é o manguezal Porto da Areia.
Cobra Pico-de-jaca	Viperidae	Outras denominações: Surucucu, bico-de-jaca
Jacaré-do-papo-amarelo	Alligatoridae	
Lagarto teiú	Teiidae	A área de reprodução é o manguezal Porto da Areia.
Tartaruga	Alligatoridae	
Víbora	Viperidae	
Total de Répteis= 12		

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Nome popular sugerido INSETOS	Família Pesquisada	Comentários
Abelha	Apidae	
Barata d'água	Belostomatidae	
Borboleta	Hesperioidea/ Papilionoidea	Superfamília.
Bimbinha	Apidea	
Cupim	Termitidae	
Cigarra	Cicadidae	
Formigas	Formicidae	
Mariposa	Bombycoidea	Superfamília.
Maruí		
Mitinga	Não encontrada	
Mutuca	Tabanidae	Moscas grandes
Maribondo	Pompilidae	
Moscas domésticas	Muscidae	
Papa fumo	Corduliidae	
Tapiucaba	Vespidae	Um tipo de vespa
Total de Insetos= 14		
Nome popular sugerido AVES	Família Pesquisada	Comentários
Ajaia ajaja	Threskiornithidae	Colhereiro.
Anu branco	Cuculidae	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande.
Anu azulão	Icteridade	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande.

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Anu preto	Cuculidae	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande.
Anu galego	Cuculidae	Tem outras denominações, como Anu-coroça.
Bem-te-vi	Tyrannidae	
Biguá	Phalacrocoracidae	Conhecido também por “mergulhão”.
Carão	Aramidae	
Coruja	Strigidae	
Falcão	Falconidae	
Fragata	Fregatidae	
Garça branca	Ardeidae	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande, o Manso e o Cajueiro.
Garça cinza	Ardeidae	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande, o Manso e o Cajueiro.
Gavião	Accipitridae	A área de nidificação é o manguezal Manso.
Guará	Threskiornithidae	
Jaburu	Ciconiidae	Foi visto no campo da Muritiba.
Marreco-pé-vermelho	Anatidae	
Maguari	Ciconiidae	
Maçarico	Scolopacidae	
Martim pescador	Alcedinidae	
Pica-pau	Picidae	
Piaçoca	Rallidae	

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Pocaçu	Alcedinidae	Também denominada de pomba-galega. A área de nidificação é o manguezal Manso.
Quero-quero	Charadriidae	A área de nidificação é o manguezal da Ilha Grande.
Saracura	Rallidae	
Sanhaçu	Thraupidae	
Siriri	Tyrannidae	
Siricora-mirim	Rallidae	A área de nidificação é o manguezal Do Justo”
Siricora- três-côcos	Rallidae	Alimenta-se de peixes.
Siriema	Cariamidae	
Socó-jaleco	Ardeidae	A área de nidificação é o manguezal Manso e Cajueiro.
Socó-mascarado	Ardeidae	Alimenta-se de caranguejo. A área de nidificação é manguezal Manso e Cajueiro.
Urubu	Cathartidae	A área de nidificação é o manguezal Manso.
Total de Aves= 33		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	Comentários
MAMIFEROS		
Bicho-preguiça	Bradypodidae	Espécie que apresenta três dedos no pés.
Bicho-preguiça	Megalonychidae	Espécie que apresenta dois dedos nos pés.
Cahorro-do-mato	Canidae	

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Capivara	Hydrochoeridae	A área de reprodução é o manguezal Tabuinha e o da Moça Bonita.
Cutia	Dasyproctidae	
Gambá	Didelphidae	Quando o gambá fica por muito agarrado ao mangue é porque está com os filhotes agarrados a ele.
Guaxinim	Procyonidae	Animal em maior quantidade. Suas áreas de reprodução são os manguezais Do Justo, Tabuinha e o da Moça Bonita.
Kika	Muridae	
Lontra de "4 patas"	Mustelidae	Lontra quadrúpede. A área de reprodução é o manguezal Tabuinha e o da Moça Bonita.
Morcego	Não identificada	
Preá	Caviidae	
Porquinho-da-índia	Caviidae	
Porco-espinho	Erethizontidae	
Rato	Muridae	
Tamanduá	Myrmecophagidae	
Tatu	Dasypodidae	
Total de Mamíferos= 16		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	Comentários
OUTRAS ESPÉCIES		
Aranha Caranguejeira	Theraphosidae	
Aranha "doméstica"	Theraphosidae	

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (continuação)

PEIXES DO MEIO AQUÁTICO		
Nome popular sugerido	Família Pesquisada	
Minhocas	Lumbricidae	
Minhocuçu	Glossoscolecidae	Minhoca gigante
Ouriço caxeiro	Echinidae	
Total de Outras Espécies= 5		

Quadro 1 - Síntese das espécies de macrofauna dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, segundo percepção ambiental do Grupo Focal (conclusão)

Percebe-se que os apontamentos do GF demonstram proficiência sobre o tema abordado e contemplam um saber promissor de que os manguezais de Gargaú contêm uma riqueza de espécies de fauna. Esse saber empírico corrobora com Diegues *et al.*⁷³, que fizeram um estudo profundo sobre as comunidades tradicionais no Brasil e afirmam que “as populações tradicionais não só convivem com a biodiversidade, mas também nomeiam e classificam as espécies vivas segundo suas próprias categorias e nomes”.

Ao pesquisar as comunidades de pescadores da ilha das Canárias, na região do Delta do Parnaíba, Maranhão, Rovai⁷⁴ ressaltou que o saber tradicional e o técnico/acadêmico não podem, em momento algum, ser comparados – por se tratarem de origens diferentes – mas nem por isso podem ser pensados separadamente.

A exemplo do GF, os pesquisadores consultados pelo questionário eletronicamente enviado citaram como exemplos de flora local o mangue branco, o mangue preto e o mangue vermelho, e espécies a eles associadas, como a guaxuma, a samambaia-do-brejo, o rabo-de-galo, o mololô e a aninga. Relativamente à fauna, os crustáceos foram os mais citados. Os pesquisadores também confirmaram os impactos ambientais já citados pelo GF, mas revelaram outros como práticas de pesca com o uso de redes com malhas estreitas, criação de gado e cavalos nas ilhas, criação de porcos no fundo das casas – contíguas ao manguezal, abatedouro de gado dentro do mangue, pesca e coleta de crustáceos no defeso e aterro de canais. Além disso, sugeriram medidas mitigadoras tais como:

- Trabalho de envolvimento, “conscientização” e organização da comunidade no sentido de se pensar o uso sustentável dos recursos naturais;
- Coleta de resíduos domésticos e tratamento terciário do esgoto doméstico;
- Retirada urgente do gado das áreas de manguezal;
- Dragagens no canal efetuadas por dragas flutuantes, sendo os sedimentos removidos colocados em pranchas e depositados em áreas fora dos manguezais;
- Elaboração de um Plano Regional de Gerenciamento Costeiro, com programas e subprogramas onde estarão detalhadas todas as atividades que possam ser implantadas;

⁷³ DIEGUES *et al.*, *op. cit.*

⁷⁴ ROVAI, M. G. O. Tradição oral e patrimônio imaterial: o papel da memória na luta por políticas públicas na Comunidade de Canárias, Maranhão. **Resgate**, v. 21, n. 25/26, p. 7-16, jan./dez. 2013.

- Educação ambiental e maior fiscalização, com ações que abranjam a bacia hidrográfica e não apenas de âmbito local; e
- Criação de uma RESEX.

Quanto à contribuição dos usuários dos recursos para a conservação da biodiversidade, a percepção dos “peritos” – em sua maioria – foi negativa e justificada principalmente pela sobrecaptação dos bens comuns, pelo desmatamento e pelas técnicas de exploração para a captura de crustáceos atualmente empregadas pela comunidade local.

Nas pesquisas qualitativas que envolvem pesquisador e interlocutor, existe o fator credibilidade na informação, sendo este o referencial que dará o suporte para a discussão acadêmica; se as informações são falhas, dificultam as investigações pelo saber “perito”. Num período de pesquisas – por vezes longo – a percepção sobre as pessoas e sobre o ambiente estudado torna-se um eficaz instrumento de pesquisa.

Diante dessa colocação, este estudo ratifica o conhecimento tradicional local do GF, e afirma que as populações locais são merecedoras de créditos como agentes multiplicadores das ações em prol da conservação dos ecossistemas locais, uma vez que podem vir a ser “trabalhadas ambientalmente” e que necessitam da sadia qualidade desses ambientes para manter a sua sobrevivência, sendo, no caso, os maiores interessados nessa questão.

Nesse processo de conservação, é importante “reconhecer que as populações tradicionais integram uma estratégia global de conservação da biodiversidade”⁷⁵. Esse comportamento pode ser exemplificado pelo relato de uma interlocutora pertencente ao GF, durante um dos encontros. Ela comentou que, ao necessitar matar um gambá, porque não tinha alimentos em sua casa, quando recolheu “o animal no mangue”, percebeu que era uma fêmea com muitos filhotes; essa constatação lhe trouxe dias de tristeza e a promessa de que jamais “mataria” outro gambá. Outra interlocutora informou que os únicos animais que os “caranguejeiros” e os pescadores “tiram” da natureza são os peixes, o guaiamum e outros caranguejos, e alguns mariscos, e que “ninguém bule com outros animais do mangue” (GF, 2015).

Ademais, percebe-se que a nova geração tem outras oportunidades de se qualificar e não dependerá dos ecossistemas do estuário para sobreviver. Alguns jovens locais consideram o manguezal “sujo e fedorento”⁷⁶, perdendo-se aí a cultura tradicional, com o empobrecimento do saber empírico dos pescadores e “caranguejeiros” no futuro. E estes:

[...] são sujeitos pensantes, que não apenas nos fornecem dados sobre a história do lugar, as tradições e a vivência, como aconselham, significam cada prática e as relações em torno delas. Ouvi-los implica romper com a posição de onisciência intelectual e a separação entre aqueles que narram e informam (os entrevistados) e aqueles que analisam (os intelectuais das instituições)⁷⁷.

O conhecimento tradicional local, a cultura de uma comunidade dependente há várias gerações da comercialização dos produtos capturados dos ecossistemas da região, o próprio manguezal com as suas funções ecológicas, e toda fauna e flora podem

⁷⁵ PROJETO de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, PROBIO: relatório de atividades. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 73 p.

⁷⁶ ROCHA, *op. cit.*

⁷⁷ ROVAL, 2013, 9 p.

sofrer abalos relevantes se não houver fiscalização e o provimento de medidas públicas efetivas que venham sanar os impactos negativos que são recorrentes na área, apesar dos manguezais serem protegidos como Áreas de Preservação Permanente, desde 1965, pelo Código Florestal⁷⁸, revogado e alterado pela Lei Federal nº 12.651/12⁷⁹.

A perda de biodiversidade, dos bens e dos serviços ambientais fornecidos pelos manguezais brasileiros não deveria, portanto, ocorrer, mas a cada pesquisa realizada na região de Gargaú as questões ambientais vêm à baila^{80,81,82,83,84,85,86,87}, não havendo ações visíveis pelo Poder Público, em nenhuma esfera administrativa, para a mitigação dos impactos.

Assim sendo, para uma real proteção ao manguezal, a toda a sua biodiversidade e aos usos sustentáveis associados à comunidade que extrai os recursos que ele fornece, e para a manutenção e reprodução cultural do grupo focal em questão, defende-se a criação de uma UC de Uso Sustentável como uma via de conciliação. A biodiversidade constatada no presente estudo e as populações locais que utilizam o manguezal justificam a criação de uma UC cuja categoria propiciasse a participação democrática e o envolvimento total dos “caranguejeiros” e dos pescadores artesanais.

Em sua maioria, esses atores não possuem nem qualificação profissional nem escolaridade para exercer outras funções ofertadas pelo mercado de trabalho regional e, portanto, podem ter a sua subsistência colocada em risco por uma UC de Proteção Integral, caso o Poder Público, no futuro, opte por fazer valer a “intocabilidade” dos manguezais.

Ao avaliarem a criação de UC da categoria Parque Nacional, a qual não permite a presença humana, Diegues e colaboradores⁸⁸, ponderam que, para uma etnoconservação, poder-se-iam pensar em critérios decorrentes do conhecimento e do manejo tradicional ou etnomanejo, realizado pelas populações tradicionais indígenas e não-indígenas; essa nova alternativa poderia ser realizada por inventários da etnobiodiversidade realmente participativos, com plena anuência e cooperação das populações tradicionais, manejadoras da biodiversidade, a exemplo do que foi realizado com GF neste estudo.

Considerações finais

Os informantes-chave integrantes do grupo focal que participaram da construção do presente trabalho têm íntimos vínculos com o ecossistema manguezal, adquiridos por vários anos de trabalho nesse ambiente, o que possibilitou, à luz do conhecimento

⁷⁸ _____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, *op. cit.*

⁷⁹ _____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, *op. cit.*

⁸⁰ ABRÉU; ABRÉU, *op. cit.*

⁸¹ BERNINI, *op. cit.*

⁸² BERNINI; REZENDE, *op. cit.*

⁸³ PASSARELI, L. d. S. **Manguezais Sob Uma Perspectiva Social e Econômica**: percepção ambiental e valoração do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro. 2013. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2013. 107p.

⁸⁴ SOFFIATI, *op. cit.*

⁸⁵ SOARES, M. F. T. **Sustentabilidade no mangue e medidas conservativas na comunidade de Gargaú, São Francisco de Itabapoana**: promoção de gestão através de Educação Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Biologia) - Universidade da Tecnologia e do Trabalho, Campos dos Goytacazes, RJ, 2005. 65 p.

⁸⁶ VIEIRA, *op. cit.*

⁸⁷ ROCHA, *op. cit.*

⁸⁸ DIEGUES et al., *op. cit.*

empírico, realizar uma caracterização da macrobiota dos maiores manguezais em bom estado de conservação existentes no estado do Rio de Janeiro. Rovai⁸⁹, expressa a importância do saber tradicional ao afirmar que:

A história oral pode promover um trabalho em colaboração, participativo, em busca de narrativas que nos revelem modos de vida, sentimentos de pertença [...], cada relato dos pescadores, catadores de caranguejo, marisqueiras e artesãos deve ser entendido na relação com o espaço, o ambiente, as pessoas, os elementos concretos e simbólicos, o imaginário sobre o rio, a terra e o mar, sua relação com a vida que se constrói todos os dias, a vida que se constitui ao seu redor, a linguagem e valores que se constroem a partir do meio ambiente.

Pôde-se demonstrar que, com o auxílio do conhecimento empírico e da percepção ambiental de pescadores artesanais e catadoras de caranguejo, foi possível traçar o cenário de riqueza de biodiversidade aquática e dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú. A partir deste trabalho, podem-se estimular e criar várias vertentes de pesquisas mais ampliadas e aprofundadas relativas à fauna e à flora nesses ambientes, com a inserção da comunidade de pescadores e/ou “caranguejeiros” artesanais de Atafona e de outras localidades costeiras, abrangendo assim todo o estuário ou, ainda, todos os manguezais do Estado do Rio de Janeiro, aplicando-se metodologia similar.

Sugere-se que pesquisas de Mestrado ou de cursos de Especialização possam investigar os saberes tradicionais de grupos focais similares, comparativamente ao saber “perito”, e, ainda, que o presente estudo possa servir como subsídio a trabalhos que antecedem a criação de uma UC na região, caso esta seja uma estratégia que venha a ser adotada pelo Poder Público para conter a degradação ambiental em Gargaú.

Quanto à metodologia empregada (grupo focal), apesar do comprometimento da equipe em demonstrar o conhecimento sobre os manguezais, houve pontos negativos tais como: i) a dificuldade de conciliar os horários disponíveis a todos os participantes, ocasionando inclusive ausência do Grupo em dia e horário marcados por eles mesmos, tendo, por consequência, a substituição de alguns membros anteriormente escolhidos, o que também ocasionou reunião em locais diferentes e com pessoas separadas para a revisão da pesquisa; ii) as longas horas de trabalho devidas à extensa pauta de pesquisa da macrofauna e da macroflora, o que ocasionava cansaço e momentos de “parada”, para atender a algum compromisso rápido; e iii) outros assuntos inseridos na reunião, mas que se referiam aos problemas ambientais de Gargaú, fazendo-se então necessária a interferência da moderação para trazer os diálogos para o foco do encontro.

Mas, de maneira geral, o saldo foi positivo e alcançou os objetivos da proposta, com a demonstração de proficiência sobre a macrobiota por parte dos informantes-chave, com os membros do GF interagindo com firmeza na informação para a construção de uma “bíblia” de diversidade de saberes, a qual possibilitou a elaboração do Quadro 1.

Mesmo face à percepção que os pesquisadores têm de que a população usuária dos recursos comuns do rio e do manguezal nada ou pouco contribuem para a conservação do ecossistema, ou até mesmo que a comunidade é o próprio agente das

⁸⁹ ROVAI, *op. cit.*

ações impactantes, a pesquisa conclui que essa população, que diariamente labuta no rio e no “mangue”, é conhecedora de complexos processos naturais, tais como a época e o comportamento das marés de lua – preamar (maré alta) e das marés dos quartos de lua – baixa-mar (maré baixa) no estuário; dos processos biológicos que ocorrem nos crustáceos e do comportamento destes; da macrobiota apresentada neste trabalho; das áreas de nidificação e/ou de reprodução de algumas espécies, dentre outros saberes empíricos, sendo assim co-responsável pela promoção da sadia qualidade do manguezal – o perene mantenedor da sua sobrevivência e subsistência.

Se os instrumentos de comando e controle da Política Ambiental brasileira não funcionam adequadamente com relação à legislação que impetra obrigatoriedade de proteção aos manguezais e aos recursos hídricos, se não há oferta de serviços públicos como saneamento básico e educação ambiental, ou projetos que envolvam a participação da comunidade em geral e que venham despertar o sentimento de “pertença” dos moradores mais recentes de Gargaú, aqueles que não necessitam do manguezal sadio e obviamente produtivo para sobreviver continuarão desmatando-o e invadindo suas áreas para benefício próprio, conforme está ocorrendo no período de conclusão deste estudo.

Assim sendo, diante da ineficácia das ações públicas que garantam o cumprimento à proteção e à conservação dos manguezais do estuário do rio Paraíba do Sul, em Gargaú, e na salvaguarda dos usos e do conhecimento tradicional local dos pescadores artesanais e dos catadores de caranguejo para as futuras gerações, a implantação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) no estuário parece ser o mecanismo que melhor contempla todas as partes envolvidas.

TYPHA DOMINGENSIS PERS. (TYPHACEAE): DO ARTESANATO À FITORREMEDIAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS EUTROFIZADOS

Mariana Cristina Huguete Marques (UFRJ) • Izabela Silva dos Santos (UFRJ)
Giuliana Franco Leal (UFRJ) • Marcos Paulo Figueiredo-Barros (UFRJ)

Introdução

A eutrofização de um ecossistema pode ocorrer de duas formas: artificial e natural. A eutrofização artificial está associada ao aporte de excesso de nutrientes associado às atividades antrópicas. A eutrofização natural é um processo que ocorre ao longo do envelhecimento dos ecossistemas aquáticos e consiste no aumento das concentrações de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo e, conseqüentemente, da produtividade primária¹. É considerada como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra relativa de estabilidade do ecossistema (homeostasia) que, fora do estado de equilíbrio, passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir².

Esse impacto pode provocar diversos danos, entre eles: desenvolvimento intenso e descontrolado do fitoplâncton devido à alta disponibilidade de nutrientes; degradação da qualidade da água com alterações de composição, cor, turbidez e transparência; aumento da decomposição, o que causa um maior consumo de oxigênio dissolvido (podendo levar até à anoxia do ecossistema) e produção de gases que causam maus odores; produção de substâncias tóxicas; prejuízos consideráveis para o uso da água em abastecimento, irrigação, aproveitamentos hidrelétricos, recreação, turismo e paisagismo, entre outros³. As plantas aquáticas também passam a apresentar intenso desenvolvimento devido à alta disponibilidade de nutrientes na água, o que pode, além de levar à competição entre espécies vegetais, alterar a qualidade da água, uma vez que reduz a entrada de luz no ecossistema.

¹ RAST, W.; THORNTON, J. A. Trends in eutrophication research and control. **Hydrological Processes**, v. 10, n. 2, p. 295-313, 1996.

² ESTEVES, F. A.; MEIRELES-PEREIRA, F. Eutrofização artificial. In: ESTEVES, F.A. (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 27.

³ AZEVEDO-NETO, J. M. Novos conceitos sobre eutrofização. **Revista DAE**, v. 48, n. 151, p. 22-28, 1988.

O controle da eutrofização de lagos pode ser feito por meio de métodos físicos, químicos e biológicos. Dentre as diversas técnicas empregadas tem-se a fitorremediação. Esta utiliza sistemas vegetais e sua microbiota com o fim de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas do ambiente, reduzindo a eutrofização, e se caracteriza por sua fácil aplicabilidade e reduzido custo. Esses vegetais possuem um papel fundamental na ciclagem de nutrientes em ecossistemas aquáticos. De acordo com Pompêo (1997)⁴, as plantas aquáticas podem por vezes atuar como principais controladoras da dinâmica de nutrientes no ecossistema. A variedade de biótipos existentes no grupo das plantas aquáticas faz com que esses vegetais atuem de diferentes formas na ciclagem desses elementos⁵ e, por tal motivo, vêm sendo utilizados em processos de fitorremediação.

Os critérios básicos para a seleção das plantas aquáticas são fundamentados no uso de espécies locais e/ou exóticas (adaptadas às variações sazonais como o clima, a temperatura e a umidade), sendo importante considerar a tolerância dessas espécies a prolongados períodos de submersão parcial das raízes ou permanência em substrato saturado⁶, além de boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e grande resistência ao poluente⁷.

Typha domingensis Pers., popularmente chamada de taboa, é uma planta aquática emersa, perene e que apresenta ampla distribuição geográfica, sendo a planta aquática emersa mais representativa no Brasil⁸ e no mundo⁹. Seu caule apresenta uma porção rizomatosa rastejante e grossa, e outras eretas, altas e com folhas longas, inseridas próximas à base, com nervação paralela. Propaga-se por sementes e vegetativamente, formando densos agrupamentos monoespecíficos (estandes). Apresenta flores estaminadas e flores pistiladas sob a forma de uma inflorescência cilíndrica. A inflorescência pode apresentar-se em espiga contínua ou interrompida de coloração escura¹⁰ (figura 1). O desenvolvimento do estande dessa espécie depende principalmente da expansão de rizomas no sedimento e dos novos rametes, e o balanço entre a mortalidade e recrutamento determina a expansão ou declínio dessa população¹¹.

⁴ POMPÊO, M. L. M. et al. A influência da macrófita aquática *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock nas características físicas e químicas da água na zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de Jurumirim, SP. **Revista Brasileira de Ecologia**, v. 1, n. 2, p. 44-53, 1997

⁵ NURMINEN, L.; HORPPILA, J. Life form dependent impacts of macrophyte vegetation on the ratio of resuspended nutrients. **Water Research**, v. 43, n. 13, p. 3217-3226, 2009.

⁶ SOUSA, L. M. I. **Avaliação da macrófita *Typha domingensis* Pers. no pós tratamento de efluentes do campus da UFMS e do hospital universitário, em banhados construídos de fluxo subsuperficial**. 2003. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2003.

⁷ COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

⁸ HOENE, F. C. **Plantas Aquáticas**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1948.

⁹ MITCH, L. M. Common Cattail, *Typha latifolia* L. **Weed technology**, v. 14, n. 2, p. 446-450, 2000

¹⁰ CORDAZZO, C. V.; SEELINGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira do extremo sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: Editora da FURG, 1988. p. 275

¹¹ GRACE, J. B. The effects of nutrient additions on mixtures of *Typha latifolia* L. and *Typha domingensis* Pers. Along a water depth gradient. **Aquatic Botany**, v. 31, n. 1, p. 83-92, 1988.

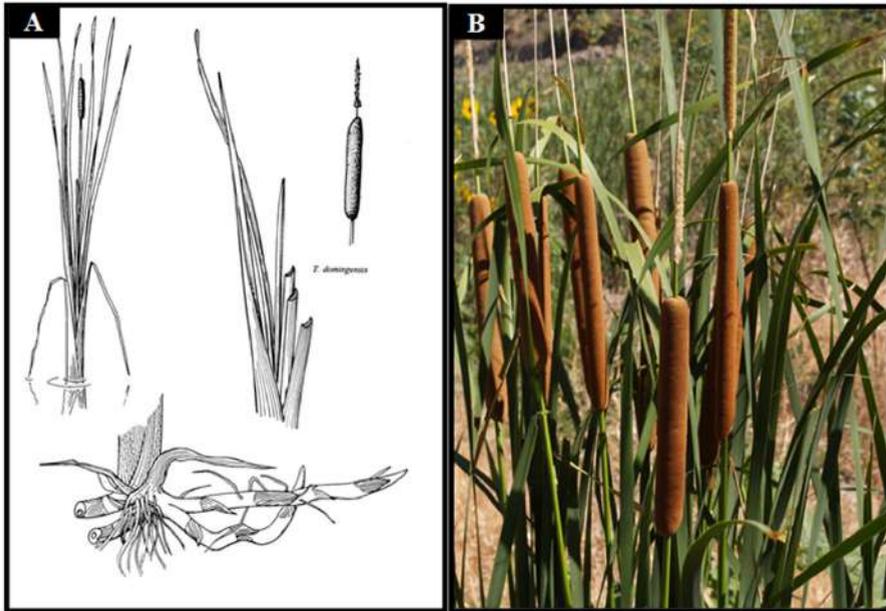


Figura 1: Ilustrações de um ramete e partes de um ramete de *T. domingensis* destacando o rizoma, as folhas e a inflorescência (A), e imagem destacando as inflorescências (B)

Fonte: IFAS¹² (1990)

90

A taboia vem demonstrando importância tanto estruturalmente quanto metabolicamente dentro dos ecossistemas lânticos. Vários estudos destacam a sua capacidade de fornecer substrato para comunidades perifíticas e bacterianas, assim como abrigo para ovoposição de insetos e peixes¹³, além de demonstrar boa capacidade de armazenamento de energia e nutrientes¹⁴. Por ser uma planta aquática emersa, *T. domingensis* apresenta grandes quantidades de tecidos de sustentação, o que, somado à sua elevada produtividade, lhe confere alto potencial para estocar nutrientes por longos períodos^{15,16}. Ao avaliar o crescimento e produção dessa planta em uma lagoa costeira, Camargo *et al.* (2003)¹⁷ constataram aumento na taxa de crescimento de indivíduos próximos à entrada de efluentes domésticos ricos em nutrientes. Esses fatores, somados aos descritos, como elevado desenvolvimento, mostram a relevância dessa planta no processo de fitorremediação.

¹² IFAS. **Centre for Aquatic and Invasive Plants**. Gainesville: University of Flórida, 1990.

¹³ CALLISTO, M. F. P. *et al.* Chironomids on the leaves of *Typha domingensis* in a lagoon of Rio de Janeiro State (Brazil). **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 31, n. 1, p. 51-53, 1996.

¹⁴ FURTADO, A. L. S.; ESTEVES, F. A. Nutritional value of biomass and detritus of *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 57, n. 3, p. 317-321, 1997.

¹⁵ LOPES-FERREIRA, C. A importância da região colonizada por macrófitas aquáticas na mitigação da degradação sanitária da Lagoa Imboassica. In: ESTEVES, F. A. (org.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: NUPEM; UFRJ, 1998. cap. 6, p. 391-399.

¹⁶ LOPES-FERREIRA, C. Redução das concentrações de nitrogênio e fósforo dos efluentes domésticos lançados na lagoa Imboassica, através de uma região colonizada por macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: NUPEM, 1988b. p. 375-387.

¹⁷ CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual, Eduem, 2003.

No geral, embora a planta estoque boa parte desses nutrientes em sua biomassa, ainda existe um reduzido aproveitamento da biomassa vegetal produzida nesses sistemas de tratamento, onde as plantas necessitam ser retiradas periodicamente para otimizar a remoção de nutrientes e poluentes. As plantas aquáticas também fornecem materiais de importância econômica para a sociedade, pois podem ser utilizadas como alimento para o homem e para o gado; como fertilizante de solo, de tanques de piscicultura ou abrigo para alevinos; como matéria-prima para a fabricação de remédios, utensílios domésticos e tijolos, situação em que a fibra da planta aquática é acrescida à mistura de argila na produção do tijolo do tipo adobe, por exemplo, para construção de casas, aumentando sua resistência, entre outros usos¹⁸.

A fibra da taboa é ainda comumente utilizada por diversos grupos de artesãos como matéria-prima para produção de artesanato. Sabe-se que a comercialização de produtos confeccionados com fibras naturais vem ganhando força pela valorização dos produtos sustentáveis e étnicos, conciliada à expansão do turismo¹⁹.

A comercialização de produtos artesanais é uma das atividades mais antigas da sociedade, sendo uma atividade econômica que colabora com a manutenção e permanência de determinadas comunidades locais. Nesse contexto, a utilização da biomassa da *T. domingensis* como matéria-prima para produção artesanal configura-se como uma, dentre as várias alternativas, de um “fim” pós-manejo no processo de recuperação de um ambiente aquático eutrofizado. Além disso, segundo Oliveira (2007)²⁰, em um cenário no qual há uma busca crescente, por parte dos consumidores, de produtos diferenciados e originais, o artesanato emerge como uma contrapartida à massificação e uniformização de produtos globalizados, promovendo o resgate cultural e a identidade regional.

A produção do artesanato a partir de fibras vegetais possui uma ligação intrínseca no que diz respeito à relação do homem com a natureza. Nesse aspecto, o uso de fibras vegetais oriundas de plantas aquáticas tem sido documentado por autores, dentre eles Sabatel e Nascimento (2010)²¹, que relatam em seus trabalhos que o artesanato do camalote, também conhecido como aguapé, constitui-se uma arte diferenciada e nativa, que propiciou a divulgação de potencialidades locais e o resgate de saberes tradicionais e, ainda, viabilizou uma alternativa de renda e subsistência à comunidade estudada. Além disso, o artesanato possui benefícios como: custo de investimento relativamente baixo; inserção da mulher e do adolescente em atividades produtivas; estímulo à prática do associativismo e cooperativismo; e fixação do artesão rural no seu local de origem, evitando o crescimento desordenado dos centros urbanos. Pode-se dizer que as características ligadas ao artesanato dialogam com diversos projetos de desenvolvimento socioeconômicos que, de forma geral, possuem o objetivo de “tocar as desigualdades ou desconcentrar renda e poder”²², uma vez que, entre os objetivos desses projetos, têm-se a inclusão social e a geração de renda.

¹⁸ BARKO, J.; GUNNISON, D.; CARPENTER, S. R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany*, v. 41, n. 1, p. 41-61, 1991

¹⁹ ALEXÍADES, M. N.; SHANLEY, P. (ed.) **Productos forestales, medios de subsistencia y conservación**: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2004. v.3

²⁰ OLIVEIRA, C. D. **As relações artesanais e o estímulo ao desenvolvimento local no Brasil, em Gouveia-MG e outras diferentes escalas**. 2007. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais).

²¹ SABATEL, V. DE O.; NASCIMENTO, M. A. Resgate do artesanato com fibra de camalote (*Limnocheris laforestiidychass*) no distrito de Albuquerque, em Corumbá, MS. *Cadernos de Agroecologia*, v. 5, n. 1, 2010.

²² DEMO, P. **Política Social, Educação e Cidadania**. Campinas, SP: Papirus, 1994.

Tomando o cenário apresentado, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a possível contribuição da produção de artesanato a partir do manejo da *Typha domingensis* Pers. para o processo de fitorremediação de um ambiente aquático eutrofizado, utilizando o estudo de caso de dois grupos de artesãs. Tendo em vista que poucos estudos visam acoplar a funcionalidade ecológica, econômica e social desse manejo para se atingir o objetivo em questão, a presente pesquisa teve como objetivos específicos: (i) descrever a organização e o processo de produção do artesanato realizado por dois grupos de artesãs; (ii) descrever os métodos de manejo da *Typha domingensis* Pers. realizados por esses grupos; (iii) compreender a relação das artesãs com a atividade de produção artesanal utilizando *Typha domingensis* Pers.; (iv) quantificar o estoque de nutrientes (nitrogênio e fósforo) nas peças artesanais produzidas a partir de *Typha domingensis* Pers. manejada; e (v) estimar a contribuição do manejo da *Typha domingensis* Pers. voltado à produção de peças artesanais na mitigação da eutrofização (redução de N e P) de ambientes aquáticos continentais. Para tal, os resultados e discussões são apresentados em dois subitens: “A produção de artesanato a partir da *Typha domingensis* Pers.: estudo de caso de dois grupos de artesãs” e “A fitorremediação: análise do estoque de nutrientes em *Typha domingensis* Pers.”

Material e métodos

Para atingir os objetos do subitem “A produção de artesanato a partir da *Typha domingensis* Pers.: estudo de caso de dois grupos de artesãs” foram utilizados métodos da pesquisa qualitativa. Os métodos qualitativos são apropriados quando o fenômeno em estudo é complexo, de natureza social e não tende à quantificação. Normalmente, são usados quando o entendimento do contexto social e cultural é um elemento importante para a pesquisa²³.

O aspecto social desta pesquisa foi utilizado a fim de se obterem resultados que fossem além do cunho quantitativo frente à recuperação dos ambientes aquáticos continentais por meio da fitorremediação pela taboa. Buscou-se inserir os agentes sociais, neste caso as artesãs, que pudessem de alguma forma estar ligados a esse processo de fitorremediação por meio do manejo dessa planta utilizada como matéria-prima. A base dessa fase da pesquisa foi a etnografia.

Segundo Geertz (1978)²³, a etnografia é definida como uma descrição densa, caracterizada por seu viés interpretativo dos significados assim como do fluxo do discurso social, por sua organização numa forma inteligível e inspecionável, e por seu objetivo (entre outros) de fixar o discurso e o universo analisado. Nesse contexto, optou-se pela utilização dos métodos de observação participante associados a entrevistas semiestruturadas.

²³ GEERTZ, C. Uma descrição densa: por uma teoria interpretativa da cultura. In: **A interpretação das culturas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1978. p. 13-41.

Para Ludke *et al.* (1986)²⁴, a observação participante permite combinar simultaneamente outros recursos da pesquisa qualitativa como a análise documental, a entrevista de respondentes e informantes, a participação e a observação direta, além da introspecção. Assim sendo, é um tipo de estratégia que pressupõe grande envolvimento do pesquisador na situação estudada. A observação participante se deu por meio de sete visitas, sendo quatro realizadas no povoado de Gargaú (São Francisco de Itabapoana, RJ), entre agosto e outubro de 2013, e três em Galdinópolis (Nova Friburgo, RJ), entre julho de 2014 e janeiro de 2015. Em ambos os casos, procurou-se observar todas as atividades de trabalho dos grupos de artesãs que participaram da pesquisa.

A entrevista semiestruturada foi feita com base em um roteiro (Tabela 1) com perguntas principais, complementadas por outras questões inerentes às circunstâncias momentâneas à entrevista. Para Manzini (2005)²⁵, esse tipo de entrevista pode fazer emergir informações de forma mais livre, e as respostas não estão condicionadas a uma padronização de alternativas. Os pontos principais que se buscou elucidar foram referentes ao manejo da taboa, modos de organização, conhecimentos sobre a planta e o sistema, e formas de produção e comercialização dos produtos.

Tabela 1 - Roteiro para entrevista semiestruturada

Roteiro para entrevista semiestruturada
Qual o seu nome e idade? Nasceu na região?
Como e quando começou a trabalhar com a taboa e/ou outras plantas aquáticas?
Além de artesãos, vocês exercem alguma outra profissão? Conte-me um pouco sobre como vocês realizam o manejo.
Quais os tipos de produtos, as principais características e diferenciais de cada um, os materiais e equipamentos utilizados na produção do mesmo?
Quais os desafios e dificuldades de se atuar no mercado de produtos feitos à mão? Você vê boas perspectivas para esse mercado no Brasil?
Caso fosse identificado que essa planta contribuiu para “limpeza”/recuperação desse ambiente aquático você acredita que uma certificação da peça que explique isso poderá aumentar a sua venda ou o valor do produto? Por que?
Onde e como costumam vender e divulgar seus trabalhos? Você utiliza que técnicas de venda e divulgação?
Como fidelizam os clientes?

A pesquisa foi realizada com grupos de artesãs das localidades de Galdinópolis e Gargaú. Galdinópolis é um povoado rural, situado no distrito de Lumiar, município de Nova Friburgo - RJ. Sua localização fica numa estrada não pavimentada que vai do Km 15 do trecho Lumiar-Mury da RJ-142 até a localidade de Rio Bonito. Banhada pelo Rio Macaé, tem uma população fixa de duzentos habitantes e uma flutuante de aproximadamente trezentos habitantes.

²⁴ LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

²⁵ MANZINI, E. J. Entrevista semi-estruturada: análise de objetos e de roteiros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PESQUISA E ESTUDOS QUALITATIVOS, 2., 2004, Bauru, SP. **Anais** [...]. Bauru, SP: USC, 2004.

O segundo local, Gargaú, foi uma comunidade escolhida por possuir a experiência de organizar-se em uma cooperativa de artesanato, diferentemente do povoado de Galdinópolis. A comunidade de Gargaú está localizada no município de São Francisco de Itabapoana, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro. É um povoado distante, a 320 km da capital do Estado e 60 km do município de Campos dos Goytacazes²⁶. A escolha por dois grupos se deu pelo fato de que grupos organizados de maneira distinta tendem a fornecer respostas diferentes em relação a uma mesma questão. Um grupo de artesãos que não trabalhe em sistema de cooperativa, por exemplo, poderá ou não ter um olhar diferenciado sobre o uso das plantas aquáticas para recuperação de um ambiente aquático. O tempo que desenvolvem o serviço e a maneira como aprenderam o ofício são formas de remodelar diversas interpretações sobre um fato. A história é construída a partir da narrativa de um grupo, assim as estruturas afetivas e morais caminham junto com as técnicas e formativas.

No que se refere ao subitem “A fitorremediação: análise do estoque de nutrientes em *Typha domingensis Pers.*” utilizou-se a metodologia que segue tendo como laboratório natural a lagoa Imboassica. A lagoa Imboassica está localizada no perímetro urbano de Macaé, na divisa desse município com o município de Rio das Ostras, no norte do Rio de Janeiro, entre as coordenadas 23°25' - 23°35'S e 42°35' - 42°45'W. Esse ecossistema consiste na região terminal (de deflúvio) de uma bacia hidrográfica de aproximadamente 58 km² que se encontra em área de planície/baixada, cujos pontos mais elevados estão próximos aos 180 m de altitude. Localizada em região litorânea, a bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica possui ocupação predominantemente rural a montante da lagoa e densa ocupação urbana no entorno da lagoa. Também é possível observar a presença de áreas industriais de grandes dimensões próximas às margens do Rio Imboassica, o qual deságua na referida lagoa²⁷.

O clima na região é quente e úmido na maior parte do ano, com temperaturas que variam entre 18°C e 30°C. Essa amplitude térmica é ocasionada pela troca de ventos entre o litoral e a serra, relativamente próximos.

A Lagoa Imboassica possui importante relevância regional por apresentar grande beleza cênica e proporcionar lazer e recreação para a população local, além de subsidiar atividades pesqueiras, melhoria no microclima e diluição de efluentes²⁸. No entanto, embora de grande importância ecológica e socioeconômica, tem sido submetida a diferentes formas de impactos antrópicos²⁹, (Quadro 1) os quais têm resultado em alterações consideráveis de suas características naturais, comprometendo a possibilidade de seu uso múltiplo. O grande aporte de esgoto doméstico aumenta os níveis de nutrientes, ocasionando o processo de eutrofização, o que acarreta a colonização de grandes áreas da lagoa por plantas aquáticas.

²⁶ SOARES, M. F. T. **Sustentabilidade no mangue e medidas conservativas na comunidade de Gargaú, São Francisco de Itabapoana: promoção de gestão através de Educação Ambiental**. 2005. Monografia (Licenciatura em Biologia) - Universidade da Tecnologia, Campos dos Goytacazes, RJ, 2005.

²⁷ BARRETO, G. S. Mapeamento ambiental da bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica: subsídios para a construção de planos de bacia. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 3, n. 2, p. 125-144, 2009.

²⁸ TORRES, J. N. C. et al. A Lagoa de Imboassica: proposta de criação de uma unidade de conservação como estratégia de proteção adicional do ecossistema. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 6, n. 1, p. 29-42, 2012.

²⁹ ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

Somando-se às características apontadas por se tratar de um ambiente eutrofizado e que se encontra ocupado com grandes bancos de *T. domingensis*, esse ecossistema torna-se interessante para o presente estudo.

Quadro 1 - Impactos antrópicos sobre a Lagoa Imboassica³⁰

Impactos	Efeitos
Aterro das margens	Destruição de importantes <i>habitat</i> da região litorânea e bentônica do ecossistema.
Assoreamento da bacia	Aceleração do processo de colmatção e transformação da lagoa em ambiente terrestre.
Queimada de plantas aquáticas	Morte de invertebrados e filhotes de aves, além da própria espécie em questão.
Lançamento de efluentes domésticos	Degradação ecológica (eutrofização); degradação sanitária que torna a lagoa imprópria a qualquer forma de uso e leva à disseminação de diversas doenças (dermatoses, diarreias, hepatite, cólera, entre outras).
Aberturas artificiais da barra	Degradação ecológica (aumento da entrada de nutrientes) e sanitária (redução da balneabilidade pelo aumento da concentração de coliformes fecais). Destruição de bancos de plantas e consequente perda da capacidade de depuração de efluentes domésticos.

a) Análise de dados abióticos da coluna d'água

Os dados utilizados na presente pesquisa sobre avaliação das condições ambientais da Lagoa Imboassica foram adquiridos como parte integrante do monitoramento ambiental realizado pelo Laboratório de Ecologia Aquática da UFRJ e são apresentados no capítulo: "O monitoramento ambiental como subsídio à gestão de ecossistemas aquáticos costeiros: o exemplo da Lagoa Imboassica, RJ, Brasil", de Farias e colaboradores, deste livro. Ou seja, os dados para base de cálculo da concentração de nitrogênio e fósforo na coluna d'água são apresentados no capítulo referido anteriormente.

b) Estimativa de áreas ocupadas por plantas aquáticas e análise do quantitativo de nutrientes retirados via manejo desses vegetais

³⁰ *Ibid.*

A área de ocupação de plantas aquáticas e a área total da Lagoa Imboassica foram calculadas por meio da técnica de vetorização manual a partir do uso de imagens de satélite. Utilizou-se uma imagem do satélite Quickbird referente ao ano de 2007. A imagem foi analisada com o objetivo de estimar o estoque de nutrientes (N e P) na cobertura vegetal da Lagoa Imboassica. Destaca-se que essas estimativas são conservativas e não foram considerados aspectos como a variação ambiental e variações nas concentrações em massa úmida e massa seca. Além disso, assumiu-se que a cobertura vegetal na lagoa e observada a partir da imagem era caracterizada por *T. domingensis*, tendo em vista que esta é a planta aquática mais abundante na lagoa.

A biomassa de *T. domingensis* por unidade de área foi mensurada a partir da seleção de oito quadrats (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8) de 0,5m² na Lagoa Imboassica, onde há maior concentração de bancos de *T. domingensis* fixos. Os rametes foram cortados, seguindo o padrão de manejo identificado durante a observação participante e entrevista junto ao grupo de artesãs de Galdinópolis. Assim, o corte foi realizado a 20cm acima do rizoma. Além disso, buscou-se por rametes com a altura igual ou superior a 2m, uma vez que as artesãs buscam por essas alturas em suas coletas. Posteriormente, os rametes cortados foram levados ao laboratório de Ecologia Aquática do NUPEM/UFRJ-Macaé, onde as alturas foram mensuradas com o auxílio de uma trena. Em seguida, os rametes foram limpos, cortados e secos em estufa a 60°C até não haver mais variação de seu peso seco. O peso seco dos rametes foi quantificado por meio de uma balança digital com precisão de 0,01g, para determinação da biomassa total da área demarcada, e os rametes foram posteriormente moídos em moinho de facas tipo Willey com peneira de 1mm, para completa homogeneização do material, e guardados em sacos plásticos hermeticamente fechados. As medidas de concentração de nitrogênio e fósforo total a partir dos rametes moídos foram realizadas segundo o procedimento com as amostras de acordo com o método Kjeldahl de digestão, desenvolvido em 1883³¹, e o procedimento com as amostras de acordo com Valderrama (1981), seguido pelo processo de digestão em solução ácida de persulfato e determinação colorimétrica³², respectivamente.

Resultados e discussão

Os resultados e discussões desta pesquisa estão organizados em dois subitens como apresentado na introdução que são: “A produção de artesanato a partir da *Typha domingensis* Pers.: estudo de caso de dois grupos de artesãs” e “A fitorremediação: análise do estoque de nutrientes em *Typha domingensis* Pers. No entanto, para se obterem os resultados apresentados no segundo subitem, utilizaram-se os dados alcançados no primeiro por meio dos métodos qualitativos, incorporando à pesquisa seu caráter interdisciplinar.

³¹ APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21ª ed. Washington, DC: APHA, 2005.

³² GOLTERMAN, H. L.; CLIMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. Oxford: Blackwell, 1978. 315 f.

A produção de artesanato a partir da *Typha domingensis Pers.*: estudo de caso de dois grupos de artesãs

Nesta sessão, serão apresentados os dados referentes à atividade artesanal com a taboa que incluem organização dos grupos, etapas de produção das peças artesanais (manejo, produção e comercialização) e relação das artesãs com o ofício. Faz-se de suma importância compreender esses processos para o contexto geral do trabalho, que versa sobre a fitorremediação, uma vez que, ao discutir o manejo da taboa para produção artesanal, insere-se uma esfera mais profunda, a social. A atividade de manejo exposta não se faz apenas tecnicamente, ou seja, há uma relação profunda de valores emocionais, culturais e financeiros ligados à atividade e que são determinantes para o desenvolvimento de projetos que acoplem diferentes usos da planta aquática.

Organização dos grupos

Os grupos estudados apresentaram similaridades quanto aos caminhos de sua produção. Similaridade essa justificada pela tradicionalidade da atividade e aspectos no seu desenvolvimento, como os métodos de coleta, que são mantidos de grupo para grupo devido à eficiência em sua prática – manejo adequado. No entanto, há a manutenção de características do próprio coletivo no desenvolvimento da atividade, o que permite uma diferenciação em relação à organização do grupo e ao aspecto final do produto.

O grupo Oficina das Ervas - Galdinópolis, Lumiar / RJ, apresenta uma forte relação familiar em seu sistema organizacional, formado por moradores da região que representam uma ancestralidade com o local, e é composto majoritariamente por mulheres, havendo a participação de homens apenas em algumas etapas da produção, nesse caso a colheita da taboa.

No que se refere à gestão do grupo, apesar de ter sido observado que buscam tomar as decisões em conjunto, há uma figura de coordenadora, chamada nesta pesquisa de C1. Esta organiza as ideias e toma as últimas decisões, além de: ensinar as outras integrantes como realizar o trabalho; finalizar as peças artesanais (acabamentos), produzindo peças apenas do seu conhecimento; desenvolver novos desenhos para os produtos; e realizar os trabalhos burocráticos de contratos de serviços, vendas, e controle financeiro do grupo. O pagamento às demais trabalhadoras é realizado de acordo com o número de peças que produzem.

O processo de produção de artesanatos com a fibra da taboa na região e as atividades da oficina ocorrem na residência dessa coordenadora. Tendo em vista que é um tipo de atividade que tem como base sua realização em grupo, a C1 estimula a participação de jovens mulheres na região como forma de otimizar a produção e dar oportunidades e capacitações a essas jovens. Preocupa-se, até o momento de finalização da pesquisa, por ser a única a dominar todas as etapas de produção e possui grande interesse de repassar esse conhecimento adquirido de forma autônoma e na prática.

O grupo tem o título de microempreendedor pelo SEBRAE. A manutenção do CNPJ da microempresa é necessária para o desenvolvimento de algumas atividades.

Cada integrante possui um caderno de controle onde anota a peça artesanal que foi produzida, a quantidade, o tamanho e o tempo que levou para produzir. Não há especificações quanto à porcentagem que cada pessoa recebe sobre a venda. A partir da pesquisa, foi possível definir que parte da renda é destinada à compra de materiais, equipamentos (tear) e gastos com a coleta da taboa, quando necessário. E em relação às etapas de trabalho, como manejo, produção e comercialização, todas elas participam conjuntamente.

No que se refere ao grupo “Tabua” – Gargaú, São Francisco de Itabapoana/RJ, as relações que se estabelecem entre os artesãos dessa localidade, no que diz respeito à organização das atividades, convergem para uma pessoa central, como se todos os artesãos da região prestassem serviços para essa mesma pessoa, além do desenvolvimento dos trabalhos individuais de cada artesão. Por outro lado, pode-se denominá-los como um grupo de produção em determinados períodos do artesanato de taboa na região, uma vez que atuaram conjuntamente em alguns momentos.

A atividade artesanal com a fibra da taboa nessa região deu-se a partir do interesse pessoal dessa figura central, nesta pesquisa referida como C2. O interesse surge a partir da participação em cursos oferecidos pelo poder público, tendo posteriormente buscado aprimorar seu conhecimento por meio de capacitações fora do município. A sua criatividade muito a florada permitiu que, em pouco tempo, passasse a ensinar outras pessoas e fosse contratada pela prefeitura local para oferecer cursos de especialização voltados para o artesanato com a taboa. Ela trabalha com produção de artesanato há aproximadamente vinte anos e relata que o SEBRAE foi um forte incentivador e apoiador desses cursos de capacitação oferecidos pelo município.

Durante muitos anos, as atividades foram sendo desenvolvidas a partir de acordos entre os artesãos da região e a loja de artesanatos da C2. Ao longo do tempo, foi-se percebendo a necessidade de uma organização mais forte entre os artesãos para, por exemplo, permitir que os artesãos da região pudessem participar de projetos como o “Talentos do Brasil”. O “Talentos do Brasil” consiste em um projeto do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e SEBRAE que tem como um dos pré-requisitos para participação a condição de grupos cooperados. Assim, verificou-se a necessidade de formar uma cooperativa. A ideia não partiu dos artesãos, mas foi uma sugestão da coordenação do projeto (SEBRAE) para que esses artesãos pudessem dele participar.

Cooperativas são entidades e/ou instituições autônomas de pessoas que se unem, voluntariamente, com número variável, e não inferior a 20, de participantes, para satisfazer aspirações e necessidades econômicas, sociais e culturais comuns, por meio de uma empresa de propriedade coletiva e democraticamente gerida. O objetivo essencial de uma cooperativa na área do artesanato é a busca de uma maior eficiência na produção, com ganho de qualidade e de competitividade em virtude do ganho de escala, pela otimização e redução de custos na aquisição de matéria-prima, no beneficiamento, no transporte, na distribuição e na venda dos produtos³³.

³³ BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Bases conceituais do artesanato brasileiro, Programa do artesanato brasileiro**. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1347644592.pdf. Acesso em: out. 2014.

Atualmente, a cooperativa existe apenas no papel e não há práticas coletivas promovidas por essa organização, tanto pela falta de interesse dos integrantes pelas responsabilidades burocráticas da cooperativa quanto pelos altos encargos em mantê-la. Assim, a atividade é desenvolvida pela C2, que possui uma loja onde comercializa seus produtos. Ela compra a taboa de coletores e, havendo a necessidade, reúne outros artesãos da região para o desenvolvimento de encomendas maiores.

Em suma, o modo como as artesãs dos dois grupos se organizam exprime certo grau de informalidade quanto às relações de trabalho. Além disso, há certa flexibilidade da jornada de trabalho à luz da produção das peças; no entanto, há necessidade de se manter a loja de Gargaú aberta no período comercial, assim como a Oficina em Galdinópolis se mantém aberta para que os trabalhos sejam desenvolvidos e produtos não produzidos sob encomenda sejam comercializados.

Percebe-se que, apesar das diferenças na composição e organização dos grupos, há um pensamento unânime quanto ao desejo de não se organizarem como cooperativas. Os benefícios tornam-se escassos quando comparados à dinâmica de se manter tal formação. Ambos dedicam-se à produção de artesanato, no entanto o grupo de Galdinópolis possui uma organização de grupo, enquanto em Gargaú os trabalhos são desenvolvidos de forma mais individual. Verificou-se ainda que, em ambos os grupos, há imbricação entre relações de trabalho e relações de parentesco e amizade, que se unem e se distinguem de formas bem sutis.

O modelo de organização de grupos de artesãos parece variar de acordo com sua história de formação e também com a necessidade de cada região e comunidade. Por exemplo, a Associação NABOA (Núcleo de artesanato em fibras de taboa da comunidade Mãe-Bá), do litoral sul do Espírito Santo, consegue manter a formatação de associação por receber um investimento contínuo da empresa SAMARCO através do projeto Taboa Lagoa. O projeto surgiu por meio de um diagnóstico participativo socioambiental realizado pela própria empresa com as comunidades no seu entorno que identificou espaços para promoção e desenvolvimento da atividade. Atualmente, o núcleo é formado por 24 integrantes. Verifica-se que o investimento não se dá necessariamente apenas em relação a apoio financeiro, mas também em relação ao suporte e mapeamento das diversas necessidades do grupo³⁴.

Em uma rápida comparação, pode-se admitir que a Associação NABOA, com o passar do tempo, tenha mais garantia de sucesso como forma de associação e, conseqüentemente, maior sucesso em vendas das peças do que os grupos estudados nesta pesquisa devido à forma diferenciada com que eles surgiram e se estabelecem. O grupo de Gargaú também apresentou forte apoio do governo local e do SEBRAE no início de sua história, no entanto o apoio não se manteve ao longo dos anos, partindo da premissa de que o grupo poderia se autogerir. Em Galdinópolis, percebe-se certa autossuficiência, garantida pelo atendimento à demanda atual, porém sem garantias de expansão da atividade.

³⁴ LOPES, C. M. A. Taboa Lagoa: um Caso de Inovação e Desenvolvimento Sustentável da Samarco Mineração S. In: SIMPÓSIO EM EXCELÊNCIA E GESTÃO DE TECNOLOGIA, 9., 2012. Disponível em: <http://www.aedbaja.aedb.br/seget/artigos12/16516298.pdf>. Acesso em: maio 2015.

Etapas de manejo, produção e comercialização das peças artesanais

As técnicas utilizadas pelos grupos pesquisados envolvem as mais diversas formas e diferenciam-se não somente na produção das peças artesanais, mas também na forma como retiram do ambiente a matéria-prima para a sua produção. A Técnica de Produção Artesanal consiste em um conjunto ordenado de condutas, habilidades e procedimentos, combinado aos meios de produção (máquinas, ferramentas, instalações físicas, fontes de energia e meio de transporte) e materiais, por meio do qual é possível obter-se, voluntariamente, um determinado produto. A técnica artesanal alia forma e função, requerendo destreza manual no emprego das matérias-primas e no uso de ferramentas, conforme saberes variados e com uso limitado de equipamentos automáticos³⁵. Além disso, a forma como realizam o manejo está diretamente ligada à forma como adquiriram o conhecimento e como se relacionam com o meio em que manejam a planta.

Métodos de Manejo

O manejo, no contexto desta pesquisa, é definido como a prática de colheita da taboa, que inclui questões pertinentes às épocas de corte, a quantidade de taboa retirada do meio e a forma (altura) do corte. Essa prática diferencia-se em relação aos dois grupos estudados, porém percebeu-se o entendimento de ambos sobre o conceito de manejo, que se dá pela utilização racional do recurso, ou seja, a exploração controlada de um recurso ambiental respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema³⁶.

O grupo de Galdinópolis não possui uma periodicidade para a realização do corte (manejo) da taboa. O corte é realizado de acordo com a demanda por matéria-prima; assim, pode ser que ocorra todos os meses ou a cada dois ou três meses. O tempo entre o manejo também depende da quantidade de rametes que foram manejados na coleta anterior. O corte é realizado a dois palmos do rizoma, e eles buscam por rametes acima dos dois metros de altura a partir do corte, uma vez que grande parte da produção dos artesanatos é realizada em teares, e folhas grandes e inteiras facilitam o trabalho.

A taboa encontra-se em lagoas e brejos da região, e o seu manejo é realizado em comum acordo com os proprietários das áreas onde esses sistemas se encontram. O acordo surge da necessidade de se obter a matéria-prima em questão e do desejo desses proprietários de manterem os seus terrenos limpos e livres dessa e de outras plantas aquáticas. Essas plantas, com amplo desenvolvimento em ambientes aquáticos ricos em nutrientes, cobrem grandes áreas dos lagos e brejos impedindo que haja áreas livres para atividades como a pesca, por exemplo. De forma geral, esses proprietários limpam a área com veneno e/ou fogo e, em alguns eventuais casos, também abrem valas no brejo para a

³⁵ BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Bases conceituais do artesanato brasileiro, Programa do artesanato brasileiro**. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1347644592.pdf. Acesso em: out. 2014.

³⁶ MELLO-FILHO, J. A de; DE LIMA, J. P. C. Manejo ambiental: o aprofundamento dos conhecimentos específicos e a visão holística. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n.1, p.292 - 30, 2000.

água escorrer e secar. A principal insatisfação relatada pelos proprietários das terras em questão é em relação à quantidade de mosquitos vinda de um ambiente que já não tem mais utilidade para eles. As práticas empregadas pelos proprietários contribuem para a contaminação dos corpos d'água e são prejudiciais a diversos organismos.

Reconhecendo a problemática em relação a essas práticas e a necessidade de se obter matéria-prima, as artesãs propuseram a esses proprietários que limpariam as áreas com o manejo das taboas para produção artesanal e, em contrapartida, eles não utilizariam mais venenos ou o fogo. O fogo também foi visto por outros grupos, como um grupo de artesãos de Palhoça – SC, como ameaça à espécie usada como matéria-prima, que nesse caso também era a taboa³⁷. O fogo também já foi utilizado na Lagoa Imboassica – RJ, ecossistema que será abordado na segunda etapa deste trabalho, como mecanismo para extinguir as plantas aquáticas lá existentes. A razão do uso dessa prática na Lagoa Imboassica era a vinculação da proliferação de mosquitos, pelos moradores da localidade, às plantas aquáticas presentes em grandes quantidades na lagoa.

A colheita é subdividida em três ações: corte, transporte e desfolhamento. Os rametes são reunidos em feixes (conjunto de rametes de taboa desfolhados) e transportados para os carros. Em média, o grupo retira aproximadamente oitenta feixes em uma manhã. A secagem é realizada em locais cobertos onde a taboa é distribuída em estruturas de bambu, como estantes abertas. As etapas podem ser verificadas na figura 2.

O grupo de Gargaú possui um catálogo de campo, no qual todas as etapas relacionadas à coleta e o tratamento da fibra da taboa são descritas. As melhores épocas para se coletar a taboa ocorrem durante o verão e primavera, nos dias de lua minguante, como relatado pela C2. Nas estações mais frias, a taboa, chamada por elas de tabua, fica florida e apresenta muitos fungos e bactérias, além de ficar dura, ressecada, escura e quebradiça.

O corte deve ser feito acima da raiz, pois, dessa maneira, a poda “dá força” à planta, que em um mês estará pronta para outro corte. É relatado que o corte é feito mais especificadamente acima da coluna d'água, nunca feito abaixo do nível da água, justamente para que ocorra o rebrotamento, que leva aproximadamente três dias. C2 sempre fala que o manejo que realizam é sustentável. Esse tipo de coleta não agride o meio ambiente, ao contrário, propicia uma “limpeza temporária” (informação encontrada no catálogo de campo). As colheitas são realizadas de acordo com a demanda das encomendas. No entanto, como a lua minguante ocorre uma vez por mês, elas buscam retirar a taboa todos os meses. A colheita pode ser realizada durante os três dias anteriores e os três dias posteriores ao ápice da lua. Logo, pode-se manejar a taboa durante seis dias.

No catálogo consta ainda a informação de que as folhas devem ser limpas ainda verdes. Para a limpeza, é só lavar e passar um pano úmido nas folhas. O processo de desfibramento, que consiste em retirar folha por folha do ramete de taboa, ocorre simultaneamente à limpeza. A taboa tem dois tipos de fibras, a fibra mais forte, que está na parte externa do ramete, e a fibra mais fina e maleável, conhecida como renda, que está na parte interna do ramete. Durante o processo de desfibramento, o artesão pode determinar a espessura da fibra.

³⁷ BITENCOURT, L. **O artesanato de taboa (*Typha cf. domingensis* Pers.) e junco (*Androtrichum trigynum* (Spreng.) H. Pfeiff.) na guarda do embaú, Palhoça, SC.** 2009. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/132375/20092-LeonardoBitencourt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: maio 2015.

Para a secagem, dispõe-se a taboa entre troncos apoiados no chão para que os rametes não toquem o chão. Essa fibra só pode estar exposta a intempéries enquanto estiver verde. Quando a fibra começa a amarelar, deve ser protegida do sereno e da chuva e, por isso, ao entardecer é recolhida e armazenada em local arejado e sem umidade. Decorrem aproximadamente dez dias para a secagem completa da taboa. No catálogo encontra-se a informação de que a fibra não pode ser armazenada por mais de um mês, pois mofará, principalmente se o processo de secagem foi insuficiente. No entanto, o acompanhamento do grupo revelou que elas utilizam a fibra meses depois do manejo e que não há alterações nesse material.



Figura 2 - Etapas de manejo da taboa em Galdinópolis - RJ

A - Corte da taboa em um estande de taboas no brejo da propriedade próxima à oficina;
B - Artesãs desfolhando os rametes de taboa; C - Transporte da taboa para área de secagem
Fonte: Acervo pessoal da autora Mariana C. H. Marques

O grupo pode, dependendo da necessidade (encomenda), realizar o tingimento da fibra pelo cozimento da fibra com a anilina francesa, processo feito após a construção da peça. O tratamento destinado a evitar pragas (brocas, fungos, cupins, etc.) também é realizado após a peça estar pronta. Utiliza-se para tal tratamento querosene, verniz fosco ou qualquer tipo de descupinizador, e este é passado na parte externa e interna da peça com auxílio de um pincel.

No que se refere à influência do ciclo lunar na coleta da taboa, em um estudo realizado com um grupo de artesãos de Nova Resende – MG, detectou-se que estes adotam os mesmos procedimentos do grupo de Gargaú. Eles descrevem que o ciclo lunar para colheita da taboa deve ser respeitado para que se obtenha uma fibra mais forte e que não haja a possibilidade de a palha mofar³⁸, sendo a época correta a lua minguante. No entanto, ainda expõem, mais especificadamente, que a coleta pode ser feita todos os dias nos meses do ano sem “r” no nome (maio, junho, julho, agosto), por nesses períodos ser mais frio e não ocorrer a floração, e que apenas nos demais meses a coleta segue o princípio de somente ser realizada na lua minguante.

A quantidade de taboa que retiram em cada colheita é específica de cada grupo, de acordo com o número de artesãos, condições do ambiente, local para secagem, entre outros fatores. A associação NABOA do litoral sul do ES, por exemplo, retira em um ano de atividade cinco mil rametes de taboa³⁹. O grupo de Galdinópolis pode vir a alcançar esse valor em duas coletas similares à acompanhada nessa pesquisa. Já o grupo de Gargaú pode vir a atingir essa média durante um ano, caso o número de feixes coletados a cada mês se mantenha nos níveis informados. A quantidade de fibra manejada dependerá da quantidade de peças comercializadas.

Produção das peças artesanais

O processo inicia-se com a organização das fibras da taboa. Após a secagem, são separadas de acordo com suas características e permanecem guardadas em sacos até o uso. O grupo de Galdinópolis denomina como taboa “escolhida” essa que tem a fibra mais acolchoada, mais grossa e mais comprida em relação às outras.

O tear é a principal ferramenta de produção das peças. Por meio dele ocorre o entrelaçamento, de uma maneira ordenada, de dois conjuntos de fios denominados trama e urdidura, que tem como resultado uma malha denominada tecido. Dessa forma, a peça artesanal pode ser lisa e/ou desenhada, sendo o desenho formado por relevos (figura 3). As peças produzidas, em geral, são compostas pela taboa “escolhida” e são produzidas de maneira a evitar o desperdício de matéria-prima. No entanto, diversas outras peças são produzidas na oficina com outros materiais, como o algodão, bambu para as luminárias e materiais reciclados, como garrafa PET, para construção de pufes.

³⁸ SILVA, U. C. **Pesquisa exploratória do processo de implementação de uma atividade artesanal em Nova Resende, MG**. 2006. Monografia (Bacharelado em Moda com Habilitação em Estilismo) - Centro de Artes, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis (Santa Catarina), 2006. Disponível em: <http://www.pergamum.udesc.br/dados-bu/000000/000000000002/000002F1.pdf>. Acesso em: maio 2015.

³⁹ LOPES, C. M. A. Taboa Lagoa: um Caso de Inovação e Desenvolvimento Sustentável da Samarco Mineração S. In: SIMPÓSIO EM EXCELÊNCIA E GESTÃO DE TECNOLOGIA, 9., 2012. Disponível em: <http://www.aedbaja.aedb.br/seget/artigos12/16516298.pdf>. Acesso em: maio 2015.



Figura 3 - Etapa de produção em Galdinópolis - RJ

A - Tear com a urdidura pronta e peças sendo produzidas (capas para puffes);

B - Aproximação da imagem que mostra os relevos da peça e a folha da taboa na mão da artesã

Fonte: Acervo pessoal da autora Mariana C. H. Marques

A técnica do tear é utilizada pelos dois grupos, assim como diversas outras, entre elas a cestaria e o trançado. No entanto, cada grupo desenvolve sua marca e seus trabalhos de forma diferenciada, ou seja, priorizam técnicas de produção distintas. Na “Oficina das ervas”, a maioria dos trabalhos são desenvolvidos no tear, enquanto a “Tabua-Gargaú” baseia seus trabalhos em cestarias e trançados.

Pensando detalhadamente sobre as técnicas priorizadas pelo grupo de Gargaú, a cestaria é uma técnica que abrange as formas de entrelaçar fibras rígidas, tiras e cipós para a fabricação de cestas ou cestos. O trançado consiste em uma técnica de entrelaçamento de fibras têxteis e vegetais. Além disso, as artesãs de Gargaú ainda utilizam o crochê em algumas peças, que é desenvolvido com o auxílio de agulha especial terminada em gancho e que produz um trançado semelhante ao de uma malha, que pode ser feito com renda ou taboa. C2, de Gargaú, revela que atualmente existem mais de quarenta tipos de trançado, sendo alguns demonstrados na Figura 4, além das tramas que apresentam diversos outros tipos.



Figura 4 - Trançado

Fonte: Acervo pessoal da autora Mariana C. H. Marques

Por fim, tem-se que o processo criativo presente na produção artesanal permite o desenvolvimento de novos produtos, somando diversas influências cujas referências culturais podem estar enraizadas na cultura local, regional ou nacional e mescladas a outras culturas. A evolução desse processo muitas vezes se dá pela modificação gradual de produtos tradicionais considerados como parte de nosso patrimônio cultural, os quais ganham aos poucos outra estética. Os novos designs e a nova estética que surgem poderão ou não se integrar ao nosso patrimônio^[20].

Comercialização das peças artesanais

A história de produção das peças artesanais fez-se e faz-se de suma importância para sua comercialização. Assim, verificou-se o interesse das artesãs, no grupo de Galdinópolis, em vender seus próprios produtos e o reconhecimento que eles têm na região. O valor do produto encontra-se justamente nas características tradicionais que eles apresentam justamente em razão das técnicas com as quais são produzidos. Como estudado por Fremman (2010)⁴⁰, as grandes indústrias usam muitas vezes os mesmos designs dos produtos dos pequenos grupos, como os grupos de artesãos, gerando um embate, uma vez que essa apropriação desvaloriza o trabalho feito artesanalmente.

⁴⁰ FREMMAN, C. S. **Cadeia produtiva da economia do artesanato**: Desafios para seu desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Ed. E-livre, 2010. (Coleção Monografias).

Outra particularidade que chama a atenção para o artesanato é a sua grande interface com o turismo, uma vez que a competitividade de um destino turístico muitas vezes está relacionada à diversificação e qualificação de produtos associados ao local, os quais valorizam suas manifestações culturais e tradicionais. Para a produção artesanal, o turismo é um importante meio de acesso aos mercados⁴¹. Em Galdinópolis, a oficina é indicada como ponto turístico na região. As visitas incluem grupos de estrangeiros que desejam conhecer o grupo como exemplo de sustentabilidade, tendo em vista que, nesse caso, a prática artesanal está ligada ao manejo sustentável da matéria-prima. Além disso, o grupo vende seus produtos para hotéis na região, que fortalecem a indicação da oficina como ponto turístico, em feiras, para revendedoras de produtos ecológicos, e, ocasionalmente, o trabalho é comercializado e divulgado em revistas de produtos ecológicos. Esses dados corroboram o relatado por Mascêne & Tedeschi em 2010⁴², que mostraram que o aumento do mercado de artesanatos está ligado ao aumento do mercado de turismo.

Tendo em vista esses aspectos e a premissa de que para vender o produto é necessário vender a história dele, o grupo não tem interesse em ter uma loja em que fosse necessário contratar alguém externo. O preço dos produtos está ligado ao tipo de material que utilizam e ao tempo gasto para realizá-lo.

Em Gargaú, os produtos são comercializados em uma loja. O estabelecimento é um ponto reconhecido na região, possuindo encomendas para o exterior, como cestarias para clientes de Portugal. A coordenadora, C2, revela que já foi para El Salvador participar de uma capacitação oferecida pelo projeto “Talentos do Brasil”. O projeto envolvia 18 grupos de 12 estados do país. Ela permaneceu em El Salvador mais de um mês, onde ofereceu uma capacitação com produtos feitos de taboa, uma vez que também há taboa naquela região. Em relação à venda de produtos com taboa feita diretamente na loja, verifica-se pouca procura. Os produtos são mais reconhecidos por turistas que buscam retornar às suas regiões com peças que transmitem a tradicionalidade local.

No que se refere ao controle de vendas a partir de um caderno financeiro, percebe-se pouca organização de ambos os grupos. As artesãs possuem um caderno onde anotam sua produção, no entanto o total de encomendas de produtos e o que é vendido pelo grupo é pouco detalhado nas anotações. Assim, torna-se difícil avaliar o retorno financeiro mensal das artesãs de acordo com a sua produção.

Quando se verifica como outros grupos comercializam suas peças e o quanto isso representa em relação à renda de cada um dos artesãos, percebe-se, na maioria dos casos, um cenário similar ao encontrado nos grupos pesquisados. No grupo de artesãos de Palhoça – SC, que produzem basicamente esteiras, o artesanato é visto como um complemento da renda familiar e não se apresenta como única atividade econômica desenvolvida. Os produtos são normalmente vendidos nas próprias casas dos artesãos ou sob encomenda e, em alguns casos, são vendidos lojas do Mercado Público de Florianópolis - SC. As demais lojas que abrem apenas em alta temporada, em geral, vendem

⁴¹ MASCÊNE, D. C.; TEDESCHI, M. **Termo de referência**: atuação do Sistema SEBRAE no artesanato. Brasília: SEBRAE, 2010.

⁴² *Ibid.*

produtos fabricados em outras regiões do país, dando pouco valor ao artesanato local⁴³. Por outro lado, verifica-se a pouca variedade de produtos que esses artesãos produzem, o que pode ser motivo para a baixa valorização no mercado local. O grupo de artesãos de Nova Resende – MG também revela que o artesanato é uma renda complementar. Muitos deles atuam na produção de café, que se apresenta como principal meio de subsistência local. A demanda de produção das peças com taboa ocorre em função das encomendas negociadas pela empresária local. A empresária foi uma das responsáveis junto à prefeitura local por a produção de artesanato com a taboa ser uma realidade no município. Dessa forma, toda comercialização dos produtos perpassa pela empresa dela, pela qual se dá a comercialização dos produtos e, assim, o escoamento da produção⁴⁴.

Em geral, tomando por base as referências bibliográficas citadas e os grupos estudados na presente pesquisa, apesar de um grupo de artesãos ou outro possuir loja física para expor seus produtos, percebe-se que a maior parte deles são vendidos sob encomenda. Percebe-se que, em geral, são produtos pouco valorizados e não oferecem garantia de renda suficiente para manutenção da família. Dentre os problemas vivenciados pela prática artesanal no Brasil, têm-se os baixos níveis médios de renda de um artesão. Apesar de se verificar um aumento nos investimentos, pouca atenção volta-se para as problemáticas locais.

A relação dos artesãos com a atividade econômica em questão

Quando se pensa a respeito da manutenção da atividade artesanal ao longo da história da humanidade e a permanência de artesãs, no que diz respeito a esta pesquisa, na realização de um trabalho pouco lucrativo, surge uma pergunta: que tipo de relações existe entre as artesãs e o seu ofício que garante a permanência delas nessa atividade? Torna-se importante avaliar essa interrogativa no sentido de se verificar a constância da contribuição da atividade no contexto da fitorremediação.

É perceptível que, de uma forma geral, essas artesãs permanecem realizando a atividade, além do contexto financeiro, pelo prazer que produzir uma nova peça gera. O relato abaixo é representativo do sentimento da maior parte das artesãs entrevistadas.

“O meu prazer é fazer o artesanato”... “E o meu marido também faz, ele gosta e me ajuda muito...” (C2, Gargaú – RJ).

Além disso, ambos os grupos relatam que permanecem exercendo essa atividade com a taboa pelo desejo de viver uma vida mais tranquila, em lugares onde possam criar seus filhos com segurança e sem os grandes tumultos dos grandes centros urbanos.

⁴³ BITENCOURT, L. **O artesanato de taboa (*Typha cf. domingensis* Pers.) e junco (*Androtrichum trigynum* (Spreng.) H. Pfeiff.) na guarda do embaú, Palhoça, SC.** 2009. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/132375/20092-LeonardoBitencourt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: maio 2015.

⁴⁴ SILVA, U. C. **Pesquisa exploratória do processo de implementação de uma atividade artesanal em Nova Resende, MG.** 2006. Monografia (Bacharelado em Moda com Habilitação em Estilismo) - Centro de Artes, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006. Disponível em: <http://www.pergamum.udesc.br/dados-bu/000000/0000000002/000002F1.pdf>. Acesso em: maio 2015.

Percebe-se que a relação que as artesãs estabelecem com seu trabalho é vivenciada de modo bastante específico, provavelmente diferente daquele experimentado por trabalhadores assalariados em linhas de produção industrial. O processo de amplificação e tecnização dos métodos de produção associado ao capitalismo tende a levar os trabalhadores a uma relação de alienação com o produto de seu trabalho e com a atividade de produção em si. Segundo Marx (2003), dentre os diversos motivos que levam a essa alienação está a questão de ser um trabalho dominado pelo capitalista e por ele apropriado. Se o produto do trabalho e o domínio do processo de trabalho não pertencem ao trabalhador, e sim a outro, ele não se reconhece no ofício. Assim, a alienação se dá no próprio processo do trabalho⁴⁵. Resumindo, Marx expõe que a alienação humana está no fato de haver no processo de produção uma relação que impede e constrange a realização do trabalho como “objetivação”, ou seja, como realização da natureza humana. No entanto, quando confrontamos a dinâmica observada na pesquisa com as artesãs de Galdinópolis e Gargaú com o exposto sobre o atual padrão das relações de trabalho no mundo, no que se refere à alienação, nota-se uma relação peculiar com o processo de trabalho e com o produto final.

Quando expressam que sentem alegria em participar de todas as etapas do trabalho e apontam o prazer em si que o ofício gera, bem como quando observamos seu conhecimento e participação do início ao fim do processo, temos indícios de que essas artesãs não estão alienadas ao processo que exercem, ou seja, há um reconhecimento do seu trabalho no produto final e uma identificação com o processo em si. O trabalho para elas não é apenas uma forma de sobrevivência por meio da renda, é uma opção de vida.

Outra descrição que expõe a relação dessas artesãs com o ofício refere-se à maneira como enxergam e compreendem o ecossistema de que retiram a matéria-prima (taboa) e os benefícios dessa atividade, mesmo que superficialmente, além de reconhecerem que as ações dos fazendeiros em colocar fogo e veneno na taboa são prejudiciais ao ecossistema e a diversos organismos. Quando as artesãs começaram a contribuir com a retirada da taboa pelo manejo, além de reduzirem os danos no ambiente, transmitiram indiretamente à população (fazendeiros) a importância da atividade.

Além disso, o setor turístico da cidade dá valor à produção artesanal quando sugere a oficina como ponto de visitação e inclui os produtos de taboa em seus pertences. Percebe-se uma rede de conexões que dá um sentido mais amplo à atividade de produção com a taboa, que ultrapassa o de se identificar com a peça produzida por parte das artesãs.

Por fim, a partir da análise dos grupos de artesãs estudados, verificou-se que há uma clara diferenciação desses grupos, havendo diferentes possibilidades em relação ao uso da taboa e aos métodos de manejo. Para pensar cenários para outros grupos, quando o manejo não for realizado de forma sustentável, deve-se pensar em uma intervenção a fim de que o grupo produza de forma mais qualificada, contribuindo para a manutenção do ambiente aquático em questão, ou seja, faz-se necessária uma sistematização de procedimentos. Percebe-se que a forma como os grupos realizam o manejo está diretamente ligada à forma como adquiriram o conhecimento e como se relacionam com o meio em que manejam a planta.

⁴⁵ MARX, K. Trabalho estranhado (extrato). *Idéias. Revista do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas*, Campinas: Ed.UNICAMP, v. 10, n. 2, p. 455-472, 2003.

As artesãs estudadas, em geral, possuem um conhecimento indireto quanto à importância dessas plantas para manutenção do ambiente aquático, logo se torna mais simples envolver esses grupos em projetos de mitigação ou recuperação de ambientes aquáticos que envolvam a atividade que executam. No entanto, faz-se necessário desmistificar alguns pontos em relação à forma como as parcerias e investimentos podem ocorrer, uma vez que os grupos revelaram que: (i) pela forma como realizam a atividade, não é interessante se organizarem em cooperativa, devido aos encargos; (ii) certificações das peças podem ser altamente custosas de se manter; e (iii) a matéria-prima oriunda de processos de fitorremediação não necessariamente agrega valor à peça. Ou seja, é necessário investigar as necessidades desses grupos para que os projetos possam focalizar seus métodos em atender às suas demandas reais. Em um cenário em que aumentasse a comercialização dessas peças, esses conceitos (cooperativas, certificações, etc.) poderiam ser aplicados de maneira mais íntegra, pois os grupos teriam recursos para ampliar investimentos.

Como descrito por Oliveira (2007, p.1):

Em diversas partes do mundo, a busca por melhores condições de vida, associada à desconstrução da noção de desenvolvimento estritamente econômico (pela qual se baseia a maioria dos países), leva as sociedades a repensarem sobre quais outros caminhos podem ser traçados de modo a romper, ou ao menos amenizar, com as discrepâncias sociais que assolam parte significativa da população mundial, especialmente nas regiões periféricas. Representantes públicos e órgãos de fomento, por sua vez, passam a apoiar e a incentivar práticas voltadas para o associativismo e para a cooperação entre empresas, governos e grupos de pessoas. O estímulo ao artesanato e ao turismo configura-se, portanto, como alternativa recorrente em projetos relacionados ao Desenvolvimento Local, na medida em que possibilitam não apenas a inserção como a reinserção de áreas “estagnadas”, como também podem viabilizar o resgate da cidadania e da auto-estima dos chamados “excluídos”⁴⁶.

Para que as iniciativas descritas por Oliveira (2007)⁴⁷ encontrem mecanismos práticos para o seu desenvolvimento, faz-se necessário conhecer o perfil da comunidade estudada, uma vez que, sem conhecer a comunidade em questão, bem como sua realidade, se tornaria difícil visualizar os caminhos a serem seguidos⁴⁸. Essa ideia vem corroborar a proposta central da presente pesquisa, uma vez que se obtiveram caminhos que se configuram positivos para o desenvolvimento local e ambiental. A partir desta pesquisa, temos inferências de que artesãs do município de Macaé – RJ, onde se encontra a Lagoa Imboassica, estudada na segunda etapa da pesquisa, já passaram por processo de capacitação sobre o uso da taboa na produção de artesanato, no entanto não aplicaram os conhecimentos relativos à produção de artesanato com taboa devido

⁴⁶ OLIVEIRA, C. D. **As relações artesanais e o estímulo ao desenvolvimento local no Brasil, em Gouveia-MG e outras diferentes escalas**. 2007. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

⁴⁷ *Ibid.*

⁴⁸ SANTOS, T. DE S. et al. O Artesanato como elemento impulsionador no Desenvolvimento Local. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, SEGeT, 7., 2010. Disponível em: http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/523_0%20Artesanato%20como%20elemento%20impulsionador%20no%20Desenvolvimento%20Local.pdf. Acesso: out. 2014.

à preocupação em coletar em locais contaminados da cidade. Essa preocupação foi exposta pela C2 de Gargaú, responsável pelo curso de capacitação na cidade. Somando ao fato, há falta de investimento do governo local em atividades com produção de taboa. Além disso, a partir da comparação com outros grupos, verifica-se o sucesso da atividade artesanal em localidade onde não havia a prática, como no caso dos artesãos de Nova Resende – MG, citados nesta pesquisa, que foram influenciados pelo interesse da prefeitura e empresários em investir nessa atividade econômica.

A fitorremediação: análise do estoque de nutrientes em *Typha domingensis* Pers.

Nesta seção, serão apresentados os dados referentes à caracterização de um ecossistema aquático eutrofizado, neste estudo, a Lagoa Imboassica – RJ, a concentração e estoque de nutrientes (N e P) na biomassa de *T. domingensis* na lagoa e a estimativa quanto à contribuição da atividade artesanal segundo os dois grupos estudados para fitorremediação.

Concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e estoque em *T. domingensis* e na lagoa Imboassica

Como referido nos métodos, a caracterização ambiental da Lagoa será apresentada no capítulo 1 deste livro, que visou caracterizar a variação em longo prazo nas condições tróficas desse corpo hídrico, de forma a subsidiar a sua gestão. Com base nos dados, foi possível verificar que atualmente esse ecossistema apresenta elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo, assim como características predominantes de hipereutrofia.

A concentração de nitrogênio total nos rametes de *T. domingensis* variou de 10,86mg/g PS a 15,91mg/g PS (média=14,22mg/g PS), e as concentrações de fósforo total variaram de 0,513mg/g PS a 2,112mg/g PS (média=0,953mg/g PS). Na tabela 2, encontram-se os valores de biomassa e concentração de nutrientes por ponto amostral. Os valores de nitrogênio foram superiores, enquanto os de fósforo foram similares aos resultados encontrados em um estudo realizado por Miao & Sklar (1998)⁴⁹. Nesse estudo, foi verificada a influência do aumento de nutrientes na água (áreas impactadas, transição e referência), na Flórida, sobre a concentração de nutrientes na biomassa de *T. domingensis*. Constatou-se um relativo aumento de nitrogênio e fósforo na biomassa das folhas desse vegetal nas áreas com maior concentração de nutrientes.

Uma maior absorção de fósforo por essa planta aquática em ecossistemas com aumento de nutrientes já foi demonstrada tanto por estudos em ambientes naturais^{50,51} quanto por experimentos de mesocosmos^{52,53}. No entanto, a variação na concentração de

⁴⁹ MIAO, S.L.; SKLAR, F.H. Biomass and Nutrient Allocation of Sawgrass and Cattail Along a Nutrient Gradient in the Florida Everglades. **Wetlands Ecology and Management**, v.5, n.4, p. 245-263, 1998.

⁵⁰ MIAO, S.L.; NEWMAN n, S.; SKLAR, F.H. Effects of Habitat Nutrients and Seed Sources on Growth and Expansion of Typha Domingensis. **Aquatic Botany**, v. 68, n. 4, p. 297-311, 2000.

⁵¹ MIAO, S.L.; SKLAR, F.H. Biomass and Nutrient Allocation of Sawgrass and Cattail Along a Nutrient Gradient in the Florida Everglades. **Wetlands Ecology and Management**, v.5, n.4, p 245-263, 1998.

⁵² LORENZEN, B. et al. Growth, Biomass Allocation and Nutrient Use Efficiency in *Cladium Jamaicaense* and *Typha Domingensis* as Affected by Phosphorus and Oxygen Availability. **Aquatic Botany**, v.70, n. 2, p. 117-133, 2001.

⁵³ MACEK, P.; REJMANKOVA, E. Response of Emergent Macrophytes to Experimental Nutrient and Salinity Additions. **Functional Ecology**, v. 21, n. 3, p 478-488, 2007.

nutrientes (N e P) presentes no ramete da taboa de ecossistema para ecossistema é esperada, uma vez que essa absorção, além de ser influenciada pela disponibilidade de nutrientes no meio, pode ser influenciada pela razão existente entre esses nutrientes. A razão entre esses nutrientes determina a absorção e alocação em partes distintas do ramete de um nutriente em detrimento a outro⁵⁴. Logo, a variação na concentração de nutrientes em ambientes igualmente impactados pode ter sido determinada por outros fatores, como a alocação do mesmo nutriente em outras partes da planta e pela sua concentração no sedimento.

Tabela 2 - Biomassa (peso seco) de *T. domingensis* por m² e relação da concentração de N e P (g/m²)

Pontos	<i>Typha</i> (gPS/m ²)	Concentração de N (mgN/gPS)	g N/m ²	Concentração de P (mgP/gPS)	mg P/m ²
T1	2502,52	13,60	34,05	0,51	1,28
T2	1097,08	14,33	15,73	1,17	1,28
T3	1557,42	10,86	16,91	0,64	1,00
T4	1340,18	12,74	17,07	0,62	0,83
T5	1985,58	15,86	31,50	1,03	2,05
T6	1291,38	15,71	20,29	2,11	2,73
T7	2256,38	14,76	33,30	0,66	1,49
T8	1822,52	15,91	28,99	0,88	1,60

A biomassa seca média observada para *T. domingensis* para parte aérea foi de 1731,63±496,05 gPS.m⁻², sendo similar aos resultados encontrados por Furtado, em 1994, para o mesmo ecossistema (1547,69 gPS.m⁻²). Estudos similares realizados em outros ecossistemas apresentaram valores superiores com o quantitativo de 5600±1700 gPS.m⁻²⁵⁵.

No que se refere às concentrações de nitrogênio e fósforo por m², a presente pesquisa obteve uma média de 24,73g N/m² e 1,53g P/m². Quando comparados aos valores encontrados por Furtado (1997)⁵⁶ para o mesmo ecossistema, 11,93 g N/m² e 2,28g P/m², verifica-se um aumento na concentração de nitrogênio e, apesar de inferiores, os valores de fósforo seguem uma mesma proporção, indicando uma maior incorporação de nitrogênio pela *T. domingensis*.

Com base nas concentrações observadas e nos resultados obtidos por meio da classificação referente à fotografia aérea de 2007 (Figura 5), que aponta as áreas ocupadas por plantas aquáticas e área total da lagoa (quadro 2), têm-se as estimativas do estoque de nutrientes para *T. domingensis*.

A Lagoa Imboassica apresenta uma área de 3,36Km², sendo 0,67Km² ocupado por plantas aquáticas, uma ocupação vegetal de 19,94% do total. Os bancos de plantas aquáticas localizam-se, em grande parte, em uma área assoreada em posição oposta à barra da lagoa, permitindo uma maior estabilidade desses bancos.

⁵⁴ BENTO, L. **O papel das macrófitas aquáticas emersas sobre a dinâmica dos nutrientes nitrogênio e fósforo em lagos rasos tropicais**. 2008. 55f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2008.

⁵⁵ ESTEVES, B. S. Biomassa, produtividade primária e composição nutricional de *Typha domingensis* Pers. na lagoa do Campelo, RJ, 2006. 49 p. Dissertação (Mestrado e Ciências e Biotecnologia) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2006.

⁵⁶ FURTADO, A. L. S.; ESTEVES, F. A. Nutritional value of biomass and detritus of *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 57, n. 3, p. 317-321, 1997.

Quadro 2 - Áreas (km²) e percentuais de ocupação com plantas aquáticas com base na imagem de satélite obtida em 2007.

Fonte	Ano	Área Lagoa (km ²)	Perímetro Lagoa (km ²)	Área ocupada por plantas aquáticas (km ²)	% em relação à área total da Lagoa	Perímetro de plantas aquáticas (km ²)
QUICKBIRD (2007)	2007	3,36	17,78	0,67	19,94	19,12

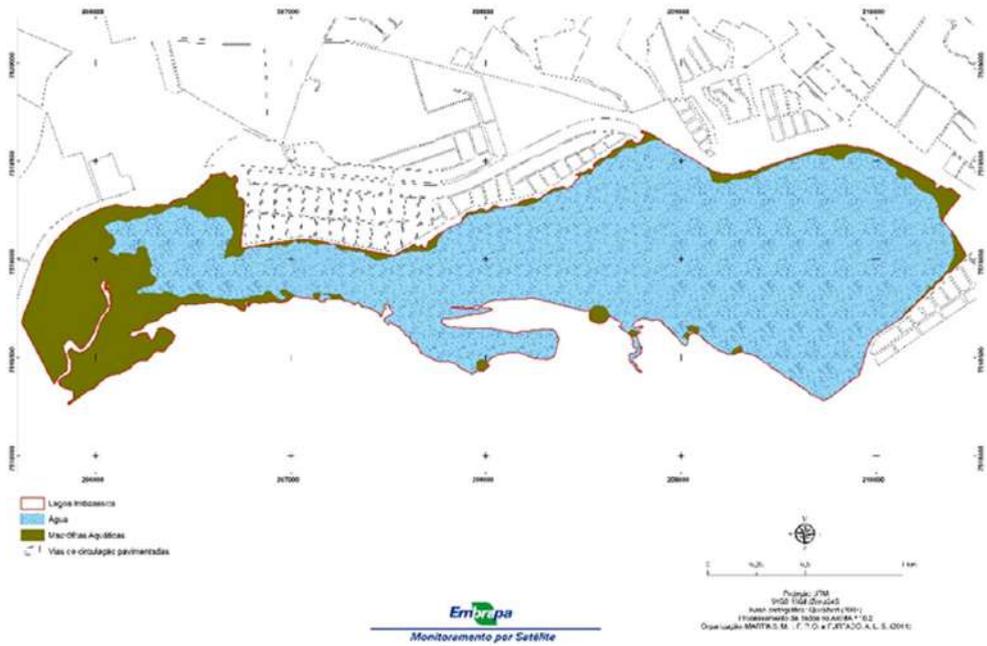


Figura 5 - Classificações de áreas ocupadas na Lagoa Imboassica por água e plantas aquáticas referentes a uma imagem de satélite obtida em 2007

Fonte: EMBRAPA. Monitoramento por Satélite; projeção UTM; WGS 1984/Zona 24S; Base Cartográfica: Quickbird (2007); Organização Martins e Furtado (2014)

O valor de densidade média dos rametes obtido na amostragem dos oito quadrats foi de $15,5 \pm 4,17$ unidades. m^{-2} . A biomassa seca média estimada é de $17,32 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, ou seja, 1160,19 toneladas para toda área ocupada por *T. domingensis* na Lagoa Imboassica.

A quantidade de nitrogênio e fósforo total armazenado na biomassa da *T. domingensis* foi estimada em 16,57 e 1,03 toneladas, respectivamente, para toda a lagoa, ou seja, $0,247 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio total e $0,015 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fósforo total estocados na biomassa da *T. domingensis*.

Estimativa da contribuição do manejo de *T. domingensis* para produção de artesanato no âmbito da fitorremediação de ambientes aquáticos eutrofizados

Os valores da massa em gramas de cada peça artesanal produzida pelo grupo que se encontra em Gargaú – RJ, pesquisado na primeira etapa deste trabalho, foram mensurados e, posteriormente, foram feitas estimativas da concentração de N e P para cada uma das peças. Não se consideraram perdas de nutrientes, uma vez que a atividade em questão é realizada apenas pelo manuseio direto e em teares, não se apresentando, assim, como atividade que modifica estruturalmente a fibra.

Somando-se todas as peças produzidas, têm-se os valores em estoque, armazenados, de 0,035Kg de P e 0,523 Kg de N. Na perspectiva de que o manejo está relacionado à quantidade de matéria-prima que se precisa repor para produção de novos produtos, quanto maior for o quantitativo de peças comercializadas, maior será a contribuição da atividade para o processo de fitorremediação, mitigando a eutrofização de ecossistemas aquáticos. No entanto, como pode ser observado na primeira etapa da pesquisa, não há um controle real dos cadernos financeiros de ambos os grupos. Assim, não é possível estimar a quantidade de biomassa demandada para produção das peças comercializadas.

Com base, ainda, nas informações adquiridas na primeira etapa da pesquisa, verificou-se que não há um padrão em relação à quantidade de taboa que retiram do meio para produção artesanal, e que o período de coleta varia de grupo para grupo. Tomando apenas alguns dados como base, como a retirada de 84 feixes de taboa em uma coleta (grupo de Galdinópolis – RJ) [estima-se que em cada feixe há 30 rametes (grupo de Gargaú – RJ)], poder-se-iam criar cenários de contribuição dessa atividade para a fitorremediação. Nesse caso, supondo coletas bimensais dessa quantidade para acompanhar a demanda de produção de artesanato, obteríamos uma retirada de 15.120 rametes por ano, 2.520 rametes por coleta. Utilizando os dados da presente pesquisa (15 rametes por m²), o que representa uma média de 24,73g N/m² e 1,53g P/m², estima-se que a atividade de coleta dos rametes seja capaz de remover aproximadamente 4 Kg de N e 0,25 Kg de P por coleta. Totalizando 25 Kg de N e 1,5 Kg de P por ano.

Considerando o cenário da Lagoa Imboassica, o estoque de Pé de aproximadamente 922 Kg de P (os cálculos em relação ao volume encontram-se no quadro 3) para todo o volume de massa d'água. As estimativas do quantitativo de biomassa manejada por esses grupos para produção de artesanato, caso estivesse acoplada a processos de fitorremediação desse ecossistema, estaria contribuindo com a remoção equivalente a 0,20% de fósforo do estoque na massa d'água.

Quadro 3 - Cálculos referentes à concentração de fósforo total (Ptotal) e volume de água na Lagoa Imboassica e o determinado para ambientes oligotróficos de acordo com Wetzel (2001) ^[50], resultando no quantitativo de fósforo para se remover

Concentração de Fósforo na Lagoa Imboassica			Concentração de Fósforo Oligotrófico Wetzel (2001)		
	Média	Unidades			Unidades
Ptotal	257,12	µg/L	Valor médio de P total	14	(µg/L)
Volume da lagoa	3586000	m ³	Volume da lagoa	3586000	m ³
Volume da lagoa	3586000000	L	Volume da lagoa	3,6.10 ⁹	litros
Volumes totais para lagoa					
Ptotal	9,22E+11	µg/L	Concentração P	5E.10 ⁹	µg/L
Ptotal	922,03	Kg	Concentração P	50,204	Kg
			Necessário remover para se tornar oligotrófico	871,83	Kg

Considerando o estoque de fósforo total estimado em 1,03 toneladas, no conjunto de todos os rametes da *T. domingensis* da Lagoa Imboassica, seria necessária a remoção de 0,872 toneladas para reduzir a entrada de P para a água da lagoa em cerca de 871 Kg de P, considerando um cenário de retorno às condições oligotróficas ou de mitigação de excesso de P na lagoa. Assim, é possível desenvolver um projeto contínuo de manejo dessa planta aquática na Lagoa Imboassica em parcelas de 25% do total de rametes. Essa ação permitiria uma manutenção no metabolismo do ecossistema em função da *T. domingensis*, uma vez que outras parcelas permaneceriam intactas. Além disso, deve-se considerar um cenário em que não há mais entrada de efluentes na lagoa via aporte de esgoto. Estima-se que, para a *T. domingensis* atingir uma altura de aproximadamente dois metros (altura de corte para o manejo), necessita-se de 90 a 120 dias⁵⁷. Dessa forma, aguardando-se esse tempo para se realizar o manejo das outras parcelas, que seria realizado somente após o restabelecimento da parcela manejada anteriormente, haveria no total quatro atividades no ano para se alcançar a retirada de fósforo total desejado. Pensando no destino dessa biomassa manejada, que seria cerca de dois milhões, quinhentos e doze mil e quinhentos (2512500) rametes, seriam necessários 166 grupos de artesãos com atividade similares aos estudados para absorver todas as fibras manejadas. No entanto, o cálculo feito acima considerou o consumo de um ano de matéria-prima, sendo necessários quatro vezes mais grupos para realização de quatro manejos no ano. Diante de tal volume de mão de obra necessária à recuperação do corpo hídrico, poder-se-ia pensar que parte da biomassa manejada poderia ser destinada não somente à atividade de artesanato, mas também à produção de adubo orgânico voltado ao desenvolvimento de mudas que poderiam ser utilizadas para o próprio reflorestamento de margens de corpos d'água como o da bacia do Imboassica. Nos municípios de Araruama, Saquarema e Silva Jardim, no Rio de Janeiro, o sistema de tratamento de esgoto é realizado por cinco estações no modelo *wetland*, onde a biomassa utilizada na estação é transformada em adubo.

⁵⁷ BELARMINO, M. G. **O sequestro de carbono por rametes de *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae) no contexto de adaptação e mitigação das mudanças climáticas**. 2013. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) – Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 2013.

Conclusões

A produção de artesanato com taboa contribui para o processo de fitorremediação de ambientes aquáticos eutrofizados. Todavia, nas comunidades estudadas, devido à pouca comercialização de artigos produzidos com taboa, sua contribuição é relativamente pequena. Nas condições encontradas na pesquisa, a utilização da taboa para artesanato poderia constituir somente uma via complementar a outras formas de destino dadas a esse material. No entanto, considerando o cenário encontrado nesta pesquisa, ainda se torna positivo desenvolver projetos de recuperação de impactos por eutrofização de ecossistemas aquáticos acoplando a função de fitorremediação da taboa com o seu uso como matéria-prima para produção artesanal. Assim, a atividade econômica e a manifestação cultural de um setor da população são preservadas.

Por fim, o manejo dessa planta para a atividade artesanal, apesar de representar uma pequena porcentagem de contribuição para a mitigação do impacto de redução de nutrientes em excesso no ecossistema, no que se refere à fitorremediação, contribui de maneiras diretas e indiretas para manutenção do ecossistema e de pequenos grupos artesanais, como: (i) há facilidade em obter a matéria-prima, o que é de suma importância para o desenvolvimento de pequenos grupos e/ ou comunidades em esferas locais; (ii) é uma atividade econômica com alto valor emocional e fortalece elementos da cultura artesanal local; (iii) permite a retirada (manejo) contínua de uma biomassa que entraria em decomposição no próprio sistema, liberando novamente os nutrientes (N e P) e mantendo assim os elevados valores desses elementos; (iv) permite a prevenção do uso de veneno e/ou fogo por parte de outros grupos da sociedade, uma vez que o quantitativo de plantas não será demasiado grande com o manejo contínuo; e (v) permite a inserção prática das esferas social e ecológica em um mesmo projeto de recuperação de um ecossistema aquático continental.

Agradecimentos

Os autores agradecem especialmente às artesãs de Galdinópolis e Gargaú - RJ pela magnífica hospitalidade e pelas contribuições em relação às informações quanto a essa atividade econômica, que é à base desta pesquisa; sem elas, o trabalho não existiria. Agradecem, ainda, a todos os pesquisadores, técnicos e alunos que participaram do projeto ECOLAGOAS e a João Marcelo Silva de Souza, pelo suporte nas coletas do monitoramento. Somos gratos também a Maycon Belarmino pelas inúmeras ideias e sugestões.

PEQUENOS ESTUÁRIOS ALIMENTADOS POR PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO DOS ESTUÁRIOS DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS (RJ)

Glenda Camila Barroso (UFRJ) · Mauricio Mussi Molisani (UFRJ)

Introdução

O que são estuários?

A definição clássica de estuários, aceita para estuários clássicos estabelecidos em planícies costeiras^{1,2} (PRITCHARD, 1952; FAIRBRIDGE, 1980), apresenta esses ambientes como corpos d'água costeiros, semifechados, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior dos quais a água do mar é mensuralmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. Posteriormente, Day (1980)³ considera a influência dos tipos dos estuários em relação à sua conexão com o mar, que pode estar permanentemente ou periodicamente aberta para o oceano, influenciando, por exemplo, a circulação de massas de água e a distribuição de organismos de acordo com a forma da conexão. De acordo com Herdendorf⁴, Odum⁵ e Dyer (1997)⁶, os estuários precisam estar conectados diretamente com o oceano ou com outro corpo d'água salino, podendo ser consideradas estuários até lagoas costeiras que recebem a descarga fluvial e estão sujeitas à ação de maré ou ondas.

Como os estuários são caracterizados, em parte, pelo aporte de água fluvial, caso essa massa de água não seja capaz de diluir a água marinha, esse ambiente não é caracterizado como estuário⁷. A presença de água fluvial está associada a um balanço hídrico, no qual a soma dos volumes que chegam ao estuário é relacionada à precipitação e à descarga fluvial, e, se for maior ou menor do que a evaporação, poderá ocasionar a geração de estuários com águas salobras, salinas ou até hipersalinas, obviamente segundo a premissa da diluição da água do mar pela água fluvial. As definições de

¹ PRITCHARD, D. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. *Journal of Marine Research*, v.11, n.1, p. 106-123, 1952.

² FAIRBRIDGE, R.W. The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York: Wiley, 1980. p. 1-35.

³ DAY, J.H. What is an estuary? *South African Journal of Science*, v.76, p. 198-198, 1980.

⁴ HERDENDORF, S.E. Great lakes estuaries. *Estuaries*, v.13, p. 493-503, 1990.

⁵ ODUM, W.E. The lacustrine estuary might be a useful concept. *Estuaries*, v.13, p.506-507, 1990.

⁶ DYER, K.R. Tides in Estuaries. In: DYER., K.R. (Ed.). *A Physical Introduction*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1997. p. 31-40.

⁷ CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. Estuaries. In: HILL, M. N. (ed). *The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*. New York: Interscience, 1963. p. 306-324.

Cameron e Pritchard⁸ e Day (1980)⁹ não levaram em consideração a influência da maré, que é o principal mecanismo de mistura de massas de água na maioria dos estuários. O efeito da maré deve promover modificações nos componentes de um estuário, induzindo a circulação de massas de água, a erosão e a deposição de materiais, criando gradientes de salinidade longitudinal e de profundidade, entre outros¹⁰. Considerando os efeitos da maré, a definição de Dionne, J.¹¹ veio ampliar a discussão inserindo a localização de três zonas ao longo do estuário: a) estuário inferior ou marinho, com ligação livre com o oceano aberto; b) estuário médio, sujeito à intensa mistura da água do mar com a água fluvial; c) estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré, em relação ao aumento de volume de água. Tais fronteiras não são fixas, mas variam de acordo com a amplitude de maré (quadratura/ sizígia) e a intensidade da descarga fluvial (período de chuvas ou estiagem).

De forma a considerar aspectos relacionados à sedimentação, Dalrymple¹² Introduziram um conceito segundo o qual estuários são definidos como um sistema de vales inundados que recebe sedimentos tanto de origem fluvial como de origem marinha, cuja granulometria e estruturas sedimentares sofrem influência da maré, ondas e processos fluviais. Kjerfve¹³ não vislumbra apenas essa caracterização geológica, e acrescenta processos regionais, tais como: fatores climáticos, sedimentação recente e forçantes dinâmicas, que contribuem para a formação dos estuários e são responsáveis pela variedade de características geomorfológicas e fisiográficas observadas no ambiente. Para esse autor, “estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente”. Ainda subdivide o estuário em três zonas distintas: a) Zona de Maré do Rio (ZR), que corresponde à parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré; b) Zona de Mistura (ZM), que é a região onde se observa a mistura de água doce advinda da drenagem continental com a água do mar; e c) Zona Costeira (ZC), que corresponde à região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina.

De acordo com Perillo¹⁴, as definições de estuário englobam apenas os parâmetros fisiográficos (geomorfologia e hidrologia) e não contemplam parâmetros biológicos e químicos, sendo necessária uma classificação morfogenética que estabeleça uma interação entre as forças terrestres e marinhas na formação da morfologia do estuário. Segundo esse conceito, “Um estuário é um corpo d’água semifechado que estende até o limite efetivo da influência da maré, dentro do qual a água do mar entra por uma ou mais conexões livres com o mar aberto, ou qualquer outro corpo d’água salino costeiro, sendo significativamente diluída com a água doce derivada da drenagem continental, e pode sustentar espécies eurialinas em parte ou o ciclo de vida inteiro”.

⁸ CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. Estuaries. In: HILL, M. N. (ed). **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York: Interscience, 1963. p. 306-324.

⁹ DAY, J.H. What is an estuary? *op. cit.*

¹⁰ PERILLO, G.M.E. **Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Berlin: Elsevier Science B. V., 1995. p. 17-49, 1995.

¹¹ DIONNE, J.C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence Estuary. **Geomorphology**, v.7, p. 36-44, 1963.

¹² DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.B.; BOYD, R. A Conceptual Model of Estuarine Sedimentation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.62, p. 1130-1146, 1992.

¹³ KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY JR., J. W. et al. (Eds). **Estuarine Ecology**. New York: Wiley, 1987. p. 47-48.

¹⁴ PERILLO, G.M.E. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**, *op. cit.*

A definição proposta por Dyer¹⁵ é considerada a mais completa dentro da oceanografia física, na qual “Estuário é um corpo de água semifechado, com ligação livre com o oceano aberto, que se estende ao longo do rio até o limite de influência da maré, no interior do qual a água do mar é mensuralmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”. Diante do amplo espectro de condições hidrográficas, topográficas, climáticas, químicas e biológicas de estuários, com situações por vezes conflitantes, as quais impossibilitavam um consenso geral a respeito das definições, tornou-se cada vez mais evidente a necessidade de analisar esses ambientes não apenas como fenômenos locais, como se fazia em décadas passadas. Assim, para comparar diferentes estuários, foram propostos critérios de classificação desses ambientes costeiros, organizando-os de acordo com um conjunto de parâmetros e estabelecendo uma estrutura geral de funcionamento considerando a circulação e os processos de mistura envolvidos.

Classificação de estuários

Um primeiro sistema de classificação foi proposto por Stommel¹⁶, que considerou como causas físicas preponderantes dos movimentos de mistura dentro do corpo d’água estuarino a maré, o vento e a descarga fluvial. Adicionalmente, Pritchard (1952)¹⁷ classificou os estuários do ponto de vista geomorfológico, e os dois esforços resultaram na classificação: estuários de planície costeira (vale inundado); fiorde; formado por barras; e formado por processos como falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamento de terra.

A classificação de Hayes¹⁸ foi baseada na amplitude de maré e correlaciona esse parâmetro físico com várias características fisiográficas, definindo quatro tipos de estuários: estuários de micromarés (com amplitude de maré inferior a 2 m); estuários de mesomarés (com amplitude de maré variando de 2 a 4 m); estuários de macromarés (com amplitude maior do que 4m); e estuários de hipermarés (com amplitude maior do que 6 m).

Posteriormente, Dalrymple *et al.*¹⁹ desenvolveram uma classificação direcionada para um modelo mais complexo de fácies sedimentares, no qual estabeleceram a importância e o tamanho da drenagem fluvial, das ondas e das marés ao longo de períodos de tempo. Esse modelo classificou os estuários em: dominados por drenagem fluvial, por ondas e por marés. A diferença entre as duas classificações anteriores consiste no fato de que a última aponta para uma contínua evolução entre os extremos, ou seja, um estuário caracterizado por ondas pode vir a tornar-se dominado por marés.

A classificação morfológica de Fairbridge²⁰, baseada em fatores fisiográficos e hidrodinâmicos, se propõe a relacionar o relevo, a circulação na desembocadura do estuário, o nível do mar, a dinâmica fluvial-estuarina e o neotectonismo. Dessa forma, são descritas sete categorias de estuários: a) estuários com vales em forma de

¹⁵ DYER, K.R. Tides in Estuaries. In: DYER, K.R. (ed.). **A Physical Introduction**. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1997. p.31-40.

¹⁶ STOMMEL, H. **Recent Development in the Study of Tidal Estuaries**.Tech. Rept. Massachusetts: Woods Hole Oceanographic Institution, 1951. 18 p. n. 51-33.

¹⁷ PRITCHARD, D. **Salinity Distribution and Circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System**, *op. cit.*

¹⁸ HAYES, M.O. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. **Geology and Engineering**, 1975, p. 3-22.

¹⁹ DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.B.; BOYD, R. **A Conceptual Model of Estuarine Sedimentation**, *op. cit.*

²⁰ FAIRBRIDGE, R.W. The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Eds.). **Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries**, *op. cit.*

U e alto relevo (fjord) e relevo moderado (fjard); b) estuários em forma de V e relevo moderado (ria); c) estuários com vales em forma de funil e baixo relevo (estuários de planície costeira ou de barreira); d) estuários com vales em forma de L e baixo relevo (estuários construídos por barra); e) estuários de baixo relevo sazonalmente fechado (estuários cegos); f) estuários de frente deltaicos ou deltas de rios efêmeros (estuários deltaicos); g) estuários compostos (tectônicos). Mais recentemente, uma classificação morfogenética, baseada na origem e morfologia, procura contemplar todas as categorias possíveis de estuários, a saber: a) formados por vales fluviais, categoria que se subdivide em estuários de planície costeira e rias; b) formados por vales glaciais ou fiordes e fiardes; c) influenciados por rios de maré e estuários de frente deltaicos; d) estruturais, formados por processos neotectônicos; e e) lagoas costeiras, corpos d'água paralelos à costa separados do mar por uma barreira e conectados com o oceano por uma entrada, que, dependendo de sua natureza, pode ser obstruído (apenas uma entrada rasa e longa), restrito (poucas enseadas ou uma desembocadura larga) e vazado (grande número de entradas separadas por pequenas ilhas de barreiras).

Os estuários classificados geomorfologicamente apresentam diferenças significativas nos padrões de circulação, estratificação de salinidade e processos de mistura. Com base nisso, Pritchard²¹ criou uma classificação relacionada à estratificação de salinidade, na qual se tornou possível estabelecer de forma qualitativa as características dominantes da circulação da zona de mistura (ZM): a) cunha salina (há uma interface distinta entre a água da descarga fluvial e a marinha); b) altamente estratificado (apresenta uma acentuada estratificação vertical e diferença entre as salinidades de superfície e fundo de várias unidades); c) parcialmente misturado (estratificação da coluna d'água moderada com diferença entre superfície e fundo de poucas unidades); d) bem misturado ou verticalmente homogêneo (quando não há praticamente diferença entre a salinidade da superfície e fundo, ausência de haloclina).

Os diversos critérios de classificação morfodinâmicos e de salinidade apresentados anteriormente não contemplam aspectos relacionados com a qualidade da água e com as pressões antrópicas que tais ambientes suportam. A classificação ambiental de um estuário poderá ser inferida a partir da análise da estrutura salina e da qualidade da água. Esta última, por sua vez, pode ser inferida a partir da qualidade estética, critério sanitário e parâmetros físicos, químicos e biológicos²². A classificação para sistemas marinhos segundo o estado trófico foi proposta baseada no aumento de suprimento de matéria orgânica (por exemplo, carbono orgânico dissolvido) em um sistema, indicando o sistema como oligotrófico (<100 g/ano⁻¹), mesotrófico (<100 - 300 g/ano⁻¹), eutrófico (301 - 500 g/ano⁻¹) e hipertrófico (>500 g/ano⁻¹)²³. Lemley *et al.*²⁴ apresentam uma classificação que utiliza uma variedade de indicadores, como oxigênio dissolvido, nutrientes inorgânicos, fitoplâncton, epífitas e microfítobêntos, propondo as categorias Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico e Hipereutrófico. A Tabela 1 apresenta um resumo da classificação dos estuários.

²¹ PRITCHARD, D. Estuarine Circulation Patterns. *Proceedings of American Society of Civil Engineers*, v.81, p. 717, 1955.

²² CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente no 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

²³ NIXON, S.W. The fate of nitrogen and phosphorous at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, v.35, p. 141-180, 1996.

²⁴ LEMLEY, D.A. *et al.* Towards the classification of eutrophic condition in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.164, p. 221-232, 2015.

Tabela 1 - Classificações de estuários ao longo do tempo

Parâmetro	Classificação	Referência
Parâmetros físicos	Estuários influenciados: maré, vento, descarga fluvial	Stommel (1951)
Geomorfologia	Planície costeira (vale inundado); Fiorde; formado por barras; Falhas tectônicas; Erupções vulcânicas	Pritchard (1952)
Morfologia (Relevo, circulação, nível do mar)	Estuários com vales em forma de U e alto relevo (<i>fjord</i>) e relevo moderado (<i>fjord</i>); estuários em forma de V e relevo moderado (<i>ria</i>); estuários com vales em forma de funil e baixo relevo (estuários de planície costeira ou de barreira); estuários com vales em forma de L e baixo relevo (estuários construídos por barra); estuários de baixo relevo sazonalmente fechados (estuários cegos); estuários de frente deltaicos ou deltas de rios efêmeros (estuários deltaicos); estuários compostos (tectônicos)	Fairbridge (1955)
Amplitude de maré	Micromarés (<2 m); Mesomarés (2<A<4 m) Macromarés (>4 m); Hipermarés (>6 m)	Hayes (1975)
Estratificação de salinidade	Circulação da zona de mistura (ZM): a) cunha salina; b) altamente estratificado; c) parcialmente misturado; d) bem misturado ou verticalmente homogêneo.	Pritchard (1975)
Fácies sedimentares (evolução)	Estuários influenciados: tamanho da drenagem fluvial; ondas; marés	Dalrymple <i>et al.</i> (1992)
Parâmetros físico-químicos e biológicos (diversos)	Classificação e diretrizes para o enquadramento em classes considerando a saúde/bem-estar humano e o equilíbrio ecológico aquático	CONAMA (2005)
Parâmetros físico-químicos e biológicos (oxigênio dissolvido, nutrientes inorgânicos, fitoplâncton, epífitas e microfitobêntos)	Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico, Hipereutrófico	Lemley <i>et al.</i> (2015)

Pequenas bacias hidrográficas e seus respectivos estuários dentro do contexto das Bacias do Atlântico Sudeste (22-29°)

Segundo Milliman e Syvitski (1992)²⁵, bacias de drenagem de reduzida área (<10.000 km²), embora drenem apenas cerca de 20% da área global, são ambientes que ocorrem em grande número, o que pode conferir a eles, coletivamente, uma importante parcela de contribuição de sedimentos e outros materiais das bacias hidrográficas para os oceanos. Atualmente, observam-se esforços para a obtenção de dados sobre a diversidade de bacias hidrográficas e estuários visando entender os fatores condicionantes e a variabilidade desses fatores frente aos processos naturais, ocupação humana e mudanças climáticas^{26,27,28}. Esse cenário se torna mais urgente para pequenos estuários, diante da reduzida extensão desses ambientes flúvio-estuarinos em oposição à crescente

²⁵ MILLIMAN, J.; SYVITSKI, J.P.M. Geomorphic Tectonic Control of Sediment Discharge to the ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. **Journal of Geology**, v.100, p. 525-544, 1992.

²⁶ SYVITSKI, J.P.M.; SAITO, Y. Morphodynamics of deltas under the influence of humans. **Global and Planetary Change**, v.57, p. 261-282, 2007.

²⁷ TURNER, R.E.; RABALAIS, N.N.; JUSTIC, D.; DORTCH, Q. Global Patterns of dissolved N, P and Si in Large Rivers. **Biogeochemistry**, v.64, p. 297-317, 2003.

²⁸ PASQUAUD, S.; VASCONCELOS, R.P.; FRANÇA, S.; HENRIQUES, S.; COSTA, M.J.; CABRAL, H. Worldwide patterns of fish biodiversity in estuaries: Effect of global vs. local factors. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.154, p. 122-128, 2015.

e extensiva ocupação humana dessas regiões. Um dos exemplos mais analisados é a capacidade suporte desses estuários em processar a carga antrópica de matéria orgânica e de nutrientes. Em face de crescente emissão de nutrientes, considerando que o transporte global de nitrogênio e fósforo pelos rios para os estuários tem aumentado cerca de seis a nove vezes em relação aos valores pré-industriais, podem-se constatar alterações nos estuários, como as florações desordenadas de algas e macrófitas aquáticas, depleção de oxigênio, assoreamento, mortandade de organismos, mudança de composição de espécies, perda dos serviços ecossistêmicos e a insalubridade ou até mesmo a inviabilidade de possíveis usos pela sociedade humana costeira^{29,30,31,32,33}.

A zona costeira do Brasil pode ser dividida entre a porção quaternária ao norte, influenciada pela bacia do rio Amazonas; a porção terciária nordeste e leste (Formação Barreiras), drenada por pequenas e médias bacias hidrográficas desde o domínio semiárido até o úmido; a porção granítica sudeste e quaternária ao sul^{34,35}. Entre as latitudes 22 – 29°, onde houve o soerguimento da Serra do Mar durante a abertura do oceano Atlântico, foi formada uma série de pequenas bacias hidrográficas (áreas entre <10-1 a 104 km²) que drenam para o oceano Atlântico, denominadas Bacias do Atlântico Sudeste³⁶. Essas bacias têm uma geomorfologia que varia do relevo montanhoso ondulado (altitude >1.000 m) até uma planície costeira atingindo o nível do mar. Adicionalmente, a geomorfologia dessas bacias hidrográficas sugere eficiente transporte fluvial para a costa^{37,38}, com efeitos em ecossistemas costeiros^{39,40}, (PAGLIOSA *et al.*, 2005⁴¹; FONSECA *et al.*, 2014⁴²; MAUAD *et al.*, 2015⁴³). Durante séculos até o presente momento, uma ocupação extensiva da costa brasileira, que abriga em

- ²⁹ RABALAIS, N.N.; TURNER, R.E.; WISEMAN, JR, W.J. Hypoxia in the Gulf of Mexico "The Dead Zone." **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.33, p. 235-263, 2002.
- ³⁰ BOYER, J.N.; KELBLE, C. R.; ORTNER, P.B.; RUDNICK, D.T. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. **Ecological Indicators**, v.9, p. 550-557, 2009.
- ³¹ BRICKER, S.B.; CLEMENT, C.G.; PIRHALLA, D.E.; ORLANDO, S.P.; FARROW, D.R.G. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. **NOAA—NOS Special Projects Office**, 1999.
- ³² SMITH, V.H. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. **American Society of Limnology and Oceanography**, v.51, p. 377-384, 2003.
- ³³ MEYBECK, M. Rivers: from sources to global inputs. In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F.T.; CHOU, L. (eds.) Interactions of C, N, P and Si biogeochemical cycles and global change, **NATO ASI Series**, v.14, p. 163-193, 1993.
- ³⁴ GUERRA, H.T. **O litoral Atlântico**. Paisagens do Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 1962. 456 p.
- ³⁵ KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A.G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, v.19, p. 171-178, 1999.
- ³⁶ KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A.G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport, *op. cit.*
- ³⁷ FARIAS, M.M.; SANCHEZ, B.A. Geochemistry and mineralogy of recent sediments of Guanabara Bay (NE sector) and its major Rivers, Rio de Janeiro State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.73, p. 121-133, 2001.
- ³⁸ MOLISANI, M.M.; NORONHA, F.R.C.; SCHULTZ, M.S.; REZENDE, C.E.; ALMEIDA, M.G.; SILVEIRA, C.S. Mismatch Between Sediment Metal Distribution and Pollution Source Gradient: A Case Study of a Small-Size Drainage Basin (Southeastern Brazil). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.94, p. 770-776, 2015.
- ³⁹ MOLISANI, M.M.; MARINS, R.V.; MACHADO, W.; PARAQUETTI, H.H.M.; BIDONE, E.D.; LACERDA, L.D. Environmental changes in Sepetiba Bay, SE Brazil. **Regional Environmental Changes**, v.4, p. 17-27, 2004.
- ⁴⁰ GODIVA, D.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; LICINIO, M.V.; MUNITA, C. Combined use of aerogammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Búzios, Brazil. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.87, p. 526-534, 2010.
- ⁴¹ PAGLIOSA, P.R.; FONSECA, A.; BOSQUILHA, G.E.; BRAGA, E.L.; BARBOSA, F.A.R. Phosphorus dynamics in water and sediments in urbanized and non-urbanized rivers in Southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.50, p. 965-974, 2005.
- ⁴² FONSECA, E.M.; BAPTISTA NETO, J.A.; PEREIRA, M.P.S.; SILVA, C.G.; ARANTES, J.D. Study of pollutant distribution in the Guaxindiba Estuarine System – SE Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.82, p. 45-54, 2014.
- ⁴³ MAUAD, C.R.; WAGENER, A.L.R.; MASSONE, C.G.; ANICETO, M.S.; LAZZARI, L.; CARREIRA, R.S.; FARIAS, C.O. Urban Rivers as conveyors of hydrocarbons to sediments of estuarine areas: Source characterization, flow rates and mass accumulation. **Science of the Total Environment**, v.506-507, p. 656-666, 2015.

torno de 60% da população do país, alterou profundamente o uso do solo, o que pode ser exemplificado pela redução de 85% da Floresta Atlântica na região⁴⁴. Essas bacias estão localizadas em áreas de grande adensamento populacional ou de importância socioeconômica, como o município do Rio de Janeiro, a Baixada Santista e a Região dos Lagos, entre outros. As mudanças nos usos dos solos, representadas pela urbanização, mineração, agricultura, pecuária e industrialização, vêm induzindo importantes transformações, com efeitos como redução no volume de água nos rios e no aporte fluvial aos estuários, poluição, desflorestamento, desabamentos de encostas, erosão e assoreamento, perda de biodiversidade, todos obviamente afetando a população que vive nessas regiões e ecossistemas continentais e costeiros^{45,46,47,48,49,50,51,52,53,54}.

Em relação a pequenos estuários da região norte do Estado do Rio de Janeiro, pode-se observar reduzida disponibilidade de informações sobre suas características. Essa lacuna de conhecimento no que concerne às variáveis hidroquímicas, produção primária e fluxos de materiais de regiões como a dos rios Macaé e das Ostras impossibilita a gestão integrada da bacia hidrográfica e da região estuarina, que poderia assegurar a qualidade das águas, da biodiversidade e dos serviços ecológicos e econômicos desses ambientes costeiros. Os estuários dos rios Macaé e das Ostras vêm sofrendo alterações devido ao cenário de crescimento socioeconômico induzido pelas atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos ao longo dos últimos 40 anos, resultando em um rápido crescimento demográfico dos municípios de Macaé e Rio das Ostras.

Considerando que os estuários dos rios Macaé e das Ostras sejam influenciados por rios de pequenas áreas de bacias, 1.765 km² e 157 km², respectivamente, podem-se esperar classificações e condições similares dos estuários que proporcionarão similares cenários para gestões das águas. Além disso, as bacias possuem similares usos dos solos, com presença de cobertura vegetal original, pecuária, agricultura, embora seja diferente a extensão dessas atividades, enquanto ambos os estuários estão localizados em áreas

⁴⁴ RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, p. 1141-1153, 2009.

⁴⁵ MOLISANI, M.M.; KJERFVE, B.; SILVA, A.P.; LACERDA, L.D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. **Journal of Hydrology**, v.331, p. 425-433, 2006.

⁴⁶ MOULTON, T.P.; DE SOUZA, M.L.; OLIVEIRA, A.F. Conservation of catchments: some theoretical considerations and case histories from Rio de Janeiro. **Neotropical Biology and Conservation**, v.2, p. 28-35, 2007.

⁴⁷ COELHO-NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; LACERDA, W.A. Landslides and disasters in Southeastern and Southern Brazil. **Developments in Earth Surface Processes**, v.13, p. 223-243, 2009.

⁴⁸ GODIVA, D.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; LICINIO, M.V.; MUNITA, C. Combined use of aerogammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Búzios, Brazil, *op. cit.*

⁴⁹ ANDRADE, T.M.B.; CAMARGO, P.B.; SILVA, D.M.L.; PICCOLO, M.C.; VIEIRA, A.S.; ALVES, L.F.; JOLY, C.A.; MARTINELLI, L.A. Dynamics of dissolved forms of carbon and inorganic nitrogen in small watersheds of the coastal Atlantic Forest in Southeast Brazil. **Water Air Soil Pollution**, v.214, p. 393-408, 2011.

⁵⁰ NETTO, A.L.C.; SATO, A.M.; AVELAR, A.S.; VIANNA, L.G.G.; ARAÚJO, I.S.; FERREIRA, D.L.C.; LIMA, P.H.; SILVA, A.P.A.; SILVA, R.P. The extreme landslide disaster in Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE SECOND WORLD LANDSLIDE FORUM, Rome, 2011.

⁵¹ SILVEIRA, R.P.; RODRIGUES, A.P.C.; SANTELLI, R.E.; CORDEIRO, R.C.; BIDONE, E.D. Mass balance in the monitoring of pollutants in tidal rivers of the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.181, p. 165-173, 2011.

⁵² MOLISANI, M.M.; ESTEVES, F.A.; REZENDE, C.E.; LACERDA, L.D. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, v.36, p. 27-33, 2013a.

⁵³ MOLISANI, M.M.; COSTA, R.N.; CUNHA, P.; REZENDE, C.E.; FERREIRA, M.I.P.; ESTEVES, F.A. Acute Toxicity Bioassay with the Amphipod, *Grandidierella bonnieroides* S. After Exposure to Sediments from an Urban Estuary (Macaé River Estuary, RJ, Brazil). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.90, p. 79-84, 2013b.

⁵⁴ CATELANI, P.A.; PETRY, A.C.; DI DARIO, F.; DOS SANTOS, V.L.; MINCARONE, M.M. Fish composition (Teleostei) of the estuarine region of the Macaé River, southeastern Brazil. **Check List**, v.10, p. 927-935, 2014.

urbanas. Apesar de haver reduzidas informações sobre esses estuários, são conhecidos os indícios de alteração e degradação, tanto na bacia quanto na região costeira, com reflexos na qualidade das águas e nos organismos estuarinos^{55,56,57,58,59,60}. Além disso, a transferência dos materiais fluviais pode afetar a região costeira adjacente. Um exemplo descrito é a transferência de partículas do rio Macaé através do seu estuário para a zona costeira, via deposição (*siltation*) em recifes de corais da espécie *Siderastrea stellata* na Praia da Tartaruga, no município de Armação dos Búzios⁶¹. Esse transporte está relacionado a características da bacia hidrográfica e do estuário do rio Macaé, como a fisiografia do relevo, associadas possivelmente, porém, à intervenção humana, como a retificação do rio, a mudança da cobertura vegetal e a possível intensificação de processos erosivos dos solos⁶². Entretanto, características da bacia do rio das Ostras e de seu estuário reduzem sua participação no balanço costeiro e partículas, possivelmente devido ao reduzido aporte fluvial. Desse modo, este estudo visa avaliar as condições dos estuários dos rios Macaé e das Ostras testando a hipótese: “Pequenos estuários alimentados por pequenas bacias hidrográficas são iguais em relação à hidroquímica, à produção primária e aos fluxos de materiais entre o continente e o oceano”, sendo essas informações fundamentais na geração de subsídios para a gestão das águas que integre bacia hidrográfica, estuário e zona costeira.

Área de estudo

As áreas abrangidas pelo presente estudo compreendem os estuários do rio Macaé e do rio das Ostras e suas respectivas bacias, que fazem parte da Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), localizada na região Norte-Fluminense (Figura 1).

⁵⁵ MOLISANI, M.M. et al. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, v.36, p. 27-33, 2013a.

⁵⁶ Molisani, M.M. et al. Acute Toxicity Bioassay with the Amphipod, *Grandidierella bonnieroides* S. After Exposure to Sediments from an Urban Estuary (Macaé River Estuary, RJ, Brazil), *op. cit.*

⁵⁷ PINHEIRO, M.R.C. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, aplicada à bacia hidrográfica do rio Macaé**. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, 2008.

⁵⁸ BERENQUER, J.N. et al. Effects of the environmental quality and oil derivative on the hepatic enzymatic activities in a tropical estuarine catfish (*Genidens genidens*) and the implications for field contamination assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety** [submetido].

⁵⁹ SANTIAGO, I.U. et al. Hydrocarbons and trace metals in mussels in the Macaé coast: Preliminary assessment for a coastal zone under influence of offshore oil field exploration in southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.103, p. 349-353, 2016.

⁶⁰ Catelani, P.A. et al. Fish composition (Teleostei) of the estuarine region of the Macaé River, southeastern Brazil, *op. cit.*

⁶¹ GODIVA, D. et al. Combined use of aerogrammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Búzios, Brazil, *op. cit.*

⁶² MOLISANI, M.M. et al. Mismatch Between Sediment Metal Distribution and Pollution Source Gradient: A Case Study of a Small-Size Drainage Basin (Southeastern Brazil). *op. cit.*

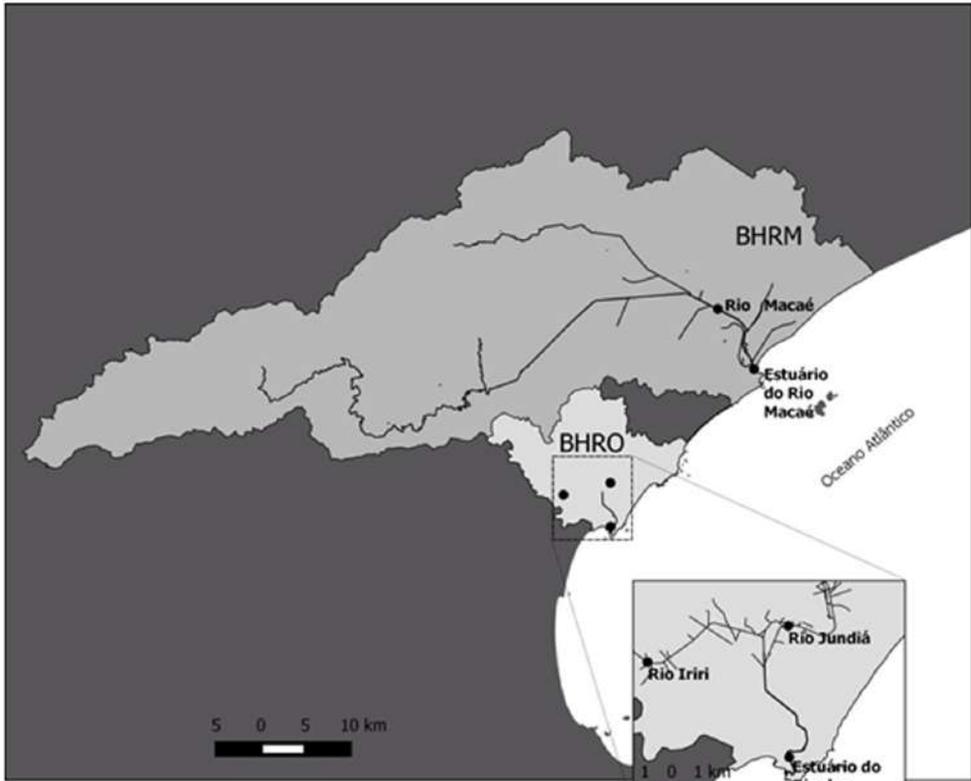


Figura 1 - Área de estudo indicando as bacias hidrográficas dos rios Macaé (BHRM) e das Ostras (BHRO) e seus respectivos estuários. Os círculos (pontos de coleta) indicam a amostragem da porção fluvial no baixo curso do rio e na seção transversal do estuário onde foram realizadas as análises em ciclos de maré

Bacia e estuário do Rio Macaé

O rio Macaé é considerado um rio de pequeno porte, com área da bacia hidrográfica de 1.765 km² e extensão do canal fluvial de 136 km. A bacia abrange parte dos municípios de Macaé (1.448 km²), Rio das Ostras (11 km²), Carapebus (11 km²), Casimiro de Abreu (83 km²), Conceição de Macabu (70 km²) e Nova Friburgo (142 km²). Sua nascente está localizada a 1.660 m de altitude, no interior do Parque Nacional dos Três Picos, no município de Nova Friburgo, compreendendo extensos remanescentes relativamente bem preservados de Mata Atlântica (Macaé de Cima). O relevo da bacia do rio Macaé caracteriza-se pela presença de montanhas (parte integrante da Serra do Mar) de encostas íngremes e por uma extensa planície litorânea localizada a leste. O curso alto e médio da bacia do rio Macaé apresenta rochas de idades pré-cambrianas (mais de 1,8 bilhão de anos) em vales profundos e escarpados escavados pelos rios e sujeitos a intensos processos erosivos e deslizamentos de terra. Já a parte baixa da bacia do rio

Macaé tem origem sedimentar (formada por acúmulo de sedimentos holocênicos)⁶³. O clima de sua bacia é tropical úmido e varia de acordo com a altitude e a disposição do relevo, das massas de ar e da proximidade com o oceano. Apresenta diferentes condições em cada parte da bacia, com um clima mais frio e úmido e maior pluviosidade média anual (2.119 mm) devido a chuvas orográficas em seu alto curso, e menor pluviosidade e maior temperatura em seu baixo curso. Para este trecho da bacia, a precipitação média anual fica entre 1.500 a 2.000 mm, e temperaturas oscilam entre 17,5 a 25°C. A estação chuvosa se estende de novembro a março, e a estação seca de abril a outubro. A calha principal percorre o sentido leste-oeste, com uma vazão média de 20,4 m³/s na altura da BR101, e deságua no Oceano Atlântico, junto à cidade de Macaé, como um rio de sétima ordem⁶⁴. Em relação à cobertura vegetal, a bacia do rio Macaé caracteriza-se pelo predomínio de formações florestais da Mata Atlântica, diferenciadas pela variação de altitude e drenagem das áreas. A cobertura anterior às alterações humanas era de: (a) florestas ombrófilas nas montanhas e nas áreas de baixada não alagáveis; (b) florestas paludosas em áreas alagáveis das planícies de inundação; (c) campo nas porções de planície; (d) brejos (alagamento constante); (e) restingas onde o solo era arenoso; e (f) mangues nos solos formados por argila⁶⁵. Ao longo de sua bacia, há diferentes usos do solo, que variam de áreas de cobertura florestal (41%) no seu alto curso, até áreas de pastagens (34%), agricultura (19%) e zonas urbanas (3,7%) em seu baixo curso⁶⁶. O município de Macaé teve um forte crescimento populacional em curto período de tempo, sendo que, a partir da década de 70, sua população aumentou de aproximadamente 50 mil para mais de 200 mil pessoas em 2010, devido às atividades de exploração de petróleo na Bacia de Campos. Esse cenário impulsionou taxas anuais de crescimento econômico de 5,7%, enquanto a média do Estado do Rio de Janeiro era de 0,5%⁶⁷.

O estuário está localizado na porção urbanizada da bacia. Seu canal estuarino principal possui largura máxima de 130 m e profundidade máxima de 3,8 m. É influenciado por maré semidiurna do tipo micromaré, cujas amplitudes médias variam de 0,5 a 1,3 m nas marés de quadratura e sizígia, respectivamente. No entorno há fragmentos de manguezais, embora a ocupação municipal desordenada seja a principal paisagem observada na foz. Os impactos ambientais na região estuarina tiveram início no século XVIII, quando, nas proximidades desta, se instalou a sede do município de Macaé, RJ. As margens do estuário, que antes eram pouco povoadas e apresentavam extensas áreas de várzea, ao longo dos anos, e devido ao crescimento urbano, sofreu inúmeras alterações. Dentre elas, destacam-se obras de dragagem, retificação e alargamento nos 26 km de extensão do baixo curso do rio Macaé, no final da década de 60, pelo

⁶³ ALMEIDA *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Macaé SF.24-Y-A-1, Estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2012.

⁶⁴ AMARAL, K.J. **Estuário do Rio Macaé**: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

⁶⁵ ALMEIDA *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Macaé SF.24-Y-A-1**, *op. cit.*

⁶⁶ PINHEIRO, M.R.C. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, aplicada à bacia hidrográfica do rio Macaé**, *op. cit.*

⁶⁷ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. O Brasil município por município. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 2010.

extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Com a retificação, observou-se a eliminação das lagoas marginais, e, com a mudança no uso dos solos e o aumento dos processos erosivos, o assoreamento do leito. A partir da década de 70, com a exploração *offshore* de petróleo e gás da Bacia de Campos, observou-se um intenso crescimento populacional e econômico, que gerou uma pressão cada vez maior sobre os recursos naturais, alterando as condições ambientais do baixo curso do rio. O estuário do rio Macaé, apesar dos diversos impactos existentes em seu entorno, apresenta grande importância econômica e histórica para a região, porém recebe quase que a totalidade do esgoto sem tratamento produzido no município^{68,69}.

Bacia e estuário do Rio das Ostras

A bacia de drenagem do rio das Ostras é limitada a oeste com a bacia do rio São João, ao norte com a bacia do rio Macaé e a leste com a bacia da lagoa Imboassica. Os municípios que fazem parte da bacia do Rio das Ostras são Casimiro de Abreu e Rio das Ostras, sendo que este último apresenta maior participação territorial (92,5% da bacia). A bacia hidrográfica drena uma área de 157 km², sendo formada por dois afluentes principais: os rios Iriri e Jundiá⁷⁰. Embora sejam ambientes de baixa energia, transportam água e sedimentos finos para o estuário. Em relação à geomorfologia da bacia hidrográfica, podem-se observar dois tipos de sistemas de relevo: os relevos de agradação e de degradação. Os primeiros podem ser divididos em: a) planícies aluviais (formadas por sedimentos argilo-arenosos, padrão de drenagem variando de bem drenado a mal drenado); b) colúvio-aluviais (formadas por sedimentos argilo-arenosos, mal drenados); e c) flúvio-lagunar (depósitos de sedimentos argilosos orgânicos de paleolagunas, muito mal drenados). Quanto aos relevos de degradação, têm-se: a) colinas isoladas (amplitude topográfica inferior a 100 m); b) domínio suave colinoso (amplitude topográfica inferior a 50 m); c) domínio colinoso (inferior a 100 m); d) alinhamentos serranos e degraus estruturais (apresentam grande amplitude topográfica – 300 a 700 m); e) escarpas serranas (amplitude topográfica superior a 500 m)⁷¹. A bacia hidrográfica do rio das Ostras, devido às suas características fisiográficas, com reduzida declividade do relevo (declividade média de 0,0207 m/m) é caracterizada por apresentar várias áreas de inundação e forte influência do regime de marés sobre o rio, com entrada da língua salina até o trecho onde o Valão das Corujas desemboca no rio das Ostras (6 km a partir da foz)⁷². Ao longo dessa bacia, o rio atravessa pastagens e

⁶⁸ COSTA, R.N.; FERREIRA, M.I.P. **A conferência da Terra: Aquecimento global, sociedade e biodiversidade** O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2010. v.2, p. 142-150.

⁶⁹ RESSIGUIER, J. H. P. **Atividade Petrolífera e Impactos no Espaço Urbano do Município de Macaé: 1970-2010**. 2011. Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades) - Universidade Candido Mendes, UCAM, Campos de Goytacazes, RJ, 2011.

⁷⁰ PRIOSTE, M.A.O. **Bacia Hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável**. 2007. 193 p. Dissertação (Mestrado) - PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro, 2007.

⁷¹ PRIOSTE, M.A.O. **Bacia Hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável**, *op. cit.*

⁷² SEMADS. GTZ. Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu. In: **Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha**. Rio de Janeiro, 1999.

alagados, e apresenta uma faixa de manguezal em sua foz que é protegida também por lei municipal. O rio das Ostras também sofreu impactos da retificação da sua calha, com modificações no regime de descargas, aumento da velocidade de escoamento e aumento da quantidade de sedimentos provenientes da erosão dos bancos de areia, inclusive devido à dragagem^{73,74}. Os índices de precipitação da região de Rio das Ostras são considerados os mais baixos entre as regiões do Estado. A pluviosidade média anual está em torno dos 1.300 a 1.500 mm. A temperatura média anual na região fica entre 20° e 25°. Em relação ao uso e ocupação do solo, pode-se destacar a pecuária. Em relação ao total das terras disponíveis na área rural no município de Rio das Ostras (17.993 ha), 66,5% (11.975 ha) são ocupados por pastagens, sendo que apenas 2,46% (442 ha) do total são representados por terras produtivas utilizadas na lavoura (permanente e temporária). Em relação às matas naturais e plantadas, ocupam 27% da área da bacia (4.858 ha)⁷⁵. Recentemente, entre 1991 e 2015, o município de Rio das Ostras teve uma taxa de crescimento de 720%, passando de 18.195 habitantes para uma população estimada de 131.976 (IBGE, 2014). Segundo dados do Censo de 2000, a urbanização na área de estudo é bastante elevada (95% das pessoas vivem em áreas urbanas). Também se pode observar uma tendência de adensamento e verticalização e reservas de terras para especulação urbana, nas áreas já consolidadas e em áreas rurais⁷⁶. O turismo, acentuado no verão, ocasiona um aumento expressivo da população na bacia. A bacia hidrográfica do rio das Ostras tem sofrido interferências antrópicas por muitas décadas, das quais se destacam a erosão em antigas áreas de exploração de saibro e em áreas de pasto em colinas, arraste de materiais e assoreamento de canais, riscos de enchentes em áreas urbanas, ocupação urbana em planícies alagáveis, além de o estuário também receber parte do esgoto não tratado do município^{77,78}.

Metodologia

A amostragem contemplou quatro campanhas, sendo duas no rio Macaé e outras duas no rio das Ostras, realizadas em outubro de 2014. O posicionamento geográfico dos pontos amostrais está identificado na Figura 1. As campanhas foram realizadas visando caracterizar o aporte fluvial da bacia hidrográfica, incluindo medições da vazão, de concentrações de material particulado em suspensão, nutrientes e clorofila α , bem como dos fluxos desses materiais da bacia hidrográfica para o estuário. Essa região representa o trecho mais a jusante da bacia sem influência da salinidade ou do volume da maré, sendo referente à porção inferior das bacias. Os mesmos fluxos e variáveis foram obtidos nos estuários em coletas horárias ao longo de um ciclo de maré de quadratura e sizígia, em uma seção transversal fixa, localizada a aproximadamente 400 m da desembocadura da foz do rio Macaé e 700 m da foz do rio das Ostras.

⁷³ PRIOSTE, M.A.O. Bacia Hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável, *op. cit.*

⁷⁴ RIO DAS OSTRAS Prefeitura Municipal. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Ostras**. 2004. 147 p.

⁷⁵ PRIOSTE, M.A.O. **Bacia Hidrográfica do rio das Ostras**: proposta para gestão ambiental sustentável, *op. cit.*

⁷⁶ PRIOSTE, M.A.O. **Bacia Hidrográfica do rio das Ostras**: proposta para gestão ambiental sustentável, *op. cit.*

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ RIO DAS OSTRAS Prefeitura Municipal. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Ostras**. 2004. 147 p.

Tanto na porção fluvial quanto no estuário, foram realizadas medições *in situ* de temperatura (°C), salinidade, condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$), pH e oxigênio dissolvido (mg/L). Na porção fluvial, a vazão (m^3/s) do rio Macaé e a dos rios Iri e Jundiá foram medidas através da obtenção da área da seção transversal (comprimento e profundidade de cada seção transversal) e da velocidade da corrente de água medida por um correntômetro mecânico. No estuário do rio Macaé, as medições horárias dos fluxos de água nas marés de enchente e de vazante ao longo de cada ciclo de maré semidiurno de sizígia e quadratura foram realizadas utilizando um correntômetro de efeito Doppler (ADCP) ancorado a um barco. Devido à reduzida profundidade e à limitação do uso do ADCP, no estuário do rio das Ostras, os fluxos de água foram medidos por meio da medição da área da seção transversal e da velocidade da corrente utilizando o correntômetro mecânico.

As amostras de água de subsuperfície e de fundo foram coletadas principalmente no estuário do rio Macaé, enquanto nas outras áreas somente amostras de superfície foram coletadas devido à reduzida profundidade. As amostras de água foram filtradas em membrana de poro de $0,45 \mu\text{m}$ para obtenção da fração dissolvida de nutrientes e das partículas em suspensão, enquanto outras amostras foram filtradas em membranas de poro de $0,8 \mu\text{m}$ para análise de clorofila α . As análises de nutrientes englobam as formas de nitrogênio total (NT, mg/L), nitrogênio total dissolvido (NTD, mg/L), amônia (NH_4^+ , mg/L), fósforo total (PT, mg/L) e fosfato (PO_4^{3-} , mg/L). Para a determinação das concentrações de partículas em suspensão (MPS), alíquotas de volumes filtrados foram relacionadas à massa retida nos filtros por meio de gravimetria (STRICKLAND; PARSONS, 1972). Os nutrientes NT e NTD foram analisados por combustão pirolítica em equipamento TOC-Vcpn Shimadzu, enquanto NH_4^+ , PT, PO_4^{3-} foram determinados por colorimetria e espectrofotometria de UV_{vis}^{79,80}. Para a determinação de clorofila α ($\mu\text{g}/\text{L}$), o material retido em membrana foi extraído em etanol 90%, e foi realizada leitura em espectrofotometria de UV_{vis}⁸¹.

A partir das vazões nos rios e nos estuários, e das concentrações dos nutrientes e partículas em suspensão, foram calculados fluxos dos materiais e balanços acoplando a bacia hidrográfica, estuário e zona costeira. Os fluxos fluviais instantâneos (g/s) foram calculados, enquanto nos estuários foram medidos fluxos de enchente e vazante (g/s) e os balanços de massa (fluxo residual), adotando por convenção os fluxos de importação (-) e de exportação (+) no estuário⁸².

Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os valores médios (desvio padrão) dos parâmetros analisados na porção inferior dos rios Macaé e das Ostras e nos respectivos estuários. Comparando as bacias hidrográficas, podemos ressaltar que, embora sejam pequenas

⁷⁹ STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. 2ª ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972. 167 p. (Bulletin, 167).

⁸⁰ CARMOUZE, J.P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos**: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Editora Edgard Blucher: FAPESP, 1994. 254 p.

⁸¹ NUSCH, E.A.; PALME, G. Biologische methoden für die praxis der gewässeruntersuchung 1. Bestimmung des Chlorophyll a und Phaeopigmentgehaltes in Oberflächenwasser. **GWF**, v. 116, n. 12, p. 562-565, 1975.

⁸² KJERFVE, B. et al. Estimation of material fluxes in an estuarine cross section: a critical analysis of spatial measurement density and errors. **Limnology and Oceanography**, v. 26, p. 325-335, 1981.

bacias, a diferença de uma ordem de grandeza das áreas dos rios Macaé e das Ostras (1.765 km² e 157 km², respectivamente) insere diferentes magnitudes de vazões fluviais que são transferidas para o estuário (12 m³/s e 3,1 m³/s, respectivamente). É importante ressaltar que essas vazões são vazões típicas da estação seca, enquanto, na estação de chuvas, vazões máximas no rio Macaé foram medidas em 170 m³/s no ano de 2013⁸³. Esse valor ficou próximo do valor estimado para picos de vazão com tempo de retorno de 2 anos, enquanto vazões máximas de tempo de recorrência de 100 anos na foz do rio Macaé podem chegar a até 1.312 m³/s, sendo esses valores similares a outras estimativas⁸⁴. Para a bacia do rio das Ostras, não há medições de valores máximos, que podem ser bastante episódicos, visto a reduzida área e declividade da bacia. Enquanto no rio Macaé foi amostrada água fluvial, as águas salobras observadas nos rios Jundiá e Iriri indicam misturas de águas fluviais e marinhas, sugerindo que as vazões realmente fluviais sejam ainda menores do que as medidas nesses rios. Esses dados indicam que essa bacia sofre forte influência do regime de marés, com entrada da cunha salina que pode chegar a até mais do que 6 km a partir da foz⁸⁵.

De uma maneira geral, ambas as bacias possuem águas bem oxigenadas, com similares concentrações de material particulado em suspensão. O pH indicou águas ácidas para ambas as bacias, sendo menor o pH na porção inferior dos rios Jundiá e Iriri. As concentrações dos nutrientes e de clorofila *a* foram maiores na bacia do rio das Ostras. Essa análise indica que as menores vazões nos rios Jundiá e Iriri podem reduzir a capacidade de diluição de efluentes não tratados, como os provenientes da urbanização (esgoto doméstico) e da pecuária, entre outras fontes distribuídas nessas sub-bacias, tornando essas águas mais suscetíveis às entradas de nutrientes e resultando em maiores concentrações de N e P. Por outro lado, no rio Macaé, apesar de esse rio receber maiores cargas de N e P de fontes naturais e antrópicas devido, por exemplo, à maior população residente na bacia (MOLISANI *et al.*, 2013), as menores concentrações de nutrientes nas águas fluviais podem estar relacionadas à maior vazão fluvial e, conseqüentemente, à capacidade de diluição mais eficiente dos efluentes, além da retenção, em solos mais extensos, das emissões de nutrientes, como, por exemplo, da pecuária.

Tabela 2 - Média (DP) dos valores de vazão, parâmetros físicos, químicos e biológicos do aporte fluvial das porções finais das bacias dos rios Macaé e das Ostras (n=4) e nos estuários (n=144).

	Rio Macaé	Estuário	Rio das Ostras		Estuário
			Rio Iriri	Rio Jundiá	
Vazão	12 ± 2,7	34 ± 18	0,72 ± 0,1	2,4 ± 0,3	4,1 ± 4,5
Salinidade	0 ± 0	19 ± 0,7	0,35 ± 0,1	10 ± 13	34 ± 0,7
pH	6,5 ± 0,7	8,0 ± 0,1	5,4 ± 1,6	5,3 ± 0,4	7,6 ± 1,1
O ₂ dissolvido	6,2 ± 0,1	7,5 ± 0,6	6,0 ± 1,4	7,3 ± 3,9	5,5 ± 0,04
MPS	5,8 ± 1,0	32 ± 11	5,1 ± 0	5,1 ± 0	33 ± 7,8
NT	0,33 ± 0,1	0,90 ± 0,1	2,7 ± 0,8	4,1 ± 0,4	0,96 ± 0,25
NTD	0,20 ± 0	0,73 ± 0,01	2,3 ± 0,6	3,3 ± 0,1	0,77 ± 0,1
NH ₄ ⁺	0,035 ± 0,02	0,35 ± 0,1	0,86 ± 0,2	1,74 ± 0,020	0,07 ± 0,02
PT	0,070 ± 0	0,25 ± 0,1	0,10 ± 0	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,11
PO ₄ ³⁻	0,025 ± 0	0,09 ± 0,04	0,035 ± 0	0,07 ± 0,01	0,13 ± 0,01
N:P	4,7 ± 1,1	8,6 ± 1,9	71 ± 16	46 ± 10	13 ± 3,1
Chl <i>a</i>	2,9 ± 0	5,5 ± 2,1	-	21,6 ± 0	2,1 ± 0,6

⁸³ Molisani, M.M. *et al.* Temporal and spatial fluxes of water, suspended matter and nutrients of typical small coastal river from Southeast Atlantic Basins (22-29°S), Brazil. **Hydrological Processes** [submetido].

⁸⁴ BARBOZA, A.P. **Estudo hidrológico de vazões máximas na Bacia do Rio Macaé**. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica da UFRJ, 2014.

⁸⁵ SEMADS. GTZ. Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu. In: **Projeto PLANÁGUA SEMADS GTZ de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha**, *op. cit.*

Outra análise oriunda da Tabela 2 é a comparação das condições dos estuários. Da mesma forma que para as bacias hidrográficas, as magnitudes dos fluxos de enchente e vazantes nos estuários foram diferentes, sendo maiores os fluxos de água no estuário do rio Macaé, o que provavelmente explica suas águas serem mais oxigenadas. A interação dos fluxos fluviais e marinhos conferem águas salobras ao estuário do rio Macaé, enquanto o reduzido aporte de água da bacia confere águas tipicamente marinhas ao estuário do rio das Ostras. Essas diferenças das massas de água indicam que o estuário do rio Macaé é mais influenciado pelo aporte da bacia hidrográfica, enquanto o estuário do rio das Ostras parece ser mais influenciado pelo oceano costeiro e a ação de marés. O pH e as partículas em suspensão foram similares entre as áreas. Em relação aos nutrientes, os estuários foram similares em relação ao NT, NTD e PO_4^{3-} , enquanto NH_4^+ , PT e clorofila α foram maiores no estuário do rio Macaé. Essa distribuição pode refletir a influência da carga de esgoto doméstico sem tratamento que é lançada em ambos os estuários, mas sendo maior a quantidade lançada no rio Macaé, além das emissões de nutrientes por outras fontes, que são mais diversas e em maior quantidade nessa bacia^{86,87}. O estudo de Molisani *et al.* (2013)⁸⁸ avaliou, por meio da metodologia de Fatores de Emissões, as cargas de N e P para a bacia do rio Macaé oriundas de processos naturais, como erosão e lixiviação de solos e pela deposição atmosférica; e por atividades humanas, como urbanização (esgoto, lixo e escoamento), agricultura e pecuária. Dentre essas fontes, as emissões antrópicas são responsáveis por 90% e 99% das emissões de N e P, de um total de 1.599 ton/ano e 787 ton/ano, respectivamente. Das atividades humanas que contribuem para esse aporte, a pecuária (620 e 377 ton/ano, respectivamente) e o lançamento de esgoto doméstico (550 e 262 ton/ano, respectivamente) são as principais fontes de emissão dos nutrientes para a bacia que são transferidos para o estuário. Por fim, a produção primária representada pela clorofila α indicou maior presença de biomassa de fitoplâncton no estuário do rio Macaé, possivelmente associada à maior concentração e carga de nutrientes (NH_4^+) nessa região, enquanto em Rio das Ostras a biomassa de fitoplâncton foi menor, provavelmente relacionada ao menor aporte de nutrientes. As razões médias N:P para os estuários do rio Macaé (7:1) e do rio das Ostras (15:1) foram menores do que a razão proposta por Redfield (16:1), o que sugere que o nitrogênio seja limitante para a produção primária, principalmente para o estuário do rio Macaé, ou que haja enriquecimento de fósforo que sustente a maior produção de biomassa do fitoplâncton nesse estuário.

Por fim, os dados da Tabela 2 fornecem a comparação entre as condições da porção inferior das bacias hidrográficas e de seus respectivos estuários. A interação das águas fluviais com as águas marinhas resulta na água salobra do estuário do rio Macaé, enquanto o reduzido aporte fluvial aumenta a importância da água marinha no estuário do rio das Ostras, como observado nos valores de salinidade. Os fluxos

⁸⁶ PRIOSTE, M.A.O. **Bacia Hidrográfica do rio das Ostras**: proposta para gestão ambiental sustentável, *op. cit.*

⁸⁷ MOLISANI, M.M. *et al.* Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, v.36, p. 27-33, 2013.

⁸⁸ *Ibid.*

de água de enchente e vazante nos estuários mobilizam mais água do que as bacias hidrográficas transferem, sendo maior essa diferença no estuário do rio Macaé, o que talvez esteja relacionado com a sua morfologia e posição costeira. Desse modo, podemos esperar que os estuários tenham importância na transferência de materiais para a zona costeira, amplificando os aportes fluviais devido ao maior volume de água movimentado no estuário em relação ao que chega pelas bacias. As águas do estuário do rio Macaé estiveram mais oxigenadas do que as do rio, sugerindo que a ação da mistura das massas de água seja responsável pela melhora da sua oxigenação. Porém, no estuário do rio das Ostras, podemos observar uma piora dos níveis de oxigênio dissolvido no estuário em relação ao aporte fluvial. O menor fluxo de água entre a bacia hidrográfica e o estuário pode dificultar a solubilização de oxigênio atmosférico nas águas, associado à menor produção primária que reduz o aporte de oxigênio pela fotossíntese. Por outro lado, a pior qualidade das águas fluviais do rio das Ostras sugere transferência de matéria orgânica da bacia que induz o consumo de oxigênio no estuário. Como os dois estuários são urbanos e recebem esgoto não tratado, podemos supor que o maior volume e movimentação de água em Macaé podem contribuir na melhor qualidade desse parâmetro, associado à maior produção primária do fitoplâncton. É interessante notar que os dois estuários tiveram a mesma intensidade de aumento das concentrações de partículas em suspensão em relação às bacias contribuintes. Um fator que explique este aumento pode ser a maior mobilização de água nos estuários, que acarreta maior ressuspensão de partículas bentônicas. Outro fator pode estar relacionado à produção primária de fitoplânctônica e à produção de partículas orgânicas, sendo mais importante esse fator no estuário do rio Macaé, que apresentou maiores concentrações de clorofila α em relação à sua bacia.

Todas essas análises nos fornecem condições para classificar a porção final das bacias e os estuários de acordo com os usos preponderantes das águas, como preconizado pela Resolução CONAMA 357⁸⁹. Segundo esse enquadramento, a porção final do rio Macaé é considerada classe 1 de acordo com as concentrações de nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido e clorofila α , e Classe 2 de acordo com os teores de fósforo total. O estuário do rio Macaé, considerado como ambiente de água salobra, foi enquadrado na Classe 1 para oxigênio dissolvido, amônia, embora seja Classe 3 para fósforo total. Como os rios Jundiá e Iripi possuíam água salobra durante as coletas, foram analisados como tal de acordo com a Resolução CONAMA n^o 357. Segundo o enquadramento, os rios foram considerados como classe 1 de acordo com as concentrações de fósforo total e oxigênio dissolvido, e Classe 3 considerando pH e nitrogênio amoniacal. Em relação ao estuário do rio das Ostras, as águas foram consideradas como marinhas, e o enquadramento conferiu Classe 1 para nitrogênio amoniacal e Classe 2 para oxigênio dissolvido e fósforo total. Desse modo, dependendo do parâmetro, os ambientes analisados, ambos os rios e ambos os estuários, podem ser enquadrados na classe especial, cujas águas podem ser usadas para abastecimento humano com desinfecção (rios), preservação do

⁸⁹ CONAMA. Resolução no 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

equilíbrio natural das comunidades aquáticas, recreação, e até na classe 3, em que os usos são restritos a navegação e harmonia da paisagem. Apesar de não ter sido realizada uma classificação baseada em estado trófico, o enquadramento das águas segundo seus usos preponderantes nos dá uma dimensão da qualidade das águas dos estuários.

A qualidade das águas dos estuários, que se reflete, por exemplo, no enquadramento dos usos preponderantes das águas, é influenciada pelas emissões de nutrientes oriundos de processo naturais e atividades humanas, pelos aspectos hidrológicos, morfológicos, climáticos e oceanográficos, entre outros. Parte desses aspectos foi analisada ao longo de ciclos de marés de sizígia e quadratura nos estuários (Figuras 2-7). Os fluxos de água nos estuários indicaram que um volume maior de água é transportado na maré de sizígia, sendo observados no estuário do rio Macaé os maiores fluxos de água (Figura 2). As velocidades de corrente, tanto na vazante quanto na enchente, foram maiores no estuário do rio Macaé (0,4 – 0,6 m/s) do que no estuário do rio das Ostras (0,1 – 0,3 m/s).

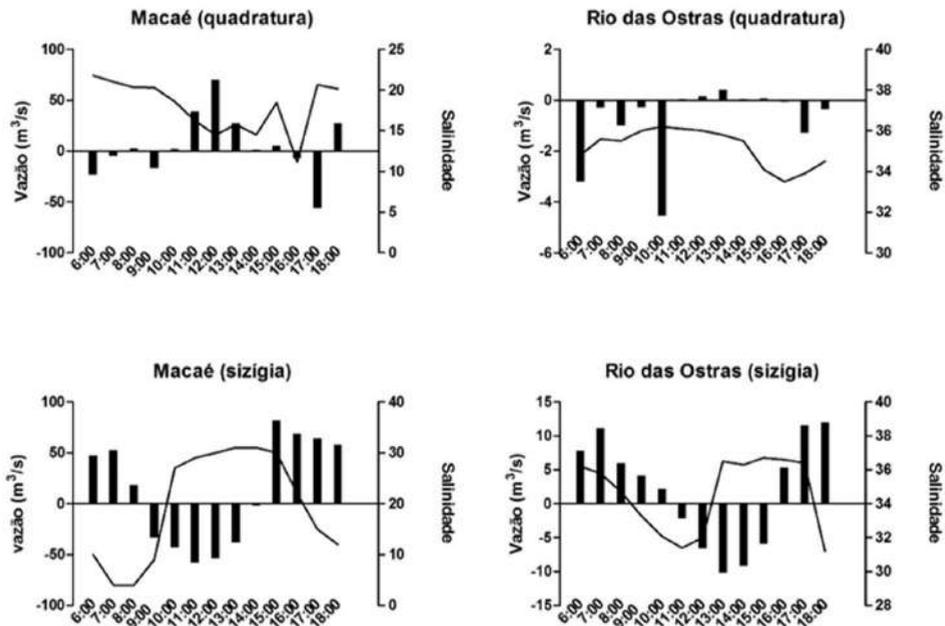


Figura 2 - Vazões horárias do estuário do rio Macaé e do rio das Ostras nas marés de quadratura e sizígia. Valores negativos (enchente) e valores positivos (vazante).

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados parâmetros como temperatura, partículas em suspensão e salinidade na superfície e fundo da coluna d'água dos estuários, nas marés de sizígia e quadratura. As distribuições horárias dentro dos ciclos de marés de quadratura indicaram que o estuário do rio Macaé possui estratificação térmica e de salinidade, enquanto no estuário do rio das Ostras não foram observadas estratificações,

sendo a coluna d'água homogênea. Por outro lado, na maré de sizígia, a estratificação não fica aparente, sugerindo que ambos os estuários não sejam estratificados. Em relação às partículas em suspensão, o fundo da coluna d'água teve maiores concentrações devido ao processo de ressuspensão pela entrada da cunha salina no estuário do rio Macaé, enquanto no estuário do rio das Ostras essa distribuição foi mais homogênea, sendo a ausência da estratificação relacionada à menor profundidade deste estuário.

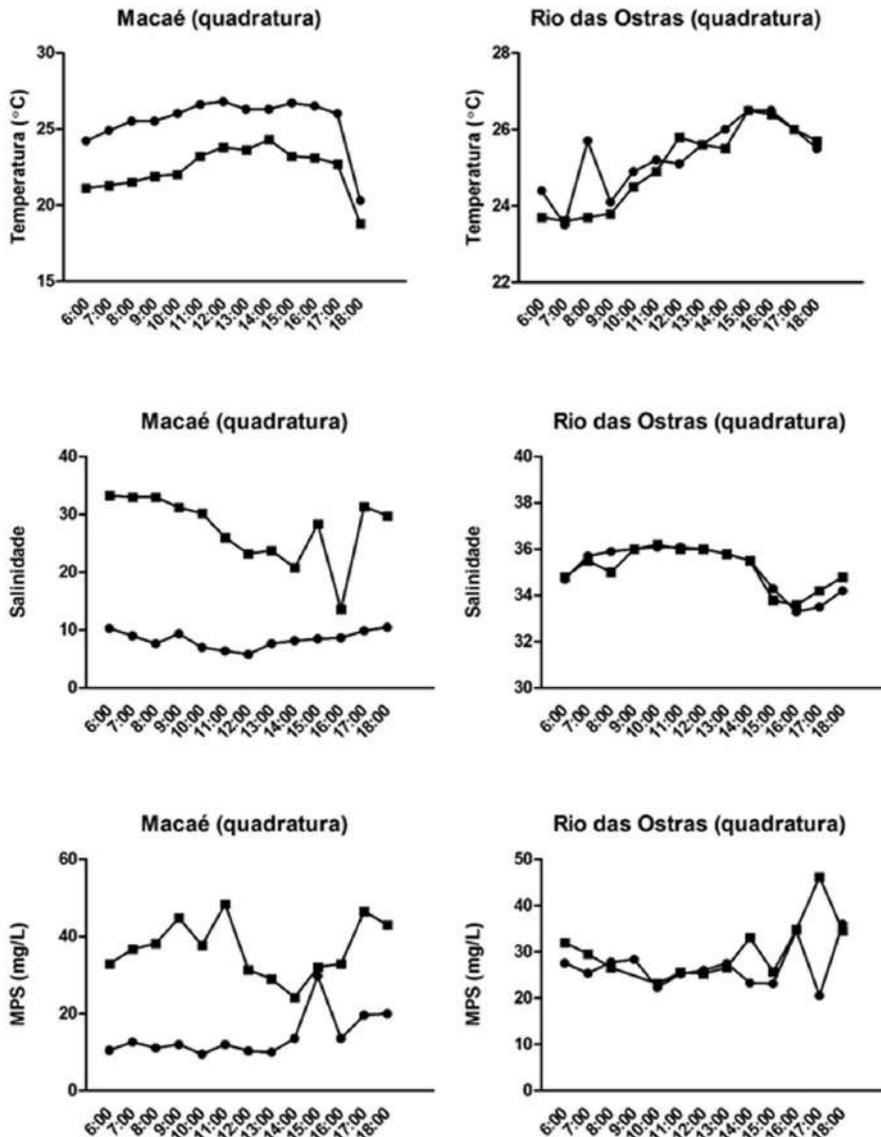


Figura 3 - Variação horária de parâmetros físico-químicos ao longo de um ciclo de maré de quadratura nos estuários dos rios Macaé e das Ostras

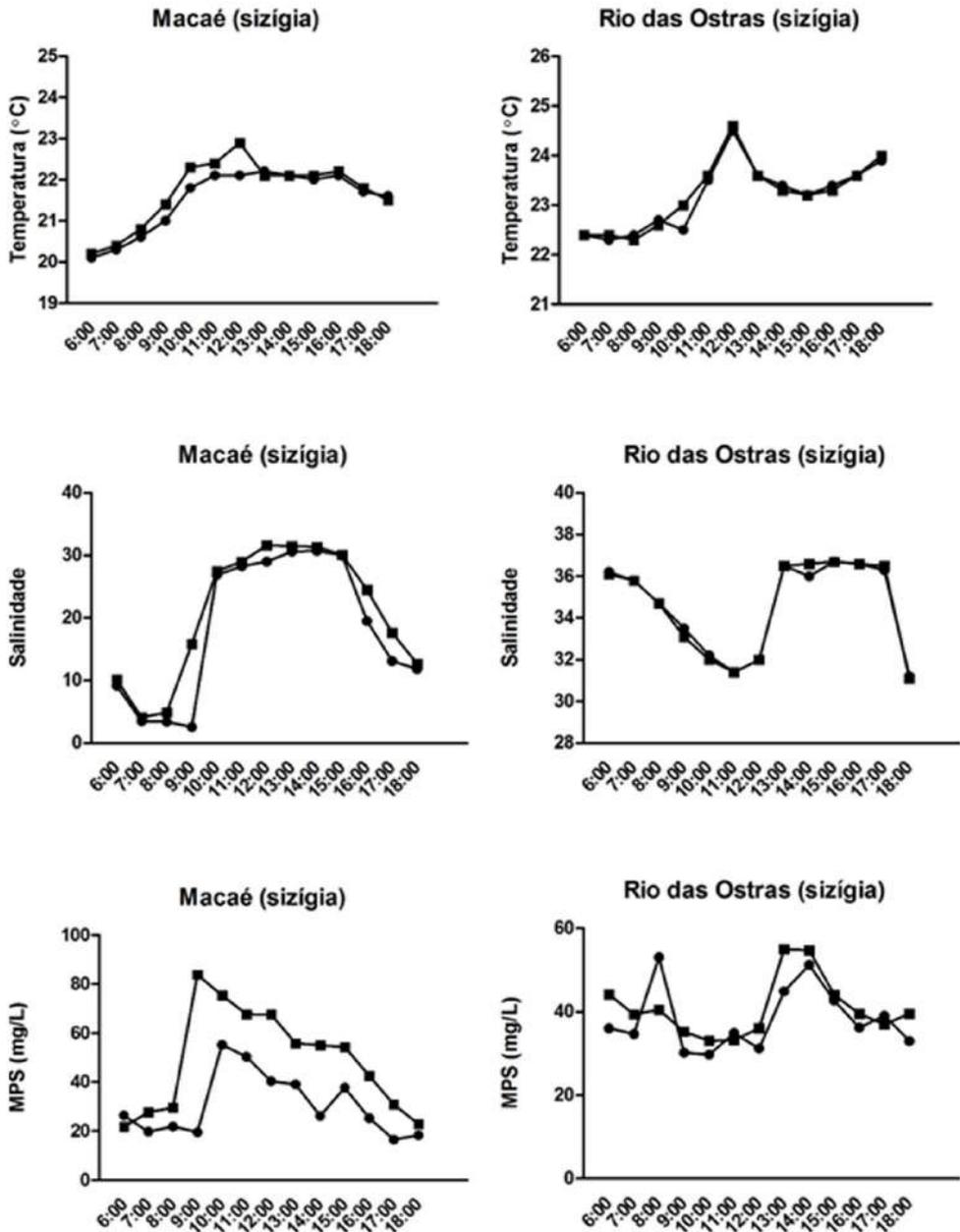


Figura 4 - Variação horária de parâmetros físico-químicos ao longo de um ciclo de maré de sizigia nos estuários dos rios Macaé e das Ostras

Em uma condição estratificada típica de estuários forçados por descarga fluvial moderada com amplitude de maré pequena, como o do rio Macaé, presume-se que o entranhamento seja o mecanismo predominante de transferência de água diante do perfil vertical de salinidade e velocidade, característico desse tipo de estuário⁹⁰. Em estuários bem misturados, como o estuário do rio das Ostras, que foi caracterizado como verticalmente homogêneo nas duas marés consecutivas, os mecanismos de mistura preponderantes são de natureza advectiva e por difusão turbulenta, que permitem a homogeneização vertical, com o aumento da salinidade na superfície da coluna d'água e a onda de maré se estendendo por longas distâncias estuário acima⁹¹.

As Figuras 5 e 6 apresentam a variação horária das concentrações de nutrientes ao longo dos ciclos de marés de quadratura e sizígia para ambos os estuários. Segundo essa comparação, os teores de nutrientes foram similares, à exceção da amônia e do fósforo total, que foram maiores no estuário do rio Macaé (Tabela 1).

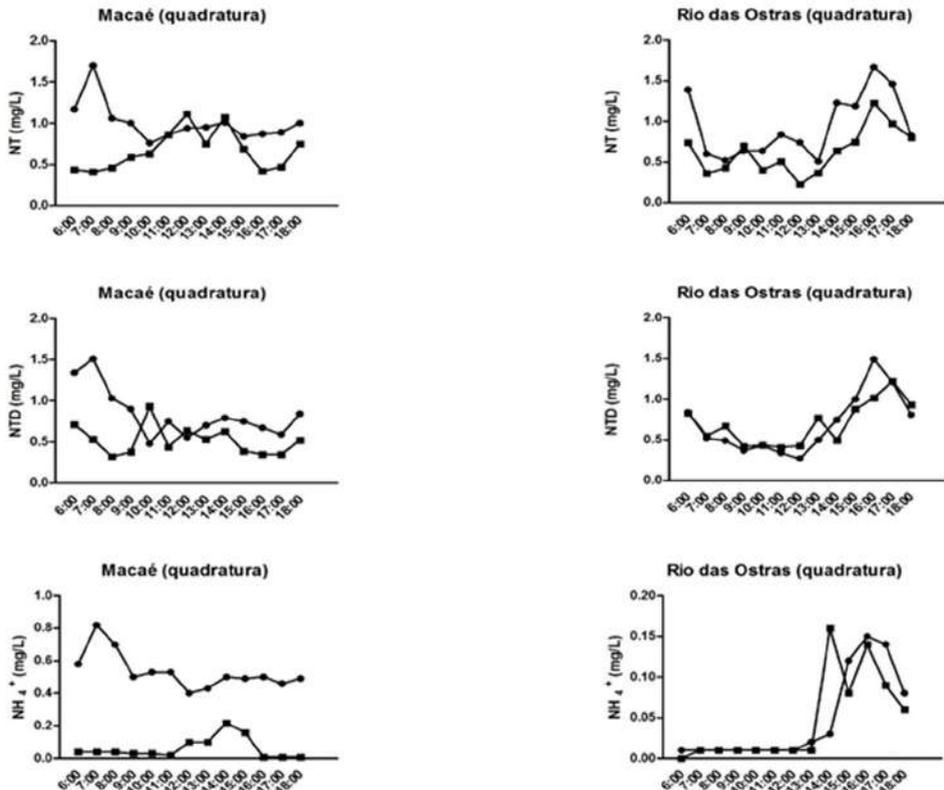


Figura 5 - Variação horária de nutrientes ao longo de um ciclo de maré de quadratura nos estuários dos rios Macaé e das Ostras contínua

⁹⁰ MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.

⁹¹ DYER, K.R. Tides in Estuaries. In: DYER, K.R. (ed.). **A Physical Introduction**. 2nd ed., op. cit.

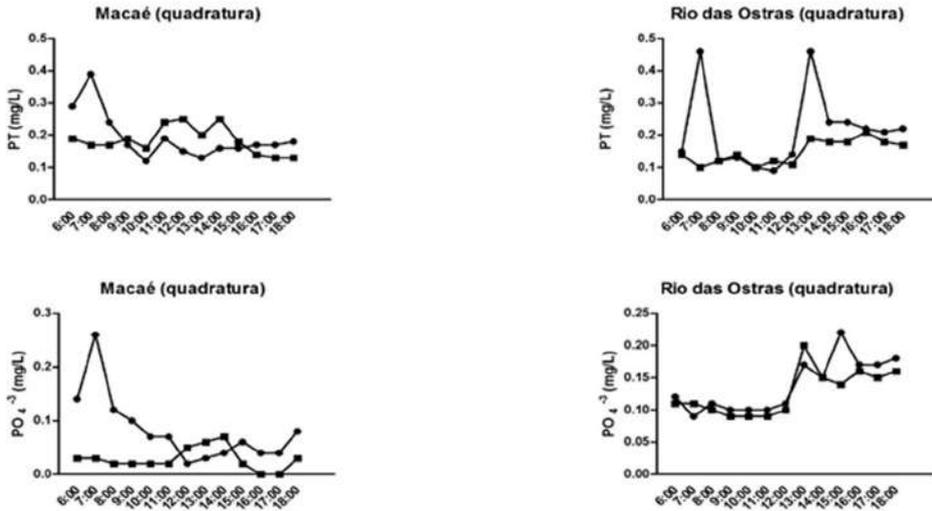


Figura 5 - Variação horária de nutrientes ao longo de um ciclo de maré de quadratura nos estuários dos rios Macaé e das Ostras conclusão

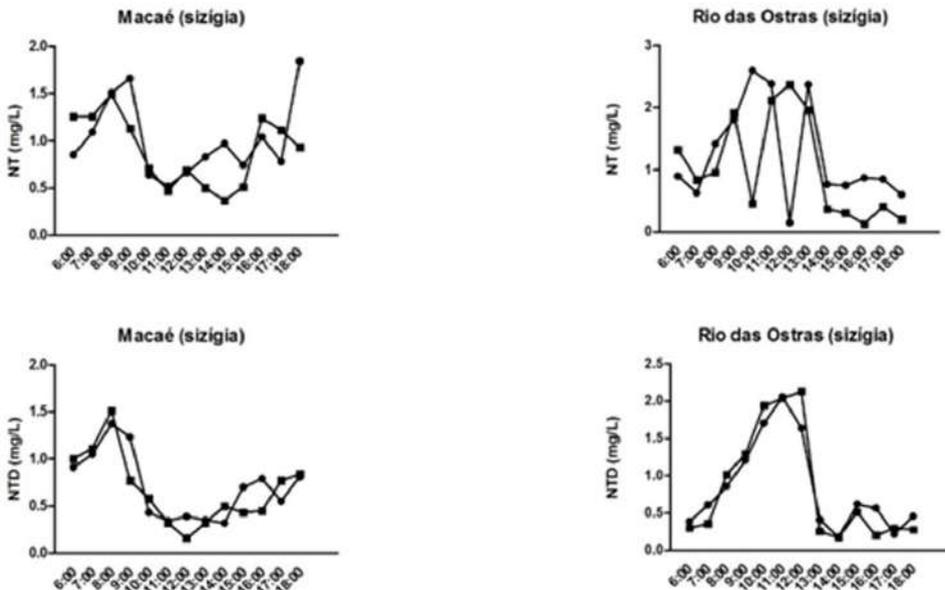


Figura 6 - Variação horária de nutrientes ao longo de um ciclo de maré de sizígia nos estuários dos rios Macaé e das Ostras continua

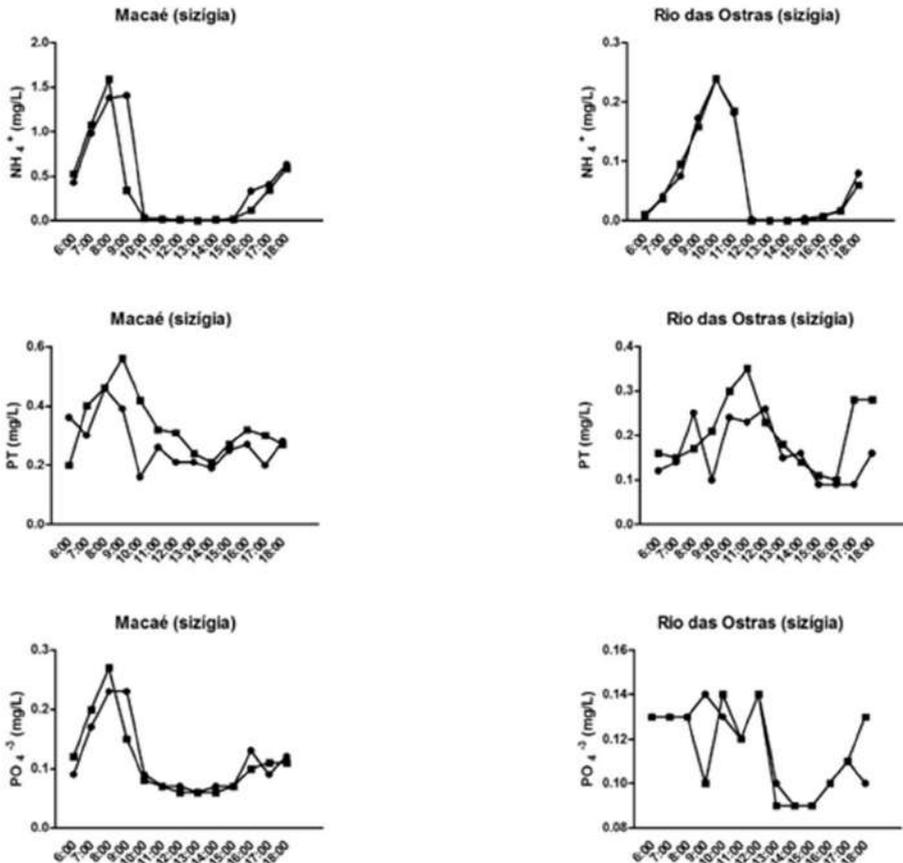


Figura 6 - Variação horária de nutrientes ao longo de um ciclo de maré de sizígia nos estuários dos rios Macaé e das Ostras conclusão

Em geral, pode-se observar ausência de estratificação química dos nutrientes no estuário do rio das Ostras, enquanto no estuário do rio Macaé essa estratificação é mais aparente na maré de quadratura, estando a coluna d'água mais homogênea na maré de sizígia. As análises de correlação mostram uma relação estatisticamente inversa entre salinidade e os nutrientes analisados, indicando um efeito de diluição pela entrada da água marinha em ambos os estuários.

Diante da disponibilidade de nutrientes dissolvidos e de outros fatores, como turbidez, a biomassa de fitoplâncton foi avaliada por meio das concentrações de clorofila α . Como mencionado, a produção primária foi superior no estuário do rio Macaé, se comparada com a do estuário do rio das Ostras, provavelmente devido à maior disponibilidade de nutrientes. Em geral, não foi observada correlação entre salinidade (maré) e as concentrações de clorofila α , à exceção do observado no estuário do rio das Ostras, na maré de quadratura, sugerindo que a produção primária aumenta à medida que as águas marinhas adentram o estuário, possivelmente por diminuição da turbidez da água.

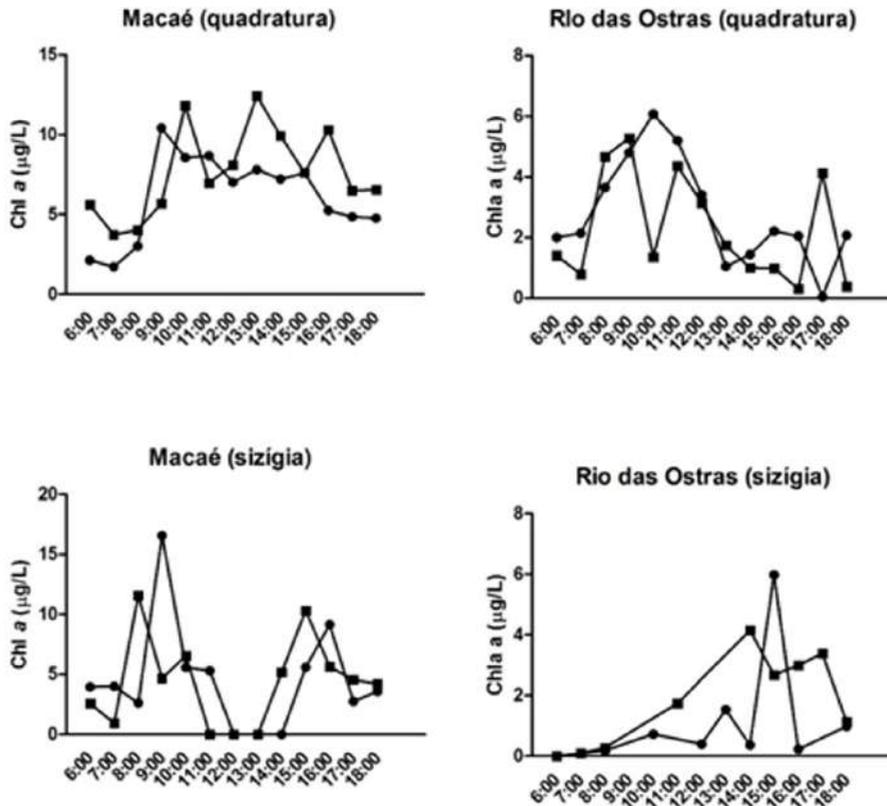


Figura 7 - Variação horária de clorofila α ao longo de um ciclo de maré de quadratura e sizígia nos estuários dos rios Macaé e das Ostras

Por fim, os estuários foram comparados em relação aos fluxos oriundos das respectivas bacias hidrográficas; aos fluxos de enchente e vazante (e balanço) em cada estuário; e, por fim, aos balanços dos fluxos resultantes dos aportes fluviais e estuarinos, avaliando a capacidade de exportação dos materiais para a zona costeira ou de retenção nos estuários. As Tabelas 3 e 4 apresentam esses fluxos, que demonstraram a capacidade de retenção dos nutrientes e partículas em suspensão pelos estuários, à exceção dos nutrientes que foram exportados pelo estuário do rio Macaé, na maré de sizígia, para a costa; e para PO_4^{3-} no estuário do rio das Ostras, também exportado para a zona costeira, na maré de sizígia. As maiores retenções de nitrogênio e suas formas foram observadas no estuário do rio das Ostras, enquanto no estuário do rio Macaé as maiores taxas de retenção foram observadas para fósforo e partículas em suspensão. Esse cenário demonstra a suscetibilidade dos estuários à eutrofização e ao assoreamento devido à capacidade de retenção dos estuários do aporte de suas bacias

hidrográficas. Porém, a capacidade de retenção dos estuários pode gerar um cenário de poluição por outros materiais com impactos, por exemplo, na biodiversidade. O estudo de Berenguer *et al.* (no prelo) sugere que bagres (*Genidens genidens*) do estuário do rio Macaé respondem à contaminação por derivados de petróleo produzindo enzimas de detoxificação, da mesma forma que mexilhões *Perna perna* coletados nessa região também confirmam um cenário de contaminação avançado, devido aos elevados níveis de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) na biomassa desses bivalves⁹². Esse cenário reflete a carga de derivados de petróleo lançados no estuário, porém associada à capacidade de retenção do estuário, que aumenta o tempo de residência desses contaminantes mantendo-os disponíveis para incorporação pela biota.

Tabela 3 - Fluxos fluviais instantâneos, fluxos residuais no estuário e balanço de massa entre bacia do rio Macaé e zona costeira em diferentes marés*

	Rio Macaé	Estuário	Rio das Ostras		Estuário
			Rio Iriri	Rio Jundiá	
Vazão	12 ± 2,7	34 ± 18	0,72 ± 0,1	2,4 ± 0,3	4,1 ± 4,5
Salinidade	0 ± 0	19 ± 0,7	0,35 ± 0,1	10 ± 13	34 ± 0,7
pH	6,5 ± 0,7	8,0 ± 0,1	5,4 ± 1,6	5,3 ± 0,4	7,6 ± 1,1
O ₂ dissolvido	6,2 ± 0,1	7,5 ± 0,6	6,0 ± 1,4	7,3 ± 3,9	5,5 ± 0,04
MPS	5,8 ± 1,0	32 ± 11	5,1 ± 0	5,1 ± 0	33 ± 7,8
NT	0,33 ± 0,1	0,90 ± 0,1	2,7 ± 0,8	4,1 ± 0,4	0,96 ± 0,25
NTD	0,20 ± 0	0,73 ± 0,01	2,3 ± 0,6	3,3 ± 0,1	0,77 ± 0,1
NH ₄ ⁺	0,035 ± 0,02	0,35 ± 0,1	0,86 ± 0,2	1,74 ± 0,020	0,07 ± 0,02
PT	0,070 ± 0	0,25 ± 0,1	0,10 ± 0	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,11
PO ₄ ³⁻	0,025 ± 0	0,09 ± 0,04	0,035 ± 0	0,07 ± 0,01	0,13 ± 0,01
N:P	4,7 ± 1,1	8,6 ± 1,9	71 ± 16	46 ± 10	13 ± 3,1
Chl a	2,9 ± 0	5,5 ± 2,1	-	21,6 ± 0	2,1 ± 0,6

* Unidade (g/s), fluxos residuais no estuário (g/s): balanço entre as marés de enchente e vazante (- retenção; + exportação), balanço para bacia do rio Macaé: (R) retenção no estuário (E) exportação para a zona costeira.

Da mesma forma, esses balanços mostram as diferenças entre os estuários no caso da capacidade de exportação do rio Macaé, indicando que essa bacia hidrográfica tem uma maior influência na zona costeira, por exemplo, na fertilização por nutrientes que podem sustentar a produção primária e biológica da região. Por outro lado, essa exportação é associada à influência de fontes antrópicas, que são responsáveis pela maior parte dos nutrientes lançados na bacia do rio Macaé⁹³ que atingem o estuário e a zona costeira em marés de alta amplitude, podendo contribuir para um cenário de eutrofização costeira. Por outro lado, o estuário do rio das Ostras tem uma contribuição para a zona costeira restrita, sendo mais impactado devido à sua capacidade de retenção dos materiais fluviais.

⁹² SANTIAGO, I.U. *et al.* Hydrocarbons and trace metals in mussels in the Macaé coast: Preliminary assessment for a coastal zone under influence of offshore oil field exploration in southeastern Brazil, *op. cit.*

⁹³ Molisani, M.M. *et al.* Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos, *op. cit.*

Tabela 4 - Fluxos fluviais instantâneos, fluxos residuais no estuário e balanço de massa entre bacia do rio das Ostras e zona costeira em diferentes marés*

	Quadratura			Sizígia		
	Fluvial	Estuário	Balanço	Fluvial	Estuário	Balanço
MPS	15	-33	47 (R)	16,9	-23	40 (R)
NT	10	-0,98	11 (R)	10,9	-2,47	13 (R)
NTD	8,5	-0,84	9,4 (R)	8,69	-0,97	9,7 (R)
NH ₄ ⁺	3,6	-0,025	3,4 (R)	4,53	-0,39	4,9 (R)
PT	0,26	-0,15	0,41 (R)	0,30	0,14	0,16 (R)
PO ₄ ³⁻	0,16	-0,13	0,29 (R)	0,17	0,19	0,02 (E)

*Unidade (g/s), fluxos residuais no estuário (g/s): balanço entre as marés de enchente e vazante (- retenção; + exportação), balanço para bacia do rio das Ostras: (R) retenção no estuário (E) exportação para a zona costeira.

Quando analisamos as condições de pequenos estuários da costa brasileira, como os dos rios Cocó, Pacoti, Pirangi (CE), Curimataú (RN), Barra das Jangadas (PE), Caravelas (BA), Cananéia-Iguapé (SP), Santos - São Vicente (SP), Camboriú, Tavares, Perequê e Defuntos (SC) podemos apontar faixas de variação de salinidade (1,7 - 39), NH₄⁺ (0,48 - 45 μmol/L), PO₄³⁻ (0,01 - 8,67 μmol/L), MPS (8,0 - 173 mg/L) e clorofila *a* (0,76 - 61 μg/L)^{94,95,96,97,98,99,100,101,102}. Quando comparamos esses valores com os observados nos estuários dos rios Macaé e das Ostras, situamos estes dois ambientes costeiros como não impactados ou moderadamente impactados, indicando que esforços de gestão ambiental, como o controle e tratamento das emissões de efluentes de atividades humanas, devem ocorrer logo, pois irão manter as condições ainda pristinas ou reverter condições moderadamente adversas que podem ser mais facilmente revertidas. Por outro lado, as concentrações máximas de NH₄⁺ (67 μmol/L) no estuário do rio Macaé foram superiores à faixa reportada para os estuários, indicando um cenário de contaminação por esse composto nitrogenado que pode ser tóxico à biota e que reflete o aporte de esgoto doméstico não tratado no estuário.

⁹⁴ MIRANDA, L. B.; BERGAMO, A. L.; CASTRO, B.M. Interactions of river discharge and tidal modulation in a tropical estuary, NE Brazil. **Ocean Dynamics**, v.55, p. 430-440, 2005.

⁹⁵ SCHETTINI, C. A. F.; PEREIRA F; SPILLERE, L. Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos estuários dos rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubá, Florianópolis, SC. **Notas Técnicas Facimar**, v.4, p. 11-28, 2000.

⁹⁶ Pereira Filho, J. et al. Intratidal variation and net Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and Chlorophyll a in the Camboriú River Estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.53, p. 249-257, 2001.

⁹⁷ Noriega, C. D. et al. Distribuição Espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas, Pernambuco, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.38, p. 5-18, 2005.

⁹⁸ AZEVEDO J.S.; BRAGA, E.S. Caracterização hidroquímica para qualificação ambiental dos estuários de Santos-São Vicente e Cananéia. **Arquivo de Ciências do Mar**, 44: 52-61, 2011.

⁹⁹ BERBEL, G.B.B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e plataforma continental sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímica**. 2008. 283 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 2008.

¹⁰⁰ CHIOZZINI, V. G. et al. Tide influence on hydrochemical parameters in two coastal regions of São Paulo (Brazil) under different environmental occupations. In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, July 25-28 2010.

¹⁰¹ FONSECA, L.V. **Capacidade de retenção de Fósforo e Material Particulado em Suspensão por Manguezal de Área Impactada por Efluentes da Carcinocultura**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar, 2009.

¹⁰² SIGNORIN, M.; PEREIRA-FILHO, J.; DELFIM, R.; SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e nutrientes inorgânicos dissolvidos no estuário do rio Perequê, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.14, p. 11-19, 2010.

Conclusão

Os estuários dos rios Macaé e das Ostras são classificados como de planícies costeiras (vale inundado), dominados por micromarés semidiurnas, sendo o estuário do rio Macaé influenciado pela drenagem fluvial e estratificado e/ou não estratificado (dependendo da maré); enquanto o do rio das Ostras é dominado pela ação de marés, sendo não estratificado. Porém, mesmo que a literatura classifique ambos os estuários como de pequenas dimensões e alimentados por pequenas bacias hidrográficas, a diferença de uma ordem de grandeza na área das bacias contribuintes é suficiente para inserir importantes diferenças nos estuários relativas à hidroquímica, produção primária do fitoplâncton e no fluxo de materiais entre o continente e o oceano. Entre as diferenças, podemos observar os maiores fluxos de água e menores concentrações de nutrientes na porção inferior do rio Macaé, enquanto no estuário foram observados maiores fluxos de águas salobras, mais oxigenadas e com maiores concentrações de amônia, fósforo total e clorofila α (produção primária), sendo que o estuário pode tanto reter materiais fluviais, principalmente partículas, quanto exportá-los para a zona costeira. Já a bacia inferior do rio das Ostras teve menores fluxos de águas, maiores concentrações de nutrientes e apresentação de águas salobras e menos oxigenadas, enquanto o estuário teve menores fluxos de água, sendo as águas estuarinas tipicamente salinas, com menores ou similares concentrações de nutrientes, menores teores de clorofila α , sendo que o estuário sempre retém materiais fluviais. Esse cenário aponta suscetibilidades diferentes para cada estuário aos impactos antrópicos, como possíveis eventos de redução de oxigênio no estuário do rio das Ostras devido à sua característica hidrodinâmica e à emissão de esgoto sem tratamento, enquanto no estuário do rio Macaé pode-se propor a poluição por amônia e a possibilidade de eutrofização pelo aporte de nutrientes de origem antrópica, principalmente pelo esgoto não tratado. Porém, ainda podemos classificar esses ambientes como pouco ou moderadamente poluídos, o que torna urgentes medidas de gestão que visem manter as condições pristinas ou reverter as condições deletérias que ainda não se estabeleceram em definitivo.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela FAPERJ (E-26/010-002008/2015) e pelo Comitê de Bacias Hidrográficas Macaé-Ostras. O Iate Clube de Macaé disponibilizou suas dependências para as coletas em Macaé.

CONHECIMENTOS ECOLÓGICOS NO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM CLASSES DE QUALIDADE

Jamile de Almeida Marques da Silva (UFRJ) • Frederico Meirelles-Pereira (UFRJ)
Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ) • Rosa Maria Formiga-Johnsson (UERJ)

Introdução

A partir de 1960, evidenciou-se que a ciência e a tecnologia, inicialmente tão promissoras e garantidoras da qualidade de vida humana, não conseguiriam livrar-nos de algumas mazelas que nos acometem desde o início de nossa existência. Percebemos que a miséria, as doenças, as guerras, a fome e a pobreza não seriam eliminadas mesmo que houvesse toda tecnologia e ciência disponíveis¹. A promessa de modernidade, iniciada no século XV por meio de um conjunto de transformações culturais, artísticas, políticas, econômicas e filosóficas que se diziam capazes de nos libertar das limitações impostas pelos recursos naturais, simplesmente não se concretizaram na prática. Descobrimos, com o avançar das décadas, que seria necessário rever alguns conceitos civilizatórios que até então eram inquestionáveis e repensar se a ciência e a tecnologia sozinhas seriam suficientes para dirimir as complexas causas das mazelas ambientais.

O cenário descrito acima desafia sobremaneira a capacidade gerencial dos recursos naturais, e em especial dos recursos hídricos. Em 2009, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), aplicando o método da Prospectiva Exploratória², elaborou cenários para 2020 considerando três situações: que haverá água para todos, para alguns ou para poucos. Para os cenários propostos pelo MMA, existem algumas condições que não sofrerão variação e precisam ser consideradas qualquer que seja o cenário que venha a se concretizar no futuro. São elas: 1) o crescimento dos problemas de saneamento ambiental; 2) a expansão das atividades rurais (particularmente da irrigação); 3) a implantação de hidrelétricas, ainda que de modo condicionado pelas exigências ambientais, de transporte aquaviário, de múltiplo uso e de respeito às populações atingidas; 4) a necessidade de conservação de aquíferos estratégicos, especialmente o Aquífero Guarani; 5) o perigo de que o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) seja

¹ QUINTAS, J.S. Educação no processo de gestão ambiental pública: a construção do ato pedagógico. In: LOUREIRO, C.F.B.; LAYRARGUES, P.P.; CASTRO, R.S (orgs.). **Repensar a Educação Ambiental**: um olhar crítico. São Paulo: Cortez, 2009.

² BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Águas do Brasil, Águas para o Futuro**. Cenário para 2020. Brasília, 2009.

burocratizado e perca operatividade; 6) a necessidade de conhecimentos, bem como de desenvolvimento e adoção de novas técnicas de utilização dos recursos hídricos e de tratamento de efluentes; e 7) os investimentos para o manejo eficaz dos recursos hídricos.

Em tempos em que a vulnerabilidade ecológica dos recursos naturais aumenta significativamente e, por isso, é reconhecida pelos órgãos gestores, cresce também a demanda pela aplicação prática dos conhecimentos acadêmicos no cotidiano de instituições políticas e colegiados, como os comitês de bacias hidrográficas. A motivação para esta pesquisa, portanto, é a crença de que as instituições acadêmicas, como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), devem de fato assumir a responsabilidade de qualificar os recursos humanos dos diversos segmentos da sociedade e não apenas a comunidade escolar. Seu protagonismo deve residir ainda na contribuição para popularizar a importância da implementação do enquadramento dos corpos hídricos enquanto garantidor e restaurador da qualidade ambiental das regiões hidrográficas. Nesse sentido, os autores mostram a relevância desta pesquisa, uma vez que culmina com a caracterização dos conhecimentos ecológicos utilizados para qualificar a gestão dos recursos hídricos, principalmente o processo de enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade. Propõe-se desenvolver um elo concreto entre a Universidade e a sociedade para a gestão de recursos naturais.

Caracteriza-se este trabalho como uma contribuição ao conhecimento produzido até o momento acerca do enquadramento dos corpos hídricos. Principalmente, porque utiliza a Ecologia como foco para a gestão da qualidade dos ecossistemas aquáticos, assim como fazem os países que se destacam na gestão dos recursos hídricos.

Metodologia

Para caracterizar o pensamento atualmente mais aceito na literatura acerca das bases conceituais utilizadas neste trabalho, foi realizada uma pesquisa documental. Essa pesquisa envolveu a literatura existente sobre o enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade. Além disso, realizou-se pesquisa documental para caracterizar os conhecimentos ecológicos relacionados ao processo de enquadramento dos recursos hídricos que devem ser compreendidos para possibilitar a participação qualificada na gestão das águas. A Figura 1 representa, esquematicamente, a metodologia utilizada durante a pesquisa.



Figura 1 - Representação esquemática da metodologia utilizada durante a pesquisa

Resultado e Discussão

Enquadramento dos corpos d'água em classes de qualidade

O amadurecimento da legislação brasileira com relação à gestão dos recursos hídricos culmina na determinação legal do enquadramento enquanto um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Com a institucionalização dessa importante ferramenta, o poder público buscou promover a melhoria e a manutenção da qualidade dos corpos d'água. Portanto, o enquadramento representa um bom indicador da mudança de paradigma ocorrida no modelo de gestão dos recursos hídricos brasileiros. Aplicando o novo modelo de gestão dos recursos hídricos, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) buscou diminuir os custos de combate à poluição utilizando ações preventivas permanentes³. Nesse sentido, o enquadramento é a melhor ferramenta para articular os instrumentos de gestão visando integrar a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos⁴. A definição conceitual de enquadramento adotada nesta pesquisa é a mesma apresentada na PNRH, em que o instrumento é descrito como o:

estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançada ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo⁵.

A década de 1970 foi importante para a gênese do novo modelo de gestão das águas, uma vez que se iniciaram as discussões sobre a gestão descentralizada dos recursos hídricos. Foi importante também para o enquadramento em âmbito federal em função do Ministério do Interior ter emitido em 15 de janeiro de 1976 a Portaria nº 13. Essa Portaria definia o sistema de classificação da qualidade da água para águas doces de acordo com os usos preponderantes em nível federal, possuindo a finalidade exclusiva de atender padrões de balneabilidade e recreação⁶.

Alguns corpos d'água, como os da bacia dos rios Piracicaba-Capivari-Jundiá (1977), os da bacia do Rio Paranapanema (1980) e os da bacia do Rio Paraíba do Sul (1981), foram enquadrados tendo como base as orientações dessa Portaria.

Em 1981, a promulgação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) possibilitou a formulação de novas normativas direcionadas à gestão das águas. Diante de um processo de amadurecimento legal sobre a qualidade dos recursos hídricos, era inevitável a revisão da Portaria nº 13/1976, sendo ela revogada pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)⁷ nº 20, de 18 de junho de 1986.

³ BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília 1997.

⁴ DINIZ, L.T. et al. Integração da Gestão de Água e o Enquadramento. In: WORKSHOP SOBRE GESTÃO ESTRATÉGICA DE RECURSOS HÍDRICOS, 2006. Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2006.

⁵ BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, op. cit.

⁶ DINIZ, L.T. et al. O Enquadramento de Cursos d'Água na Legislação Brasileira. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 1., 27-29 agosto 2006. Curitiba, PR, Brasil. Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2006.

⁷ BRASIL. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília 1986.

A resolução CONAMA nº 20/1986 estabeleceu novas competências e obrigações aos órgãos ambientais, pois deveriam garantir, então, não só a quantidade mas também a qualidade dos recursos hídricos brasileiros. A resolução propôs nova classificação para as águas doces, salobras e salinas, elevando para nove o número de classes de qualidade de água, e propôs diversos parâmetros de qualidade para auxiliar o processo de enquadramento. Sobre a resolução CONAMA nº 20/1986, Diniz *et al.*⁸ acreditam que a mesma representou um marco no sistema de enquadramento das águas brasileiras, já que pela primeira vez um diploma regulatório nacional conceituou o que seriam os padrões e condições de qualidade da água.

Com a promulgação da PNRH em 1997, da resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)⁹ no 12/2000 (que dispunha sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos) e da resolução CONAMA¹⁰ no 274/2000 (que define critérios de balneabilidade em águas brasileiras), percebeu-se a demanda nacional para a revisão da CONAMA no 20/1986. A nova resolução CONAMA¹¹ no 357 de 17 de março de 2005 revogou a resolução CONAMA no 20/1986 e incorporou aspectos conceituais que não apareciam no marco regulatório anterior¹². A CONAMA no 357/2005 definiu padrões mais protetivos para a qualidade das águas, observando as recomendações feitas pela Constituição Federal de 1988¹³ e pela PNRH, que proibiram o lançamento de efluentes poluidores em níveis considerados nocivos aos seres humanos e a outras formas de vida.

Cada categoria de uso previsto na resolução CONAMA¹⁴ no 357/2005 está condicionada a um conjunto de parâmetros que devem ser respeitados em seus limites máximos. Coube a essa resolução estabelecer, ainda, as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água. Os padrões de qualidade da água representam limites máximos e mínimos para a emissão de cada substância em cada uma das classes de enquadramento.

As maiores modificações percebidas na resolução CONAMA nº 357/2005 foram com relação aos parâmetros de qualidade química, sendo adicionados dezenove novos parâmetros. Para a readequação dos parâmetros já existentes na CONAMA nº 20/1986, alguns padrões foram utilizados a título de referência. Para padrões mais protetivos e rigorosos, por exemplo, utilizaram-se valores de países como Estados Unidos e Austrália. Para padrões mais próximos à realidade socioeconômica brasileira, adotaram-se valores utilizados em países como a África do Sul¹⁵.

⁸ DINIZ, L.T. *et al.* O Enquadramento de Cursos d'Água na Legislação Brasileira, *op. cit.*

⁹ BRASIL. Resolução CNRH no 12, de 19 de julho de 2000. Dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Brasília 2000.

¹⁰ BRASIL. Resolução CONAMA no 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**, Brasília 2001.

¹¹ BRASIL. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União**, Brasília 2005.

¹² COSTA, M. P.; BRANDÃO, V. S. Enquadramento dos corpos d'água no Brasil – situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 25-29 nov. 2007, São Paulo, SP, Brasil.

¹³ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil de 1988**.

¹⁴ BRASIL. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União**, Brasília 2005.

¹⁵ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Avaliação dos valores máximos estabelecidos para os parâmetros das classes de água**. Brasília, 2004.

A maioria dos parâmetros, como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH e oxigênio dissolvido (OD), permaneceram com o mesmo padrão de qualidade definido pela CONAMA nº 20/1986. Em contrapartida, ocorreu aumento de exigência para alguns parâmetros específicos. Para parâmetros microbiológicos, como coliformes termotolerantes, houve alteração em todas as classes e foi exigido aumento no número de coletas com frequência bimestral. Foi eliminada a possibilidade de flexibilizar os valores limite para esse parâmetro sob alegação de dificuldade laboratorial para detecção.

Com relação aos parâmetros biológicos, foi incluída a densidade de cianobactérias em função de sua relevância para a caracterização da condição trófica dos ambientes aquáticos. Percebeu-se a necessidade do desenvolvimento de novos métodos de coleta e análise da água para que os órgãos responsáveis pudessem realizar o monitoramento e o controle da qualidade das águas. O aumento na quantidade de parâmetros de qualidade mostrou-se relevante para corroborar as iniciativas de penalização e/ou embargo das atividades poluidoras.

Diniz *et al.*¹⁶ acreditam que a PNRH trouxe protagonismo ao processo de enquadramento, definindo-o como principal ferramenta de integração entre os demais instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos. Isso dentro de uma perspectiva de planejamento descentralizado e participativo, adotando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento dos recursos hídricos. É de extrema importância ressaltar que, até a promulgação da PNRH, não era prerrogativa legal envolver a população no processo de enquadramento.

As metas progressivas de melhoria da qualidade das águas previstas no processo de enquadramento devem expressar o objetivo de uso público dos recursos hídricos pela comunidade e, por isto, devem dialogar com todos os aspectos que envolvem o cotidiano da população na bacia hidrográfica¹⁷. Ao serem propostas, não podem deixar de salvaguardar aspectos ambientais, técnicos, econômicos, sociais e políticos. Corroborando a constatação de Medeiros *et al.*¹⁸, Costa e Conejo¹⁹ afirmam que o enquadramento é influenciado por questões técnicas, econômicas, sociais e políticas. Portanto, o processo de enquadramento das águas deve considerar todas essas feições para que as metas progressivas de melhoria da qualidade das águas sejam de fato alcançáveis no horizonte de planejamento determinado.

Sobre as metas de qualidade de água indicadas pelo enquadramento, Costa e Brandão²⁰ acreditam que elas representam a expressão dos objetivos públicos para a gestão dos recursos hídricos, e a velocidade de seu alcance está relacionada com a magnitude do passivo ambiental existente e/ou com a disponibilidade de recursos financeiros para a reversão do impacto ambiental. É importante atentar-se para os efeitos colaterais indesejáveis de se proporem metas muito ambiciosas ou muito modestas para

¹⁶ DINIZ, L.T. *et al.* O Enquadramento de Cursos d'Água na Legislação Brasileira. *op. cit.*

¹⁷ MEDEIROS *et al.* Aspectos legais do enquadramento de águas superficiais e subterrâneas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 16 e 19 nov. 2010, Fortaleza, CE, Brasil.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ COSTA, M. P.; CONEJO, J. G. L. A. Implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 22-26 nov. 2009, Campo Grande, MS, Brasil.

²⁰ COSTA, M. P.; BRANDÃO, V. S. Enquadramento dos corpos d'água no Brasil: situação atual e perspectivas. *op. cit.*

o enquadramento de corpos d'água. Metas muito ambiciosas implicam intervenções de alto custo e de difícil realização. Em contrapartida, metas muito modestas podem tornar irreversíveis algumas condições de degradação qualitativa das águas, impossibilitando os usos múltiplos dos recursos hídricos²¹.

Com relação às metas de enquadramento, Porto²² acredita ser necessário que o Brasil planeje e otimize os investimentos, buscando priorizar corretamente as ações e definir metas realizáveis. É preciso ter em vista que os custos financeiros inerentes à implantação de um amplo programa de gestão de qualidade de água dependem do que se objetiva em termos de qualidade para os recursos hídricos e que o investimento é, em geral, bastante alto.

O processo de enquadramento prevê “ampla participação da comunidade da bacia hidrográfica, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho e outros”²³. Mediante informações coletadas na etapa de diagnóstico e os cenários desenvolvidos no prognóstico, são elaboradas as alternativas de enquadramento para os corpos hídricos da bacia.

É importante que nas consultas públicas estejam representados os mais variados integrantes da bacia, como representantes de órgãos públicos, empresas, lideranças municipais, pescadores, organizações não governamentais (ONGs), agricultores e a população em geral (mesmo que não esteja organizada em representações de classe). É fundamental que todos os segmentos tragam para a discussão a forma com que se relacionam (de maneira regularizada ou não) com os recursos hídricos no presente e suas visões de futuro para a bacia. Para que todos entendam claramente o que está sendo posto em debate, os interlocutores das Agências de Bacia, das Delegatárias, dos órgãos de meio ambiente, dos órgãos de recursos hídricos e os pesquisadores precisam ser hábeis em transformar termos técnico-científicos em linguagem acessível ao entendimento do público em geral. Costa e Conejo²⁴ apontam que envolver a participação pública no processo de enquadramento geralmente aumenta o tempo de elaboração da proposta. Em compensação, agrega benefícios importantes, como o apoio público durante o processo de enquadramento e em relação ao resultado final.

O processo de enquadramento configura-se, portanto, em prática decisória e participativa, em que discussões sobre a qualidade das águas, a carga poluidora e os custos para redução dessa carga são realizadas. Nesse contexto, realizam-se reflexões sobre o desejo da população (“água que queremos ter”) e as reais possibilidades de manejo (“água que podemos ter”). Porto²⁵ resume em três itens as características do enquadramento enquanto instrumento de planejamento: 1) força o olhar holístico para a bacia, uma vez que, para a identificação dos usos prioritários por trecho, é necessária a

²¹ COSTA, M. P.; CONEJO, J. G. L. A. Implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimento, *op. cit.*

²² PORTO, M.F.A. **Sistemas de gestão da qualidade das águas**: uma proposta para o caso brasileiro. 2002. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2002.

²³ BRASIL. Resolução CNRH no 91, de 05 de novembro de 2008. Institui os procedimentos para o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, *op. cit.*

²⁴ COSTA, M. P.; CONEJO, J. G. L. A. Implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimento, *op. cit.*

²⁵ PORTO, M.F.A. Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro, *op. cit.*

compreensão de todo o sistema hídrico em macroescala; 2) faz parte do Plano de Bacia, na tentativa de garantir a integração entre aspectos qualitativos e quantitativos do uso dos recursos hídricos; e 3) simboliza visão de um futuro para a bacia que será alcançada se as metas de qualidade de água forem atingidas no prazo estipulado.

Apesar de todo esforço legislativo para conceber normatizações processuais e parâmetros de qualidade da água, existem limites impostos à recuperação dos ecossistemas aquáticos e ao alcance da meta final de enquadramento. Portanto, a distância entre a “água que queremos ter” e a “água que podemos ter” é fruto desses limites. Essas restrições são de cunho principalmente político, uma vez que a efetiva operação desse instrumento de planejamento não está sendo priorizada pelos órgãos gestores de recursos hídricos brasileiros. Outra limitação é de cunho técnico. Como exemplo, citamos a constatação do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim²⁶, que evidenciou essa limitação quando concluiu ser impossível manter o Rio Guandu enquadrado em Classe 2 em 100% do tempo, ainda que todo o esgoto lançado atualmente nesse rio recebesse nível terciário de tratamento e fosse mantido nível máximo de eficiência na operação e manutenção das Estações de Tratamento de Efluente (ETE). Portanto, alcançar a meta final de enquadramento não é tarefa trivial. Ainda que haja vontade política, dependendo do estado de degradação ambiental do corpo hídrico, as soluções técnicas tornam-se extremamente caras ou infelizmente impossíveis.

As limitações político-institucionais também podem gerar uma eventual impossibilidade de efetivação do enquadramento desejado, uma vez que o alcance das metas finais não depende apenas de uma boa articulação entre o setor de saneamento e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH). Levando-se em consideração que os efluentes orgânicos *in natura* são o maior contaminante das águas brasileiras, é evidente e extremamente importante que os dois entes citados tenham articulação bem-sucedida. No entanto, a problemática do enquadramento é bastante complexa, e seu sucesso exige mais do que uma boa relação entre os CHB e o setor de saneamento. O sucesso do enquadramento perpassa, também, pelo engajamento das políticas nacionais, estaduais, dos órgãos gestores de meio ambiente e de recursos hídricos.

No estado do Rio de Janeiro, por exemplo, houve avanço na questão de saneamento graças a uma conjuntura política favorável que vislumbrou o saneamento ambiental como tema importante e merecedor de investimentos federais por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), criado em 2007. Os investimentos do PAC no estado do Rio de Janeiro mudaram uma realidade de, aproximadamente, dez anos sem aporte federal no setor e refletem uma tendência mundial, em que se observa que as questões vinculadas ao saneamento ambiental só avançam mediante subsídio do governo central devido aos altos custos envolvidos.

²⁶ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Estratégico das bacias dos rios Guandu, Guarda e Guandu mirim**: relatório síntese. Brasília, DF, 2009.

Portanto, promover o enquadramento exige um enorme esforço político-institucional que envolve os diversos integrantes do SINGREH em suas diferentes esferas de atuação. Nesse contexto, é desejável que os Comitês de Bacias Hidrográficas possuam grande poder de articulação e fomento. O Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João, por exemplo, é protagonista da recuperação ambiental da Região Hidrográfica VI (RH VI), logrando ser um importante agente articulador entre empresas privadas, empresas públicas, recursos estaduais e federais com o objetivo de recuperar os corpos d'água da região²⁷.

Ecologia dos ecossistemas aquáticos

O enquadramento dos corpos hídricos e o conhecimento ecológico estão intrinsecamente relacionados, uma vez que a classificação dos corpos d'água em categorias de usos preponderantes ocorre em conformidade com diretrizes ambientais formuladas a partir de consulta ao acervo técnico-científico. As diretrizes ambientais consistem em parâmetros de qualidade da água cientificamente mensuráveis, como por exemplo: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, coliformes termotolerantes, cor, sólidos sedimentáveis e temperatura. Cada classe de uso é delimitada por padrões. Ou seja, valores limite adotados como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente. Ao exceder o valor limite da classe, a água passa a ser enquadrada na classe seguinte.

O conhecimento ecológico deve auxiliar o poder público, os usuários e a sociedade civil a compreender os motivos que fazem os corpos hídricos serem enquadrados em certa classe e não em outra. Portanto, foram caracterizados treze conceitos chave pertencentes à ecologia dos ecossistemas aquáticos indispensáveis para o enquadramento dos recursos hídricos em classes de qualidade. As definições desses conceitos encontram-se descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Conceitos chave pertencentes à ecologia de ecossistemas aquáticos indispensáveis para o enquadramento dos recursos hídricos em classes de qualidade continua

Conceitos ecológicos utilizados no processo de enquadramento dos recursos hídricos	
Conceito	Definição
Espécie	Populações ou um grupo de populações cujos membros têm características similares e podem se reproduzir entre si, mas não com indivíduos de outro grupo ²⁸ .
Abundância	Número de indivíduos, quantidade de biomassa, de produtividade ou de outras indicações de importância de uma espécie encontrados em uma determinada área ^{29,30} .

²⁷ BIDEGAIN, P. **Planejamento Territorial e dos Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João**. Proposta Técnica. Canadá, 2011.

²⁸ CAIN, M.L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 640 p.

²⁹ ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1983.

³⁰ CAIN, M.L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**, op. cit.

Quadro 1 - Conceitos chave pertencentes à ecologia de ecossistemas aquáticos indispensáveis para o enquadramento dos recursos hídricos em classes de qualidade conclusão

Preponderância	A superioridade numérica de uma espécie ou grupo sobre outros em uma comunidade ou associação ³¹ .
Espécie rara	Espécie que é incomum, escassa ou pouco encontrada ³² .
Espécie comum	Espécie que é frequentemente encontrada ³³ .
População	Grupo de indivíduos da mesma espécie que vivem dentro de uma determinada área e que interagem uns com os outros ³⁴ .
Comunidade	Inclui todas as populações que ocupam uma dada área ³⁵ .
Equabilidade	Medida de homogeneidade entre as abundâncias relativas das espécies de uma comunidade ³⁶ .
Riqueza de espécies	Número de espécies presentes em uma unidade geográfica definida (em uma comunidade) ³⁷ .
Diversidade de espécies	Medida que combina tanto o número de espécies (riqueza de espécies) em uma comunidade quanto a abundância relativa de cada espécie (equabilidade de espécies) ³⁸ .
Metabolismo aquático (produção, consumo e decomposição)	O movimento dos nutrientes entre os compartimentos bióticos e abióticos e o fluxo de energia, indicando forma, eficiência e integridade ecológica do seu funcionamento ³⁹ .
Fator limitante	Fator que possui papel central na limitação da produtividade de uma comunidade ⁴⁰ .
Eutrofização	A eutrofização pode ser natural ou artificial. Quando natural, é um processo lento e contínuo que resulta do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre. A eutrofização natural corresponde ao que poderia ser chamado de “envelhecimento natural” do lago. Quando é induzida pelo homem, a eutrofização é denominada de artificial, cultural ou antrópica. Nesse caso, os nutrientes podem ter diferentes origens. Esse tipo de eutrofização é responsável pelo “envelhecimento precoce” de ecossistemas lacustres ⁴¹ .

³¹ RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2003. 503 p.

³² ODUM, E.P. **Ecologia**. *op. cit.*

³³ *Ibid.*

³⁴ CAIN, M.L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. *op. cit.*

³⁵ ODUM, E.P. **Ecologia**. *op. cit.*

³⁶ CAIN, M.L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. *op. cit.*

³⁷ BEGON et al. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

³⁸ CAIN, M.L.; BOWMAN, W. D.; HACKER, S. D. **Ecologia**. *op. cit.*

³⁹ ESTEVES, F.A. et al. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011a.

⁴⁰ BEGON et al. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. *op.cit.*

⁴¹ ESTEVES, F.A. et al. **Fundamentos de Limnologia**. *op. cit.*

Os treze conceitos listados acima foram categorizados em três grupos: 1) metabolismo aquático (produção, consumo, decomposição e fator limitante); 2) eutrofização; e 3) caracterização e estrutura da comunidade aquática (espécie, abundância, preponderância, espécie rara, espécie comum, população, comunidade, equabilidade, riqueza de espécies e diversidade de espécies). Os conceitos referentes ao metabolismo aquático foram definidos tendo como base os parâmetros prioritários de qualidade de água utilizados no processo de enquadramento de corpos d'água e sua relação com os usos múltiplos realizados (Quadro 2).

Quadro 2 - Usos da água e a relação com os principais parâmetros de análise de qualidade previstos na resolução CONAMA⁴² no 357/2005 **continua**

Usos da água e principais parâmetros relacionados	
Usos múltiplos	Principais parâmetros relacionados
Proteção das comunidades aquáticas, inclusive em terras indígenas; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	Oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, temperatura da água, nutrientes (nitrogênio e fósforo), amônia, algas, clorofila, turbidez, substâncias tóxicas (metais, agrotóxicos, entre outros), coliformes termotolerantes, sólidos em suspensão.
Abastecimento para consumo humano	Oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, temperatura da água, nutrientes (nitrogênio e fósforo), amônia, algas, clorofila, turbidez, substâncias tóxicas (metais, agrotóxicos, entre outros), coliformes termotolerantes, sólidos em suspensão, cloreto, patógenos, potencial de formação de trihalometanos, sólidos totais.
Dessedentação de animais	Nitratos, sulfatos, sólidos totais dissolvidos, metais, poluentes orgânicos (ex.: agrotóxicos), patógenos e algas.
Harmonia paisagística	Materiais flutuantes, espumas não naturais, odor, aspecto da água.
Aquicultura e pesca	Oxigênio dissolvido, pH, temperatura, nutrientes (nitrogênio e fósforo), algas, turbidez, substâncias tóxicas (metais, agrotóxicos, entre outros), poluentes que se acumulam ao longo da cadeia alimentar (POPs).

⁴² BRASIL. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, op. cit.

Quadro 2 - Usos da água e a relação com os principais parâmetros de análise de qualidade previstos na resolução CONAMA⁴² no 357/2005 conclusão

Recreação de contato primário e secundário	Coliformes termotolerantes, algas, óleos e graxas, turbidez.
Navegação	Sólidos em suspensão, materiais flutuantes, espumas não naturais, odor, aspecto da água.
Irrigação	Coliformes termotolerantes, sólido totais dissolvidos, cloretos, sódio, pH, potássio, cálcio, magnésio, condutividade elétrica.
Diluição de poluentes	pH, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e graxas, óleos minerais, óleos vegetais e gorduras animais, nitrogênio amoniacal total.

Fonte: Costa e Conejo⁴³

Os conceitos ecológicos descritos no Quadro 1 relacionam-se com os parâmetros prioritários para o enquadramento dos corpos hídricos previstos pela resolução CONAMA nº 357/2005, entendidos pela Agência Nacional de Águas como relevantes para a gestão dos recursos hídricos (Quadro 3).

Quadro 3 - Parâmetros prioritários para o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso de acordo com a Agência Nacional de Águas⁴⁴

152

Parâmetros prioritários para o enquadramento	
Parâmetro prioritários	Justificativa
Matéria orgânica biodegradável	Ocasiona o consumo de oxigênio dissolvido; tem como origem mais comum o esgoto doméstico.
Nutrientes (ex.: fósforo e nitrogênio)	Causam a eutrofização do corpo d'água.
Organismos patogênicos	Causam as doenças de veiculação hídrica.
Substâncias orgânicas (ex.: agrotóxicos)	Provocam efeito tóxico nos organismos aquáticos e podem se acumular em seus tecidos.
Sólidos em suspensão	Aumentam a turbidez da água afetando a biota aquática e causando assoreamento do corpo d'água.

No Quadro 4, relacionam-se os conceitos ecológicos chave com os principais parâmetros de qualidade da água utilizados no enquadramento, considerando a proteção das comunidades aquáticas, a recreação e o abastecimento humano.

⁴³ BRASIL. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, *op. cit.*

⁴⁴ COSTA, M. P.; CONEJO, J. G. L. A. Implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimento, *op. cit.*

Quadro 4 - Relação entre conceitos ecológicos e os principais parâmetros de qualidade da água utilizados no enquadramento, considerando a proteção das comunidades aquáticas, a recreação e o abastecimento humano

Relação entre conceitos ecológicos e os principais parâmetros de qualidade da água utilizados no enquadramento considerando a proteção das comunidades aquáticas, recreação e abastecimento humano	
Conceitos ecológicos	Principais parâmetros
Metabolismo aquático	Oxigênio dissolvido (OD), algas, clorofila, substâncias tóxicas, turbidez e pH.
	Substâncias tóxicas, sólidos em suspensão, óleos e graxas e turbidez.
	Nutrientes, turbidez e pH.
Eutrofização	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, turbidez, pH e patógenos.
Caracterização e estrutura da comunidade aquática	Clorofila.

No Quadro 5, relacionam-se os conceitos ecológicos caracterizados no estudo com o detalhamento conceitual que pode ser realizado a partir dos conceitos mapeados nesta pesquisa.

153

Quadro 5 - Detalhamento dos conceitos ecológicos caracterizados no estudo

Conceitos ecológicos	Detalhamento conceitual
Metabolismo aquático	Produtividade primária, contribuição alóctone, pH e ciclagem de nutrientes (nitrogênio e fósforo).
Eutrofização	Diferencial entre eutrofização natural e artificial. Causas e consequências da eutrofização artificial.
Caracterização e estrutura da comunidade aquática	Comunidade, população, cadeia trófica e causas para a variação dos parâmetros.

Acredita-se que, para alcançar de fato a gestão participativa e efetiva dos recursos hídricos, é preciso que o uso do conhecimento técnico-científico se dê de forma transparente e acessível a todos os integrantes dos organismos de bacia⁴⁵. Diante disso, a caracterização dos conhecimentos ecológicos utilizados para o enquadramento dos

⁴⁵ LEMOS, M.C.; NELSON, D.R.; JOHNSON, R.M.F. Uso de conhecimento técnico-científico e democratização da gestão das águas no Brasil: análise preliminar do survey Marca d'Água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 25-29 nov. 2007, São Paulo, SP, Brasil.

recursos hídricos é uma colaboração da academia no sentido de estruturar a discussão e contribuir para o aprofundamento de elementos relevantes à gestão dos recursos hídricos. Acredita-se que, com o maior entendimento sobre a dinâmica ecológica natural e não natural dos ambientes, o poder público, os usuários e a sociedade civil desenvolvam propostas de enquadramento mais realistas e exequíveis.

Participação Cidadã na Gestão dos Recursos Hídricos

O avanço no arcabouço legal brasileiro legitimou a participação popular na gestão dos recursos hídricos do país. No entanto, é comum perceber que muitos desconhecem os mecanismos e organismos de participação que foram instituídos ao longo das últimas décadas, como os Comitês de Bacias Hidrográficas. Popularizar o conhecimento ecológico é, portanto, uma maneira de auxiliar na reversão do quadro de esvaziamento percebido em muitos colegiados que se dedicam à gestão participativa dos recursos hídricos.

Pensando no modelo de participação proposto por Arnstein⁴⁶, no qual a participação cidadã é didaticamente esquematizada em formato de escada, em que cada degrau representa diferentes níveis de participação na tomada de decisão (Quadro 6), percebe-se que o acesso ao conhecimento técnico-científico representa apenas o terceiro nível na escada em direção ao último degrau. Por esse motivo, além de informar os integrantes do SINGREH por meio da discussão dos conhecimentos técnico-científicos, as práticas educativas precisam incorporar atividades que provoquem o questionamento do *status quo* e qualifiquem as instituições e seus membros para evitar “participações vazias”. Para Arnstein⁴⁷, a participação sem redistribuição de poder permite àqueles que o têm argumentar que todos foram ouvidos, mas favorecer, realmente, apenas alguns.

Quadro 6 - Oito degraus da participação cidadã (Extraído e modificado)

Escada de Participação		
1	Manipulação	Não participação
2	Terapia	
3	Informação	Níveis de concessão mínima de poder
4	Consulta	
5	Pacificação	
6	Parceria	Níveis de poder cidadão
7	Delegação de poder	
8	Controle cidadão	

⁴⁶ ARNSTEIN, S. Uma escada da participação cidadã. Tradução Markus Brose. Título original: A ladder of citizen participation. **Journal of the American Planning Association**, v. 35, n. 4 p.216-224, Jul. 1969.

⁴⁷ *Ibid.*

Conclusão

Analisando a trajetória de países como Holanda, Estados Unidos, Canadá e França na implementação de políticas públicas que estimulam a participação popular, percebe-se que a missão brasileira de aplicar com sucesso a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) será igualmente árdua e longa. Após 20 anos da promulgação da PNRH, muitos integrantes do Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (SINGREH) possuem pouco domínio dos cinco instrumentos de gestão das águas. Embora tenha sido criado arcabouço legal e espaços institucionais para a gestão dos recursos hídricos, Lemos *et al.*⁴⁸ acreditam que a promoção de uma gestão efetivamente participativa, tanto em termos de resultados (gestão mais eficiente), quanto de processo (gestão mais democrática, representativa e transparente), vai além da instituição dos elementos citados anteriormente e será alcançada apenas se a utilização do conhecimento técnico-científico for feita de forma transparente e democrática nos processos decisórios.

O esforço despendido nesta pesquisa buscou sistematizar o que a ecologia pode oferecer de melhor para a sociedade e mostrar que, ao encarcerá-la em um espaço limitado de atuação, perde-se a oportunidade de gerenciar os recursos naturais com maior clareza e efetividade⁴⁹. A utilização da ecologia no cotidiano de diversas instituições ligadas ao gerenciamento dos recursos hídricos pode auxiliá-las na definição de áreas prioritárias de conservação dos recursos hídricos e no planejamento do correto gerenciamento de toda a região hidrográfica.

Espera-se que a caracterização de conhecimentos ecológicos ligados ao enquadramento das águas contribua para que os integrantes do SINGREH tenham melhor domínio sobre os conhecimentos ecológicos que auxiliam na gestão dos recursos hídricos. Com esta pesquisa, a academia pretende contribuir para o processo de participação qualificada na gestão das águas brasileiras e estimular o envolvimento dos CBH no enquadramento dos corpos d'água ainda não contemplados.

Agradecimentos

Agradecemos aos organizadores pela oportunidade, ao Comitê de Bacia Lagos São João, ao Consórcio Intermunicipal Lagos São João e ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa.

⁴⁸ LEMOS, M.C.; NELSON, D.R.; JOHNSON, R.M.F. Uso de conhecimento técnico-científico e democratização da gestão das águas no Brasil: análise preliminar do survey Marca d'Água, *op. cit.*

⁴⁹ HENRY, R. **O diagnóstico da qualidade das águas do rio Guareí, Angatuba, SP:** uma cooperação Ensino Superior – Educação Básica. Botucatu: FUNDIBIO, 2012.

GOVERNANÇA E INSTRUMENTOS DE GESTÃO DAS ÁGUAS – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENQUADRAMENTO PARTICIPATIVO DE CORPOS HÍDRICOS BASEADA NO CASO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – MACAÉ OSTRAS

Juliana Nunes Cristo Torres (IFFluminense) • Jade Golzio Barqueta Donnini (IFFluminense)
Gabrielle Martins do Nascimento (IFFluminense) • Maria Inês Paes Ferreira (IFFluminense)

Introdução

Nas últimas décadas, a demanda por água vem apresentando, um crescimento acelerado; acompanhado pela escassez quantitativa, declínio de sua qualidade e destruição de suas fontes. Esses impactos podem ser atribuídos ao aumento demográfico e à constante expansão econômica¹, mas também ao gerenciamento inadequado dos recursos hídricos, associado ao uso e ocupação desordenada das terras e à falta de saneamento básico em muitos países do mundo, incluindo o Brasil. Tal cenário tem resultado em grandes conflitos pelo uso da água, não só pela sua escassez “quali-quantitativa”, mas também pelo excesso desse recurso em situações de cheias e alagamentos, seja em áreas urbanas, seja no meio rural². A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, Lei Federal nº 9.433 de 1997, prevê a multiplicidade de usos para os recursos hídricos. São esses diversos usos, como *dessedentação de animais*, *abastecimento humano*, industrial, navegação, irrigação, recreação, entre outros, que garantem o desenvolvimento de uma região, visto a dependência socioeconômica de uma área em relação à quantidade e qualidade de água disponível (o grifo indica os usos prioritários que a PNRH estabelece em situações de escassez).

A exemplo dos preceitos adotados em experiências internacionais, a PNRH estabelece que gestão de recursos hídricos brasileira deve ser realizada por meio da participação popular. Entretanto, muitas vezes, o planejamento e/ou execução das ações em recursos hídricos não são condizentes com a realidade, nem tampouco alcançam os níveis de satisfação esperados, pela ausência da opinião da comunidade local e/ou pela desconsideração pelo seu conhecimento empírico “e de causa”³. Na prática, a gestão de recursos hídricos em todo o território brasileiro _ qualificada pela implementação

¹ BARROS, S. V. A.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Gestão, gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos sob a ótica do desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: ABRH, 2008.

² TEIXEIRA, E. C. (coord.). Enquadramento de corpos d'água em microbacias hidrográficas rurais de base familiar: Procedimento metodológico participativo. 2009. Projeto de Pesquisa - Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional, LabGest/Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009. Edital MCT/CNPq/CT- Hidro nº 22/2009.

³ BORBA, M. L. G. O monitoramento pelos moradores: um instrumento de gestão compartilhada da água urbana para maximizar os benefícios da solução técnicas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL SUDESTE, 2., 2008, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABRH, 2008.

de seus instrumentos (Plano de Recursos Hídricos, outorga, enquadramento, cobrança e sistemas de informações) _ apresenta-se em constante processo de aprimoramento. O enquadramento de corpos hídricos é um exemplo desse fato. O instrumento trata do nível de qualidade de água que um rio precisa ter para permitir um determinado uso. Visa compatibilizar, também, os diversos interesses pelos usos atuais e futuros de uma bacia, fator importante para o desenvolvimento de uma região e um instrumento a que o estado do Rio de Janeiro precisa direcionar maiores atenções e esforços.

O instrumento da PNRH “enquadramento dos corpos d’água” baseia-se no estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d’água ao longo do tempo, não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que um corpo d’água deveria possuir para atender aos usos e necessidades apontados pela sociedade. O enquadramento atrela um nível de qualidade, minimamente requerido, para permitir os diversos usos necessários e escolhidos pela sociedade⁴.

Tanto o Brasil como o estado do Rio de Janeiro apresentam baixo índice de implementação desse instrumento, com uma carência de ações mais efetivas, tanto em nível estadual como na região hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras^{5,6,7}, oficialmente denominada Região Hidrográfica VIII do estado do Rio de Janeiro (RH VIII). Com área de 1.765 km², a RH VIII é formada pelos municípios de Macaé e por partes dos territórios de Rio das Ostras, Carapebus, Casimiro de Abreu, Conceição de Macabu e Nova Friburgo^{8,9,10}. É considerada de importância estratégica não só para o estado do Rio de Janeiro, mas para todo o país, por abastecer as atividades ligadas à produção de óleo e gás na Bacia de Campos. As águas do seu território possuem diversos usos, associados às atividades de agricultura, turismo, recreação e lazer, com destaque para o uso industrial da água na cadeia produtiva do petróleo e gás em Macaé, que compromete cerca de 52% da disponibilidade de água regional, conforme diagnóstico realizado durante a elaboração do seu Plano de Recursos Hídricos¹¹. As regiões hidrográficas estaduais estão apresentadas na Figura 1.

Na busca por processos que envolvam a sociedade e que sejam condizentes com a realidade da bacia, há indicação de procedimentos metodológicos que envolvam a participação do Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras, bem como da sociedade em geral para a implementação do enquadramento de corpos d’água na bacia. Sugere-se no presente trabalho procedimento metodológico participativo de enquadramento de corpos hídricos adaptado à realidade da RH VIII com o intuito de contribuir com a GRH local e a implantação de seus instrumentos, empregando práticas que confirmam maior participação aos diversos atores sociais presentes na região.

⁴ PROCÓPIO, L. C. **Análise dos requisitos institucionais para implementação do enquadramento de corpos d’água no Estado do Rio de Janeiro**. 2011. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2011.

⁵ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos**. Brasília, 2013. 434 p.

⁶ PROCÓPIO, *op. cit.*

⁷ PINHEIRO, M. R. de. C. **Avaliação dos usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão de recursos hídricos aplicada à bacia do rio Macaé/RJ**. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

⁸ LIMA, L. D. da. M. **Suscetibilidade à erosão dos solos nas sub-bacias do médio e alto cursos da bacia do rio Macaé/RJ**. 2008. 127f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2008.

⁹ RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução CERHI n.º 107, de 22 de maio de 2013. Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e revoga a Resolução CERHI n.º 18, de 08 de novembro de 2006. Rio de Janeiro, **Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro**, 12 jun. 2013.

¹⁰ SEA, Secretaria Estadual do Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras**: relatório síntese. Rio de Janeiro: SEA, 2014. 181p.

¹¹ SEA, *op. cit.*, p. 60

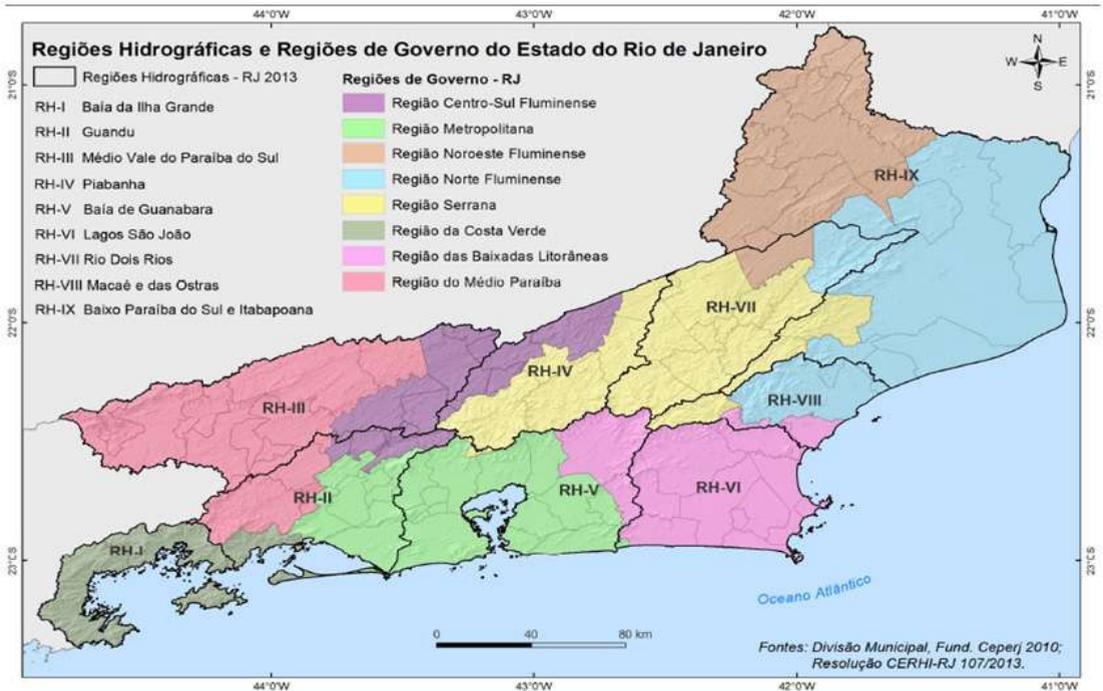


Figura 1: Regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEA, INEA, 2014)

Modelos de gestão e arranjos de governança para enquadramento de corpos hídricos

A gestão dos recursos hídricos pode ser definida como um conjunto de procedimentos organizados e adotados com a finalidade de solucionar os problemas relacionados ao uso e ao controle desses recursos, e de atender à demanda de água pela sociedade com uma disponibilidade limitada pelas condições econômicas e ambientais, respeitando assim os princípios de justiça social. Segundo Tundisi e Matsumura¹², a questão ambiental no gerenciamento de recursos hídricos está relacionada aos usos múltiplos da água em diferentes locais que, se dados de forma irregular, podem comprometer nascentes, provocar erosão nas margens dos rios e ocasionar poluição por meio do lançamento de efluentes diretamente na água, influenciando a sua qualidade e a disponibilidade para o baixo curso das bacias hidrográficas. Dentre os conflitos mais pertinentes em termos de gestão descentralizada, destacam-se os referentes aos diversos interesses em torno do recurso hídrico, que envolvem a necessidade de pensar em alternativas para compatibilizar os diversos usos sem comprometer os recursos naturais para as atuais e futuras gerações¹³.

¹² TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience in South America and Brazilian case studies. *Hydrobiologia*, v.500, p. 231-242, 2003.

¹³ PORTELA, N. F.; BRAGA, T. M. Conflitos federativos em gestão de recursos hídricos no Brasil: reflexões a partir do caso da bacia do rio Macaé (RJ). *Revista Geografias*, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p.74-85, jul./dez. 2006.

Quanto ao conceito de governança, muitas definições são possíveis. Adotamos aqui o conceito moderno de Soares, Theodoro e Jacobi¹⁴ para embasar a discussão. A nova governança das águas surge na tentativa de transpor esse desafio com abordagem mais participativa e menos verticalizada, com arranjo distributivo entre poder público e privado e sociedade civil, materializada nos Comitês de Bacias.

Diversos autores avaliam as características da gestão e a governança das águas no mundo e no Brasil^{15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26}.

Governança é um termo utilizado nos campos político, econômico e científico e representa uma relação (arranjo) entre os diversos atores de uma determinada área para a tomada de decisão. Alguns atores abordam a governança das águas como um processo participativo, no qual os Comitês de Bacias são a instância apropriada para a discussão^{27,28}. O conceito de governança das águas pode ser também associado ao conjunto de leis, instituições e políticas governamentais necessárias para a gestão adequada dos recursos hídricos²⁹. Arranjos de governança e de gestão específicos respondem a diferentes características físico-naturais e às relações sociais presentes nos modelos e instrumentos de gestão praticados em regiões distintas do planeta.

A Holanda, situada abaixo do nível do mar na porção final da grande bacia do rio Reno, convive com situações de cheias e secas, localizadas ou não, assim como com problemas de qualidade da água subterrânea. Possui embasamento legal composto por políticas centrais amplas, diversas responsabilidades descentralizadas e um controle considerado moderado, com envolvimento do cidadão na gestão dos recursos hídricos e na construção

¹⁴ SOARES, S. I. de O.; THEODORO, H. D.; JACOBI, P. R. Governança e política nacional de recursos hídricos: qual a posição da gestão das águas no Brasil? In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 6., 2008, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília: ANPPAS, 2008. 13p.

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ QUILODRAN, O.; SALINAS, R. T. Considerações sobre governança e gestão dos recursos hídricos na região e na bacia do Bío Bío, Chile. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.3. 226p.

¹⁷ RICHARD, S.; RIEU, T.; DUCROT, P. Uma jornada para entender a governança de um território da água – aplicação no rio Drôme. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.3. 226p.

¹⁸ JACOBI, P. R. et al. Governança da água no Brasil. Dinâmica da Política Nacional e os desafios para o futuro. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 230p.

¹⁹ RICHARD, S.; BOULEAU, G.; BARONE, S. Governança da água na França: Modelo institucional, grupos de interesse, arranjos e processos. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 230p.

²⁰ BASUALTO, S. et al. Aspectos da governança da água no Chile. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 230p.

²¹ ROJAS, J. A gestão de recursos hídricos na Colômbia: uma análise da sua evolução, dos atores, dos instrumentos legais e das dificuldades. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.3. 226p.

²² WARNER, J.; SMITS, S.; WINNIBST, M. Governança local na gestão dos recursos hídricos na Holanda. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 230p.

²³ SOUSA JR., W. A participação social e a gestão dos serviços de água na Inglaterra. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa: atores sociais, conflitos e territorialidade**. São Paulo: Annablume, 2009. v.3. 226p.

²⁴ FRACALANZA, A. P.; CAMPOS, V. N. de O.; JACOBI, P. R. Governança das águas na Região Metropolitana de São Paulo/Brasil. o caso do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Dimensões político institucionais da governança da água na América Latina e Europa**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 246p.

²⁵ RICHARD, S.; RIEU, T. Uma abordagem histórica esclarecer a governança da água. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Dimensões político institucionais da governança da água na América Latina e Europa**. São Paulo: Annablume, 2009. v.1. 246p.

²⁶ SILVA, J. S. **Instrumentos de governança da água nas bacias do município de Urubici, SC, no contexto de tecnologias sociais**. 2010. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

²⁷ SOARES, THEODORO; JACOBI, *op. cit.*

²⁸ ROGERS, P.; HALL, A. W. **Effective Water Governance**. Suécia: Global Water Partnership, GWP, 2003. (TEC background papers, n.7).

²⁹ SILVA, *op. cit.*

de um consenso amplo. Quanto às instituições, o governo nacional proporciona orientação política ampla no que tange às zonas litorâneas e aos grandes rios e lagos, enquanto, em nível local, o “comitê de águas” é responsável pela gestão de águas superficiais. O primeiro Comitê holandês foi criado ainda no século XII, e essas instituições são quase inteiramente financiáveis e possuem maiores responsabilidades em relação às municipalidades. Porém, a Holanda ainda precisa cumprir as premissas exigidas pela União Europeia por meio da sua principal política hídrica, a Water Framework Directive – WFD³⁰.

Sousa Jr.³¹ trata do aspecto da gestão de recursos hídricos na Inglaterra como um processo histórico antigo. A primeira Lei das Águas é de 1945 e sofreu reformulação mais recente em 2003. A Inglaterra “atravessa” uma situação atual de estruturação e institucionalização, especialmente para equacionar os compromissos assumidos com a Comunidade Europeia e as *Directivas Quadro*. A participação social, conforme observa o autor para a Inglaterra, confere características de compartimentalização quando os atores sociais não demonstram interesse nas decisões quanto aos recursos hídricos e, por outro lado, quando o poder público não incentiva o fortalecimento dos órgãos colegiados. Ele ainda afirma que isso pode representar um risco a partir da mudança de visão local para a global com as Diretivas Europeias.

A Lei das Águas francesa trata da gestão planejada e organizada por bacia e sub-bacia, permitindo assim novas formas de ações coletivas participativas graças ao apoio de dispositivos conhecidos como Planos Diretores de Planejamento e Gestão de Águas, dispositivos que permitem a participação de representantes da sociedade civil nas decisões acerca dos recursos hídricos, via Comitês de Bacias e Comissões Locais da Água. A preocupação francesa é com a efetividade da participação social nas decisões acerca do meio ambiente e com a renovação do debate público³².

Borba³³ afirma que a participação social nos processos de gestão das águas é fundamental, pois, muitas vezes, as soluções técnicas na área de recursos hídricos não alcançam os benefícios esperados devido à ausência da participação dos moradores na gestão da água no seu domicílio e arredores. Isso se dá porque, frequentemente, moradores não são informados da finalidade da maioria das obras do seu entorno. O envolvimento dos moradores em decisões que viabilizem a implantação de uma solução tem o potencial de fazê-los se sentir co-autores e contribuir para seu sucesso, pois os moradores conhecem a sua realidade e sabem do que precisam.

A América Latina também exibe um panorama heterogêneo de governança e gestão das águas. A governança do Chile foi analisada a partir da gestão da Região do Bío Bío, segunda maior em população do país, com infraestrutura industrial e portuária de destaque, em região montanhosa, com predominância de silvicultura e agropecuária e uma população assolada pela pobreza. O Código das Águas nesse país data de 1969 e tratava o recurso hídrico como propriedade do Estado. Em 2009, criou-se o Comitê Interministerial de Política Hídrica, presidido pelo Ministério de Obras Públicas, mas o país é considerado ainda atrasado no que diz respeito ao cumprimento de exigências internacionais orientadas

³⁰ WARNER; SMITS; WINNISBST, *op. cit.*

³¹ SOUSA JR, *op. cit.*

³² RICHARD; RIEU; DUCROT, *op. cit.*

³³ BORBA, *op. cit.*

à gestão ambiental para a sustentabilidade^{34,35}. Por outro lado, a Colômbia possui tradição na concepção de leis e avançou em termos de legislação quando, em 1974, criou o Código Nacional dos Recursos Naturais; adiante, em 1993, foi fundado o Ministério do Meio Ambiente³⁶. Nesse país, a propriedade de quase a totalidade dos corpos hídricos é de domínio público, com a exceção de alguns casos. A prioridade de uso dos recursos hídricos é concedida ao abastecimento público, semelhante ao que estabelece a legislação brasileira.

No Brasil, o equacionamento de instrumentos de gestão com o Plano de Recursos Hídricos, organizando processos conexos como enquadramento, outorga e cobrança, configurou a PHNR como uma abordagem inovadora, que define a água como recurso hídrico, bem de domínio público, dotado de valor econômico e finito. Por outro lado, o discurso trazido pela Lei das Águas pode ser questionado à luz do conceito de bem de uso comum (*commons*)³⁷, diferenciado do de bem de uso público³⁸. Nesse sentido, a globalização da água e a “fase ecológica do capital” pode implicar passar da propriedade do que se produz à propriedade das condições ecológicas de produção³⁹.

A estrutura da governança das águas nas diversas esferas, com ênfase na gestão da região hidrográfica VIII, área de estudo explorada no presente trabalho, é apresentada conforme esquema adaptado de Formiga e colaboradores⁴⁰ na Figura 2.

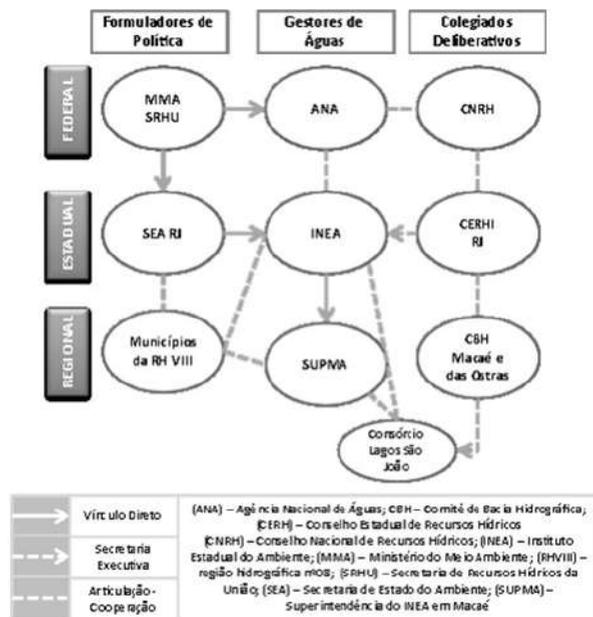


Figura 2 - Modelo esquemático da estrutura da gestão de recursos hídricos nas três esferas federativas e locais

Fonte: Adaptado de Formiga et al. (2011)

³⁴ QUILODRAN; SALINAS, *op. cit.*

³⁵ BASUALTO et al., *op. cit.*

³⁶ ROJAS, *op. cit.*

³⁷ HARDIN, G. *The Tragedy of commons. Science*, v. 162, 1968.

³⁸ MARTINS, G. D'O. Bem Comum: Público e/ou Privado. *Análise Social*, v.211, xlix (2.º), p. 493-496, 2014.

³⁹ LEFF, E. *Discursos sustentáveis*. 1. ed. Cortez: São Paulo, 2010. 293p.

⁴⁰ FORMIGA, R. M. et al. (org.). *Base legal para a gestão de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Meio Ambiente, 2011. 380p.

Os órgãos de apoio à gestão dos recursos hídricos foram moldados por diversos aspectos da legislação francesa, destacando-se a gestão descentralizada, por unidade física e territorial da bacia hidrográfica, e a inserção da figura do Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH) como “parlamento das águas”, capaz de ampliar o espaço de decisão e promover processos de gestão mais participativos e próximos à realidade local. Os CBH são fóruns responsáveis pela participação social e pela integração do planejamento das ações na gestão de recursos hídricos^{41,42,43,44}.

Dentre algumas atribuições de um CBH em instâncias federais e no Rio de Janeiro, destacam-se: (i) promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; (ii) arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos de sua área de atuação; (iii) aprovar o Plano de bacia; (iv) acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; (v) aprovar seu regimento interno para funcionamento e organização; (vi) executar ações conjuntas com o organismo competente do Poder Executivo, visando à definição dos critérios de preservação e uso das faixas marginais de proteção de rios, lagos e lagoas; e (vii) apoiar iniciativas de educação ambiental^{45,46}.

Publicada em 2006, na Resolução nº 18 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI), a divisão do estado do Rio de Janeiro em regiões hidrográficas ratificou o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão das águas. A divisão original foi ajustada em 2013 pela Resolução nº 107/2013 do CERHI, que, entre outras alterações, modificou os limites da RH VIII, por meio de três ajustes. O primeiro refere-se à inclusão do Canal do Medeiros, localizado no município de Rio das Ostras, na região hidrográfica Lagos São João (RH VI), que perdeu esse território. O segundo ajuste foi uma correção realizada no divisor de águas no município de Casimiro de Abreu. O terceiro refere-se ao Canal Macaé-Campos e à área urbana contínua de Cabiúnas (subdistrito de Macaé), que eram cortados pela antiga divisa de RH VIII, resultando numa pequena porção do território de Macaé incluída na RH-IX. A partir da nova divisão, aumentou-se a participação de Carapebus e do Parque Nacional de Jurubatiba no território da RH VIII, passando o município de Macaé a ser inserido integralmente na região hidrográfica Macaé e das Ostras. A RH VIII, apesar de possuir seu Plano de Bacia desde 2014, ainda não possui seus corpos hídricos enquadrados, pois a proposta de enquadramento apresentada no documento ainda não foi debatida e validada pela sociedade regional de

⁴¹ FRANK, B.; SCHULT, S. I. M. A complexidade da gestão de recursos hídricos e a experiência profissional dos membros de organismos de bacia hidrográfica. Uma análise com base na pesquisa Marca d'Água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais** [...].

⁴² MARTINS, R. C. Representações sociais, instituições e conflitos na gestão das águas em territórios rurais. **Revista Sociologia**, n. 15, p. 288-325, jan./jun. 2006.

⁴³ CARDOSO, M. L. de L. Desafios e potencialidades dos Comitês de Bacias Hidrográficas. **SBPC Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência**, n. 4, p.40-41, out./dez. 2003.

⁴⁴ KETTELHUT, J. T. S.; AMORE, L.; LEEUWSTEIN, J. M. A experiência brasileira de implementação de Comitês de Bacias Hidrográficas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1998, Rio Grande do Sul. **[Anais...]**.

⁴⁵ BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**, op. cit.

⁴⁶ RIO DE JANEIRO (Estado). Lei Ordinária n.º 3.239, de 02 de agosto de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; Cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII; e dá outras providências. Rio de Janeiro, **Diário Oficial [do] Estado do rio de Janeiro**, 2 ago. 1999.

forma mais ampla, apesar de ter sido amplamente discutida pelas representações que compõem o CBH Macaé. O Rio de Janeiro é um dos estados brasileiros que ainda não possui nenhum rio enquadrado^{47,48}. Contudo, pode ser destacada a experiência dos rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim, em formular suas propostas de enquadramento junto ao desenvolvimento do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias. Experiência similar está em curso na Região Hidrográfica VIII do estado do Rio de Janeiro – RH VIII. A implantação do instrumento enquadramento é um pacto firmado entre os usuários de água, e seus objetivos somente poderão ser alcançados se houver a compreensão da importância do instrumento para o planejamento integrado da bacia, bem como de suas consequências socioeconômicas e ambientais, afirma a Secretaria de Recursos Hídricos⁴⁹.

O enquadramento de corpos hídricos no mundo e no Brasil

A estrutura e o planejamento de um processo de mobilização social (especialmente no envolvimento de quem se precisa na gestão dos recursos hídricos) devem abordar uma série de aspectos, dentre os quais: formulação do imaginário (definição de propósito, sentido ao que se busca), definição da rede de atores (responsáveis por viabilizarem o movimento, entre outros) e estruturação do sistema de coletivização (todos estão juntos pelo mesmo propósito)⁵⁰. Essa é a grande questão associada ao enquadramento de um corpo hídrico, pois o processo precisa captar os anseios de diferentes segmentos sociais acerca dos usos atuais e futuros pretendidos para as águas do seu território.

Relativamente aos aspectos legais desse instrumento de gestão, o Japão estabeleceu sua classificação e padrões de qualidade de água em 1992⁵¹, sem, contudo, envolver a participação popular no processo de enquadramento. Revisados em 2003, os padrões de qualidade ambiental e limites de poluente estão relacionados às classes de uso, em função do tipo de corpo hídrico. Rios possuem seis classes e quatro subclasses de qualidade associadas aos diferentes organismos aquáticos presentes nos ecossistemas, sendo a mais restritiva a classe destinada ao abastecimento humano e à conservação de ambientes naturais, e a menos restritiva a de águas para usos industriais. Lagos e águas costeiras possuem quatro e três classificações, respectivamente.

Similarmente ao Japão, na Inglaterra não há participação da sociedade no processo de enquadramento. Os padrões de qualidade de água foram publicados em 1912. A partir da década de 50 e válido até os dias atuais, com as devidas revisões e atualizações, o procedimento de classificação da Inglaterra e País de Gales foi desenvolvido para águas doces e águas estuarinas. Na década de 90, definiram-se limites específicos para rios.

⁴⁷ ANA, 2013, *op. cit.*, p. 299-300.

⁴⁸ FERNADES, S. F. et al. O enquadramento de corpos hídricos no estado do Rio de Janeiro: cenário atual e desafios. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília, DF. [Anais...].

⁴⁹ SRH. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Procedimentos técnicos para enquadramento de corpos de água**: documento orientativo. Brasília, DF: MMA, 2000.

⁵⁰ HAASE, J.; SILVA, M. L. C. Participação da sociedade no processo de enquadramento dos recursos hídricos: experiência no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1998. [Anais...].

⁵¹ LEEUWSTEIN, J. M.; NETTO, O. M. C., *op. cit.*, p. 9-11.

Menciona a questão de definição para parâmetros para águas subterrâneas e procura refletir as necessidades atuais e futuras das comunidades locais, muito embora não sejam observados aspectos efetivos de participação social nas construções e decisões⁵². Após sua entrada na União Europeia, a Inglaterra passou a seguir os padrões da “Diretiva Quadro”, fato que resultou em melhoria geral da qualidade da água dos seus corpos hídricos nas últimas décadas, segundo a Agência Ambiental do Reino Unido⁵³. Oliveira e Marques⁵⁴ (2008) relatam que, na Europa, o enquadramento de corpos hídricos é tratado na “Diretiva Quadro” por meio dos objetivos de qualidade de água. Para que haja um objetivo de qualidade de água, é necessário realizar análises das características das bacias hidrográficas e dos impactos da atividade humana, bem como uma análise econômica da utilização da água. Os Estados membros devem controlar a evolução do estado das águas de forma sistemática, a partir do qual possam desenvolver programas de medidas que permitam alcançar esses objetivos previstos na União Europeia (2000).

Em 2009, a agência inglesa apontou como principais preocupações os níveis elevados de nutrientes em rios, lagos, estuários e águas costeiras, a contaminação por nitratos da água utilizada para abastecimento humano, vazamentos de produtos químicos perigosos e resíduos de pesticidas nos rios, a contaminação das águas subterrâneas, a depleção de oxigênio na água devido à poluição de fezes de animais, o assoreamento de rios, lagos e estuários causado por sedimentos causados por sedimentos provenientes da erosão do solo, resíduos e esgotos conectados ilegalmente, entre outros. Em 2009, segundo a agência governamental, mais de três quartos dos corpos hídricos da Inglaterra e do País de Gales não atendiam aos padrões de qualidade de água da “Diretiva Quadro”. A meta da Diretiva apontava para assegurar que pelo menos 95% deles alcançasse “boa” condição ecológica até 2015⁵⁵. A saída do Reino Unido da União Europeia faz-nos especular acerca de um possível relaxamento na regulamentação dos padrões de qualidade, classificação e enquadramento, uma vez que 117 rios ingleses e galeses encontravam-se entre os rios mais poluídos da Europa.

Já nos Estados Unidos, a gestão da qualidade das águas está fundamentada no Plano de Proteção das Águas, elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA). A USEPA possui poder legislativo e, com isso, pode nortear os objetivos da qualidade hídrica. Em 1972, por exemplo, o órgão instituiu a lei “Clean Water Act” e estabeleceu uma estrutura básica para regulamentar as descargas de poluentes em águas superficiais; além disso, foi responsável pelo programa de controle de descargas conhecido como “National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)”. Contudo, uma vez que o arranjo constitucional dos EUA permite maior independência entre os estados, a USEPA concede a eles o direito de excluir ou incluir parâmetros na gestão de águas. Portanto, compete aos estados definir os usos e prioridades dos corpos hídricos e garantir o abastecimento público,

⁵² LEEUWESTEIN; NETTO, *op. cit.*, p. 12.

⁵³ EA-UK. **The unseen threat to water quality: diffuse water pollution in England and Wales. Report.** United Kingdom, UK: Environment Agency, 2009. 21 p. Disponível em: http://www.fwr.org/Wqreg/Appendices/EA_Diffuse_Pollution_Report_gehoo2o7bzlvee_1773o88.pdf. Acesso em: 27. mar. 2017.

⁵⁴ OLIVEIRA, C. C.; MARQUES, D. M. Proteção e qualidade dos recursos hídricos brasileiros: contribuições da directiva europeia para a água. **Revista de Gestão das Águas da América Latina**, n. 1, v. 5, p. 9-12, jan./jun. 2008.

⁵⁵ MOST English and Welsh rivers too dirty for new European standards. **The Guardian**, 22 Sep. 2009. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2009/sep/22/pollution-rivers-environment-agency-england>. Acesso em: 27. mar. 2017.

fins recreacionais, agricultura, indústria, navegação e proteção da ictiofauna e fauna silvestre. Ressalta-se também que os critérios de qualidade da água devem estar em conformidade com os critérios estabelecidos pela USEPA. O processo para identificar os objetivos do corpo hídrico é feito por meio de diversos estudos, como: (i) caracterização física, química e biológica das águas; (ii) avaliações hidromorfológicas; (iii) análise dos ecossistemas aquáticos; (iv) definição das áreas de inundação; (v) avaliações de aspectos sociais e econômicos locais; e (vi) análise da qualidade cênica dos corpos de água para propor potenciais usos para a comunidade. A comunidade do local, por sua vez, é consultada por meio de processos de consultas públicas para escolher os objetivos de qualidade. A proposta final, porém, deve ser feita por agências locais ou órgãos governamentais e então remetida à autoridade governamental para assinatura, sendo a participação social no processo de caráter meramente consultivo⁵⁶.

No Canadá, em nível federal, a legislação associada à política ambiental (Lei de Proteção Ambiental - Canadian Environmental Protection Act) é de 1999. A regulamentação da política é de jurisdição provincial. Até 2013, não existia uma política federal que disciplinasse o gerenciamento de recursos hídricos, mas, em 2014, foi promulgada a Lei de Sustentabilidade das Águas (*Water Sustainability Act*)⁵⁷, inspirada na necessidade de garantir esse recurso ambiental para as presentes e futuras gerações, em função de eventos de escassez hídrica vivenciados em diversas províncias, como por exemplo na Columbia Britânica, na Costa Oeste canadense⁵⁸. Relativamente ao processo de classificação e enquadramento de corpos hídricos, este pode envolver ou não aspectos de participação comunitária, mas baseia-se principalmente em aspectos econômicos. Os parâmetros provinciais para controle de qualidade de água são estabelecidos de acordo com os usos (água potável para abastecimento público e processamento de alimentos, proteção da vida aquática e selvagem, agropecuária, irrigação e criação de animais, recreação e uso paisagístico ou usos industriais). Maior número de parâmetros é requerido para a água potável destinada ao abastecimento público, e os níveis máximos permitidos de contaminantes são mais restritivos quando se trata de água para proteção ecossistêmica. A definição dos parâmetros de potabilidade é conduzida pela Agência Federal de Saúde (*Canada Health*) e pode passar por processos de consultas públicas *on line*, destinadas prioritariamente às agências reguladoras, comunidades acadêmicas, agências de proteção à saúde, empresas públicas responsáveis pela distribuição de água potável, sendo facultada, contudo, a participação do público em geral^{59,60}. Na Columbia Britânica, 43 parâmetros compõem os padrões de potabilidade físico-químicos e microbiológicos⁶¹. Destes, 41 são oriundos de regulamentações provinciais estabelecidas entre 1988 e 2014, e dois (arsênio e chumbo) provenientes da Agência Federal de Saúde.

⁵⁶ MUNDIM, R. A. L. **Fatores intervenientes no processo de enquadramento**: o caso da Bacia hidrográfica do Rio Verde, MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

⁵⁷ CANADÁ. Government of Canada, Ministry of Environment. **Water Sustainability Act.**, 2014. Legislative Session. 2nd Session, 40th Parliament, 2014.

⁵⁸ VANCOUVER SUN. **Water special report**, from 12TH to 23TH Sep. 2015, British Columbia, CA. Disponível em: <http://www.vancouversun.com/news/topic.html?t=topic&q=water+series>. Acesso em: 27 mar. 2017.

⁵⁹ HEALTH CANADA. Environmental and Workplace Health Consultations. **Water Quality**. Disponível em: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-smmt/consult/index-eng.php#water>. Acesso em: 27 mar. 2017.

⁶⁰ HEALTH CANADA. **Consultation on lead in drinking water**. 2016. Disponível em: <http://www.healthycanadians.gc.ca/health-system-systeme-sante/consultations/lead-drinking-water-plomb-eau-potable/index-eng.php>. Acesso em: 27 mar. 2017.

⁶¹ BRITISH COLUMBIA. **British Columbia Approved Water Quality Guidelines**: Aquatic Life, Wildlife & Agriculture. Summary Report. BC, CA: Water Protection & Sustainability Branch, Ministry of Environment, 2016. Disponível em: http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/wqgs-wqos/approved-wqgs/final_approved_wqg_summary_march_2016.pdf. Acesso em: 27 mar. 2017.

Na Costa Leste canadense, destacam-se experiências de classificação e enquadramento dos corpos hídricos envolvendo a participação popular, como por exemplo a da província marítima de Nova Brunsvique (New Brunswick). As águas são divididas em seis classes: (i) águas naturais (classe especial); (ii) águas para abastecimento humano; (iii) águas de lagos, lagoas e represas; (iv) rios classe A (manutenção de ecossistemas naturais e contato primário); (v) rios classe B (manutenção de ecossistemas manejados e contato primário); e (vi) rios classe C (manutenção de ecossistemas manejados e contato secundário). Os padrões comparativos de qualidade avaliados para essas classes são: oxigênio dissolvido, bactérias termotolerantes, presença de vida aquática e estado trófico (para lagos). Nessa província, a participação social no processo de enquadramento envolve as seguintes etapas: (i) identificação dos atores sociais envolvidos; (ii) obtenção e interpretação de dados de qualidade da água; (iii) estabelecimento de cenários possíveis para a bacia hidrográfica (“*the vision of the watershed*”); (v) construção coletiva dos objetivos e metas de qualidade a serem alcançados para os rios e lagos da bacia hidrográfica; e (vi) implementação da classificação, incluindo o desenvolvimento de um plano de ação. A classe de um corpo hídrico é selecionada examinando-se a qualidade da água existente, levando-se ainda em consideração como as características de usos e ocupação da terra contribuem para a qualidade da água observada e considerando quais seriam as consequências ecológicas, econômicas e sociais da implementação da classificação em debate. Uma vez que a qualidade atual existente em um curso de água é conhecida, a comunidade pode trabalhar para estabelecer uma visão de manutenção ou de aprimoramento da qualidade futura. A regulamentação provincial foi escrita de forma a promover a melhoria gradual da qualidade da água e a desencorajar “retrocessos”.

No Brasil, a PNRH (Lei 9.433/97) objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, o CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, afirma que enquadramento é o estabelecimento da meta ou objetivo da qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento do corpo de água, de acordo com as classes associadas à qualidade da água e aos seus usos preponderantes, ao longo do tempo^{62,63}. A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH nº 91 de 05 de novembro de 2008, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d’água superficiais e subterrâneos, considera que o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, é instrumento de gestão de recursos hídricos da esfera do planejamento, que se expressa por meio do estabelecimento de metas intermediárias e final a serem alcançadas, devendo levar em conta a integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas. O CNRH enfatiza que o enquadramento pode determinar classes diferenciadas por trecho ou porção de um mesmo corpo de água, que correspondem a exigências a serem alcançadas ou mantidas de acordo com as condições e os padrões de qualidade a elas associadas⁶⁴.

⁶² BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, *op. cit.*

⁶³ BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

⁶⁴ BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH. Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento de corpos d’água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2009.

A classificação das águas doces segue um padrão mais restritivo (Classe Especial) ao menos restritivo (Classe O4), em que os usos destinados aos recursos hídricos devem manter uma qualidade tal que compatibilize preservação e uso. Por isso, Christofidis⁶⁵ (2006) observa que há usos que exigem uma qualidade muito superior a outros, como a irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas e sem a retirada de películas (casca), que requer uma qualidade muito superior (Classe O1) ao uso de transporte, por exemplo, que exige apenas o empuxo proporcionado pela água, e conseqüentemente, condições mínimas de qualidade (Classe O4).

Segundo a resolução CONAMA nº 357/2005, o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando à sua efetivação⁶⁶. O enquadramento é um instrumento que faz parte do Plano de Bacia capaz de assegurar a integração dos aspectos quantidade e qualidade de água⁶⁷. Leeuwestein⁶⁸ (2000) e Costa⁶⁹ (2008) propõem que o enquadramento seja um processo decisório participativo, incluindo estratégias de mobilização social para garantir a participação de usuários de água e da sociedade civil no processo de enquadramento e nos mecanismos de escolha das classes de uso e qualidade. É recomendável a construção de três cenários representativos das condições do rio a ser enquadrado: (i) cenário da condição atual, “o rio que temos”; (ii) cenário desejado, “o rio que queremos”; e (iii) cenário após análise das limitações técnicas e econômicas, “o rio que podemos ter”.

No Brasil, o Rio Grande do Sul foi o estado pioneiro na implementação do enquadramento e reúne algumas experiências ao longo dos anos em seus cursos d’água como o Gravataí, Sinos e Laguna dos Patos. Em 1994, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) elaborou duas propostas, com consulta pública. Haase, Silva⁷⁰ e Christofidis⁷¹ (2006) destacam a criação de uma comissão de trabalho que tinha como função centralizar as informações técnicas e viabilizar a participação da comunidade.

O Espírito Santo apresenta sua principal experiência por meio de uma simulação do processo de enquadramento envolvendo aspectos participativos nas bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu, principais mananciais de abastecimento da capital e região metropolitana. O processo ocorreu em função de um edital de pesquisa para a implementação do instrumento^{72,73}. Atualmente, o órgão ambiental capixaba lançou um edital para contratação de empresa de consultoria especializada para elaboração de Projeto Executivo para o Enquadramento dos Corpos d’Água e do Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. A contratação faz parte do Projeto de Conservação e Recuperação da Biodiversidade das Bacias Hidrográficas do Estado do Espírito Santo, “Projeto Florestas para Vida”⁷⁴.

⁶⁵ CHRISTOFIDIS, M. **O enquadramento participativo de corpos d’água como instrumento da gestão de recursos hídricos com aplicação na bacia do rio Cubatão do Sul**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 180f.

⁶⁶ BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**, *op. cit.*

⁶⁷ BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA. **Panorama do enquadramento dos corpos d’água**: panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília: ANA, SONDOTÉCNICA, 2007. 63p.

⁶⁸ LEEUWESTEIN, J. M. **Proposição de suporte metodológico para enquadramento de cursos de água**. 2000. xv, 201p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2000.

⁶⁹ COSTA, M.P.; CANEJO, J.G.L. A implementação do enquadramento dos corpos d’água em Bacias hidrográficas: conceitos e procedimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009. [S. l.]: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 2009.

⁷⁰ HAASE; SILVA, *op. cit.*

⁷¹ CHRISTOFIDIS, *op. cit.*

⁷² TEIXEIRA E. C. (coord.). **Enquadramento de corpos d’água como instrumento de planejamento para o desenvolvimento sustentável regional**: DESAGUA. Relatório Final CTHidro/CNPq (Projeto de Pesquisa FINEP/CT-Hidro) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

⁷³ TEIXEIRA, E. C. et al. Simulação do processo de enquadramento do rio Santa Maria da Vitória/ES com participação do comitê de bacia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 2007, São Paulo, SP. [Anais...]. São Paulo: ABRH, 2007.

⁷⁴ BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2012. 218 p.

Em Minas Gerais, o enquadramento é descrito na metodologia preconizada por Maciel Jr.⁷⁵ (2000), cujo processo é dividido em três fases: normativa, qualitativa e operativa. Na primeira, definem-se os objetivos de qualidade de água; na segunda, avalia-se a condição do corpo d'água e os desafios que serão enfrentados para se atingirem os objetivos e, na terceira, trabalha-se a execução das propostas e a correção dos desvios identificados na fase anterior.

Gonçalves⁷⁶ (2008) apresentou algumas ações de mobilização dos setores, como a reunião com os diversos segmentos da sociedade para ouvir suas opiniões e identificar seus interesses, ao mesmo tempo, solicitando de todos o apoio necessário para o desenvolvimento do processo e o comprometimento com a disseminação das informações aos seus representados, trabalhando na implementação de ações visando ao enquadramento do rio Salitre, sub-bacia do rio São Francisco. Dividiu seu trabalho em 04 seções: (i) caracterização das especificidades da região; (ii) identificação dos atores sociais envolvidos; (iii) identificação de etapas em que esses autores participarão; e (iv) apresentação das experiências de participação dos atores e do Comitê na definição das classes.

Medeiros⁷⁷ (2007) e Medeiros *et al.*⁷⁸ (2009) propuseram proposta de enquadramento para rios intermitentes e agregaram aspectos como: identificação do arranjo legal e articulação institucional; identificação dos atores sociais e grau de organização do comitê; elaboração do programa de participação do comitê no enquadramento; e elementos do diagnóstico e prognóstico. Os trabalhos acerca do enquadramento em rios intermitentes embasaram a construção da Resolução nº 141/2012 sobre critérios de outorga e enquadramento para rios intermitentes e efêmeros⁷⁹.

Christofidis⁸⁰ estudou três metodologias diferentes para obter o objetivo do estudo (enquadramento participativo), com aplicação na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul. Nesse estudo, apresentou uma metodologia denominada Roteiro Metodológico Participativo (ROMEPP).

Metodologia

Entre as diversas abordagens de pesquisas participativas (qualitativas) empregadas nos processos de gestão ambiental⁸¹, escolheu-se a utilização de observação participante e pesquisa documental para a consecução do presente trabalho.

⁷⁵ MACIEL, P. Jr. **Zoneamento das Águas**. 1. ed. Belo Horizonte: IGAM, 2000.

⁷⁶ GONÇALVES, M. do S. **Experiência de gestão participativa no enquadramento de corpos d'água no semi-árido**: caso de Estudo: Rio Salitre, Bahia. 2008. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2008.

⁷⁷ MEDEIROS, Y. D. P. (coord.). **Proposta metodológica para enquadramento dos corpos d'água em bacias de regiões semi-áridas**: PROENQUA. Relatório Final CTHidro/CNPq (Projeto de Pesquisa FINEP/CT-Hidro) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

⁷⁸ MEDEIROS, Y. D. *et al.* Enquadramento de corpos d'água no semi-árido brasileiro. In: JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. de A. (orgs.). **Governança da água na América Latina e Europa**: atores sociais, conflitos e territorialidade. São Paulo: Annablume, 2009. v.3. 226p.

⁷⁹ BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos**, *op. cit.*

⁸⁰ CHRISTOFIDIS, *op. cit.*

⁸¹ VIEIRA, P. F. *et al.* **Gestão integrada e participativa de recursos naturais**: conceitos, métodos e experiências. Florianópolis: Secco: APPED, 2005. 416p.

A observação participante, como um método para facilitar a inserção do pesquisador no contexto de sua pesquisa, foi empregada, principalmente, no contexto da antropologia⁸². O autor ressalta que esse método estabelece uma adequada inserção dos pesquisadores dentro do grupo de interesse, de modo a reduzir a estranheza recíproca. Cunha⁸³ (1982) estudou as origens desse método e verificou que os estudos com informações baseadas na observação participante foram inicialmente utilizados nos Estados Unidos e na Inglaterra e, posteriormente, difundidos ao redor do mundo. No Brasil, esse método iniciou-se na década de 70 e permite que, a partir de um envolvimento espontâneo, sejam extraídas conclusões utilizando o mínimo de controle na obtenção dos dados observados⁸⁴.

A observação participante para o presente trabalho ocorreu com a participação nas diversas reuniões e eventos do CBH Macaé Ostras: reuniões de plenárias – ordinárias e extraordinárias, reuniões da diretoria colegiada, reuniões das Câmaras Técnicas, normalmente ocorridas em conjunto, reuniões do Grupo Técnico de Acompanhamento – GTA do Plano de Recursos Hídricos, Oficinas e Consultas Populares.

Ao todo, estima-se algo da ordem de mais de 125 reuniões em quase 20 meses de acompanhamento, o que resulta, em média, 130 horas de observação participante, sem considerar reuniões extraordinárias, ouvindo, acompanhando, bem como expressando opinião sobre os diversos assuntos tratados pelo Comitê.

A pesquisa documental, segundo Neves⁸⁵ e Raupp e Beuren⁸⁶, constitui-se no levantamento e na análise de materiais que ainda não receberam tratamento analítico ou que podem ser reexaminados, com o intuito de uma nova interpretação ou complementação.

A pesquisa documental para o presente trabalho envolveu o levantamento de cerca de 80 trabalhos, no entanto, por uma limitação de formatação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, a maioria dos trabalhos apenas serviu para esclarecer os assuntos tratados, bem como para embasar o conhecimento e o desenvolvimento do presente estudo.

Entre os temas abordados por esta dissertação, a título de informação, apresenta-se uma estimativa de trabalhos consultados: (i) 31 trabalhos sobre Enquadramento de corpos d'água; (ii) 21 relatórios, dentre eles os relatórios parciais do Plano de Recursos Hídricos da RH VIII, os relatórios preliminares do Plano de Manejo da APA Macaé de Cima, os Planos diretores e relatórios de conjuntura dos recursos hídricos; (iii) 16 trabalhos sobre participação social; (iv) 12 trabalhos sobre governança dos recursos hídricos, entre muitos outros assuntos.

⁸² MARTINS, J. B. Observação participante: uma abordagem metodológica para a psicologia escolar. **SEMINA: Ciências Sociais/ Humanas**, Londrina/PR, v. 17, n. 3, p. 266-273, set. 1996.

⁸³ CUNHA, M. B. da. Metodologia para estudos dos usuários de informação científica e tecnológica. **Revista Biblioteconomia**, Brasília, v.10, n.2, p. 5-19, jul./dez. 1982.

⁸⁴ CUNHA, *op. cit.*

⁸⁵ NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, 2006.

⁸⁶ RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia aplicável às ciências sociais. In: BEUREN, I. M. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2003.

Dessa forma, os métodos descritos permitiram executar as seguintes atividades:

a) Selecionar, sistematizar e avaliar as metodologias disponíveis voltadas para o instrumento enquadramento de corpos d'água: etapa que envolveu o levantamento de aspectos legais, estudos e metodologias voltados para o enquadramento de corpos d'água;

b) Selecionar metodologias de enquadramento que possam subsidiar o estudo: as metodologias selecionadas foram analisadas para identificação de aspectos participativos no processo.

c) Avaliar as ações do comitê de bacia: a avaliação ocorreu com o acompanhamento do Comitê, por meio da participação em seus encontros e análise de suas principais decisões, ao longo de sua história, conhecida através das resoluções emitidas e por meio da experiência de Christofidis⁸⁷ (2006).

■ Indicar procedimento metodológico participativo produzido: nessa etapa, foi apresentada uma proposta de roteiro de enquadramento de corpos d'água baseada na realidade da Região Hidrográfica VIII, envolvendo aspectos participativos.

O Plano Recursos Hídricos e o enquadramento dos corpos hídricos da RH VIII

A partir da análise da Governança das Águas nas diferentes esferas de atuação, mundo, Brasil, Rio de Janeiro e local, do Comitê de Bacia Hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras e da observação participante efetivada nas atividades do CBH Macaé Ostras, foi possível conhecer um pouco mais sobre a gestão de recursos hídricos na teoria e na prática. Cabe destacar, em 2014, a conclusão e a publicação do Plano de Recursos Hídricos da RH VIII, o qual é um importante instrumento para o delineamento de diversas ações necessárias quanto à gestão das águas. O documento foi elaborado a partir de um termo de referência desenvolvido durante uma Oficina ocorrida em 2007, com representações do CBH Macaé Ostras e facilitação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, para composição dos diversos aspectos a serem contemplados pelo documento. Um plano preliminar para o gerenciamento das águas e o controle de inundações da bacia do rio Macaé já havia sido elaborado de forma preliminar pela Fundação Getúlio Vargas. A versão oficial publicada em 2014 é mais robusta e abrangente e foi executada por uma empresa de consultoria do Rio Grande do Sul, contratada após licitação para a realização do estudo, graças a um convênio firmado entre a PETROBRAS (como financiadora principal) e o Instituto Estadual do Ambiente (como fiscalizador), com interveniência do CBH Macaé. O Comitê também aportou recursos oriundos da cobrança pelo uso da água para as ações de mobilização popular e realização de rodas de conversa em diversas localidades da RH VIII, destacando-se a participação expressiva da comunidade do seu alto e médio/alto cursos.

⁸⁷ CHRISTOFIDIS, *op. cit.*

Dentre as etapas cumpridas pelo Plano e diversas ações executadas entre reuniões e Consultas Públicas, destaca-se a realização de uma Oficina de Imersão, pelo Comitê e pela empresa contratada, com o propósito de reunir instituições importantes para a Região Hidrográfica VIII, para debater acerca dos seus principais problemas e possíveis resoluções. Objetivamente, discutiu-se qual seria o papel do Comitê frente a esses desafios. A Oficina ocorreu entre os dias 30 de junho e 01 de julho, e reuniu 33 representantes de instituições direta ou indiretamente envolvidas com a questão dos recursos hídricos da RH VIII. Nesses dois dias de encontro, discutiram-se os principais problemas relativos à gestão de recursos hídricos, a definição de metas a serem alcançadas, a identificação de ações possíveis de serem executadas, os atores envolvidos nestas ações e os prazos necessários para executá-las.

Dentre as questões apontadas na oficina, destacou-se a necessidade de priorizar o instrumento enquadramento de corpos d'água da RH VIII. Também foi pontuado que a região já conta com dois estudos importantes para subsidiar o processo, Pinheiro⁸⁸ (2008) e Barreto (2009), que apresentam propostas preliminares de enquadramento, respectivamente, da calha principal do rio Macaé e do rio Imboassica. Entretanto, segundo o INEA, órgão fiscalizador do Contrato estabelecido para a elaboração do Plano, o apontamento de proposta de enquadramento envolveria custos não previstos pelo Contrato, não existindo previsão de implementação do instrumento para a bacia como parte integrante do Plano.

A principal vantagem de se implementar o enquadramento por meio do Plano de Recursos Hídricos seria a possibilidade de fornecimento de parte das informações necessárias para a construção da parte técnica da proposta, como o Diagnóstico e o Prognóstico, partes constantes do Plano que, com as devidas considerações e objetivos, poderiam auxiliar nas alternativas de enquadramento a serem indicadas.

A ANA (2007) informa que o enquadramento de corpos d'água para o estado do Rio de Janeiro é critério para outorga e cobrança pelo uso das águas. Assim, a proposta de enquadramento consta do Plano de Recursos Hídricos⁸⁹, e o órgão responsável pela consolidação dessa proposta seria a entidade delegatária com funções de Agência de Bacia do Comitê. É importante considerar que os dados e informações contidos no Plano de Recursos Hídricos possuem objetivo de delineamento geral e poderiam atender às exigências do enquadramento, parcialmente, para auxiliar na classificação as águas das calhas principais dos rios Macaé e das Ostras e dos seus principais tributários, mas não contempla a Lagoa de Imboassica. Uma atenção especial deve ser direcionada à parte alta da bacia do rio Macaé, portanto aos distritos de São Pedro da Serra e Lumiar, pela escala diferenciada que deve ser adotada para que a realidade do enquadramento contemple a região e seu histórico, economia e cultura peculiares.

Com base nas diversas experiências de enquadramento com aspectos participativos, descritas em literatura^{90,91,92,93}, propõe-se um procedimento metodológico para a implementação do enquadramento de corpos d'água voltado para a realidade sociopolítica da Região Hidrográfica VIII, apresentado na Figura 3. O detalhamento das etapas da metodologia proposta é exposto a seguir.

⁸⁸ PINHEIRO, *op. cit.*

⁸⁹ SEA, *op. cit.*, p. 109.

⁹⁰ CHRISTOFIDIS, *op. cit.*

⁹¹ GONÇALVES, *op. cit.*

⁹² MACIEL, *op.cit.*

⁹³ MEDEIROS, *op. cit.*

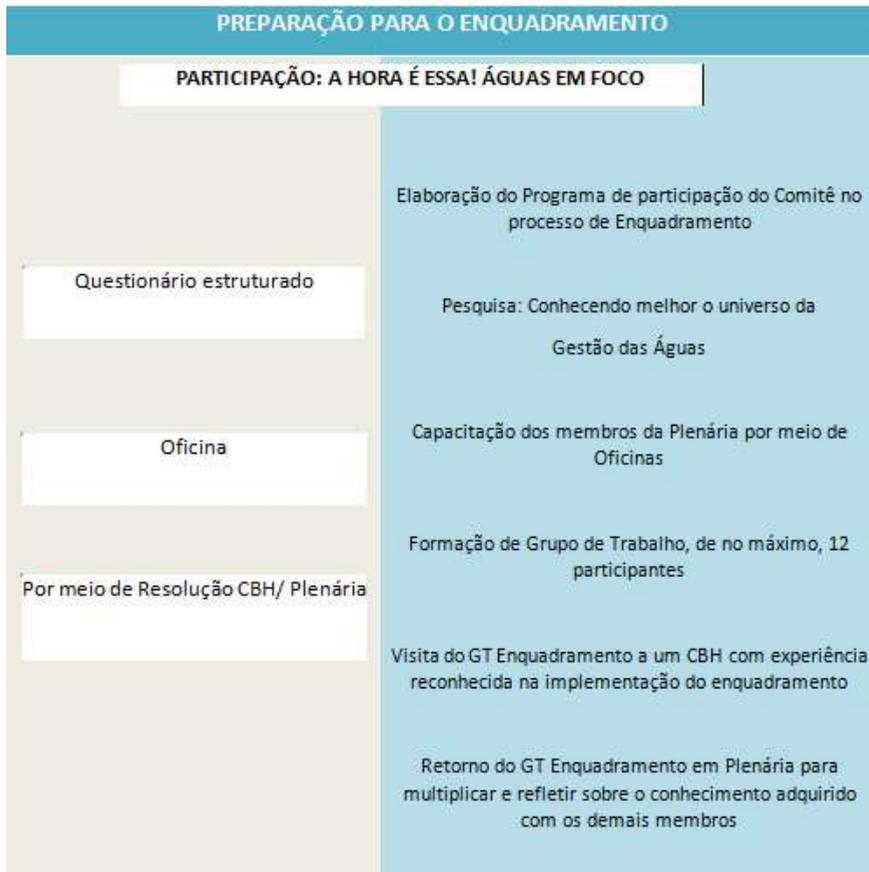


Figura 3: Metodologia de Enquadramento proposta para a RVIII com atividades participativas – preparação inicial para o processo de enquadramento

Nota: o detalhamento e os anexos necessários à aplicação do questionário e ao conteúdo das Oficinas pode ser acessado no trabalho completo acessível em: <http://portal1.iff.edu.br/pesquisa-e-inovacao/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-em-engenharia-ambiental/dissertacoes-de-mestrado/2013/gestao-de-recursos-hidricos-do-brasil-a-macaé-um-olhar-acerca-do-processo-de-enquadramento-de-corpos-hidricos-e-do-pagamento-por-servicos-ambientais-associados-a-conservacao-das-aguas>

Etapa 1 - O rio que temos: Elementos de participação social na etapa diagnóstico

Para a construção do processo de enquadramento, são propostas ações preliminares que podem ser executadas previamente ao diagnóstico da área de estudo. Conforme exemplo proposto por Gonçalves⁹⁴, a etapa preliminar envolveu atividades como: (i) avaliação; (ii) capacitação; e (iii) criação de um Grupo Gestor dentro da estrutura do CBH Macaé e das Ostras. Nessa etapa, propõe-se a execução da pesquisa “Conhecendo melhor a Gestão de Recursos Hídricos” para avaliar como conceitos ligados ao enquadramento de corpos d’água estão apropriados pelos membros do CBH Macaé Ostras, de forma a capacitá-los para julgar e aprovar, posteriormente, uma classificação das águas de maneira coerente.

⁹⁴ GONÇALVES, op. cit.

Vários conceitos podem ser trabalhados, como os da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e a classificação das águas que a norma preconiza, bem como as metas progressivas de qualidade de água. Posteriormente, prevê-se uma oficina de capacitação para que, de acordo com as principais dúvidas observadas por meio da aplicação dos questionários, os membros da Plenária conheçam e debatam o enquadramento.

Com a Plenária do Comitê capacitada e familiarizada com os detalhes sobre o enquadramento, propõe-se a formação de um Grupo Gestor, eleito pela própria Plenária, que contemple, de forma prioritária, representações do Poder Público, da Sociedade Civil e dos Usuários dos recursos hídricos. No caso do CBH Macaé Ostras, esse grupo gestor em sua composição deve contemplar a existência de um membro do Consórcio Lagos São João, entidade delegatária com funções de Agência de Bacia do Comitê Macaé Ostras e, pelo menos, 01 (um) convidado, não membro da Plenária, a exemplo da experiência do Espírito Santo no processo de enquadramento. Outra atividade a ser executada com o objetivo de preparação para o processo de enquadramento seria a visita, por parte do Grupo Gestor GTEnq – MACAEOSTRAS, a lugares com o instrumento já implementado, como, por exemplo, uma visita ao estado do Rio Grande do Sul para conhecer a experiência de enquadramento com viés participativo por meio de visita ao órgão ambiental, bem como, à sede de um CBH para conhecer os principais desafios desse instrumento.

Na fase Diagnóstico propriamente dita, para o levantamento das informações da bacia, recomendam-se ações de cunho educativo, como a reativação do evento “Oficinas – Bases Científicas para a gestão do rio Macaé”, iniciativa realizada pelo Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé – NUPEM-UFRJ, em maio de 2007, que reuniu instituições de ensino e pesquisa da região, bem como usuários de água e representantes do Comitê de Bacia, com o intuito de estabelecer ações concretas na bacia para preservar a água e a biodiversidade⁹⁵. Ampliando a proposta do NUPEM, propõe-se realizar encontros anuais que reúnam o saber político (Comitê Macaé Ostras), o saber científico (universidades, instituições de pesquisa) e o saber popular (membros da comunidade e quem mais desejar participar). Com isso, o objetivo principal é tornar a RH VIII foco constante de debates sobre a gestão das águas, inclusive sobre enquadramento.

Algumas atividades esportivas aliadas à prática de educação ambiental foram relatadas na experiência de Gonçalves⁹⁶. A sugestão, nesse sentido, é aproveitar “o Rio que temos” para incentivar o estreitamento das relações, possibilitando a reflexão para a próxima etapa metodológica.

A canoagem poderia ser uma boa opção para a parte baixa dos rios Macaé e das Ostras, conhecendo e aproveitando a experiência da Prefeitura de Macaé, por meio de sua Secretaria do Ambiente, em promover esse tipo de prática no rio Macaé. Para as partes altas, uma sugestão seriam as expedições às cachoeiras do Sana, da Bicuda Grande (distritos de Macaé) e ao “Encontro dos Rios”. A ideia é a confecção de kits de análise rápida de qualidade de água e folhetos educativos para que se possa verificar *in loco* a realidade do rio, cada qual com a sua, seja o baixo, médio e alto curso.

⁹⁵ JORNAL UFRJ. Disponível em: http://www.ufrj.br/mostraNoticia.php?noticia=3580_Agua-o-ouro-azul-desseseculo.html. Acesso em: 26 maio 2013.

⁹⁶ GONÇALVES, op. cit.

Adiantando as atividades do futuro da bacia (Prognóstico), sugere-se a realização de um Seminário para discussão das perspectivas sobre a vazão de referência do estado do Rio de Janeiro. Trata-se de um encontro entre as Gerências de Instrumento de Gestão e Gestão de Águas e Territórios e demais participantes do Instituto Estadual do Ambiente – INEA. Vale comentar que, ao final do diagnóstico, que envolveria aspectos técnicos participativos, estaria prevista a realização de Consultas Populares para a devida discussão com a comunidade de todo processo de enquadramento realizado nessa etapa. O processo está esquematizado na Figura 4.

Etapa 2 – O rio que queremos: elementos de participação social na proposição do prognóstico

Para as ações de participação social e obtenção do rio que queremos, várias atividades são sugeridas, como por exemplo a produção de vídeo com o rio que já temos e com o que se pensa sobre o futuro, para auxiliar/estimular os diversos segmentos a pensarem sobre o presente e o futuro da RH VIII. Essa produção poderia envolver um grupo vinculado ao Instituto Federal Fluminense, com experiência em vídeos de cunho ambiental na região em questão.

Também se sugere a realização de seminários envolvendo os membros da Plenária do CBH e moderados pelo GTEnq – Macaé Ostras para a exposição das perspectivas para o futuro dentro da área de atuação de sua instituição na bacia.

Os seminários têm como objetivo auxiliar a discussão sobre as condições socioeconômicas e ambientais da bacia e os principais desafios para o futuro, fase correspondente ao que Maciel Jr.⁹⁷ chama de fase qualitativa. O resultado dessa ação deverá ser uma visão de futuro da bacia, com a definição dos usos preponderantes que subsidiará a parte técnica da proposta de enquadramento com a formulação de cenários, juntamente com os resultados dos trabalhos realizados pelo órgão estadual do SISNAMA com as perspectivas sobre a vazão de referência do estado do Rio de Janeiro.

Paralelamente, aproveitando a indicação das principais instituições da bacia pelos relatórios já consolidados do seu Plano de Recursos Hídricos, sugerem-se Oficinas com a comunidade da RH VIII, nas quais seria realizado um diagnóstico participativo rápido para colher informações sobre perspectivas futuras. O GTEnq – Macaé Ostras deverá atuar como facilitador da oficina, oferecendo seu apoio e os conhecimentos já adquiridos sobre o assunto.

Adicionalmente aos já formados saber político e saber popular, propõe-se a realização de uma Oficina com os pesquisadores das Universidades participantes do Encontro “Bases científicas para a gestão do rio Macaé”. Dessa forma, busca-se a indicação dos usos preponderantes para a bacia por parte desses pesquisadores, considerando os diversos aspectos necessários ao desenvolvimento da região, compondo a proposta do saber científico/acadêmico. Também ao final dessa etapa, propõe-se a realização de Consultas Populares. O processo está esquematizado na Figura 5.

⁹⁷ MACIEL, *op. cit.*



Figura 4. Metodologia de Enquadramento proposta para a RVIII com atividades participativas – rio que temos para o processo de enquadramento.

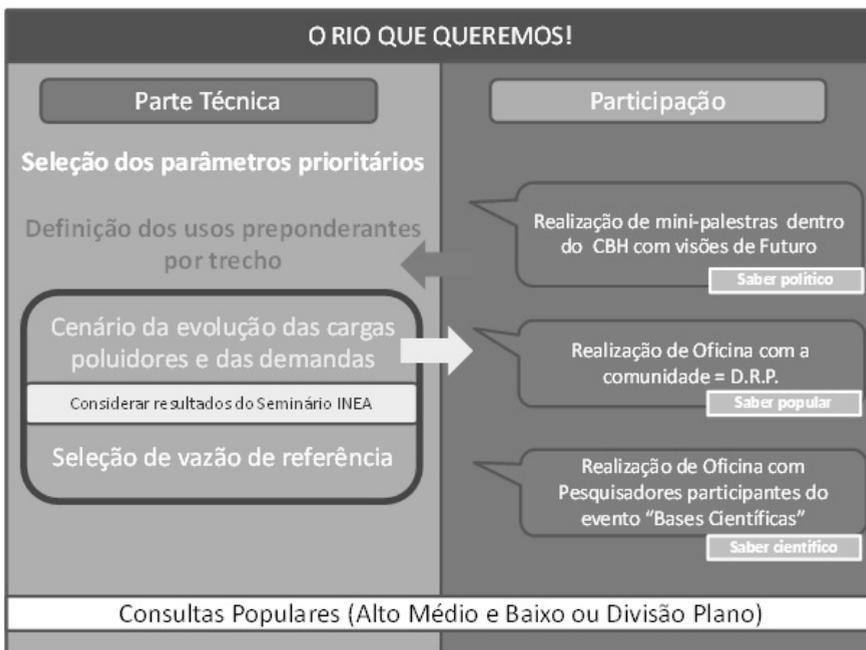


Figura 5: Metodologia de Enquadramento proposta para a RHVIII com atividades participativas - O rio que queremos ter para o processo de enquadramento

Etapa 3 – O rio que podemos ter: elementos de participação social na proposição de alternativas de enquadramento

Com o apoio da parte técnica do processo de Enquadramento e do O GTEnq – Macaé Ostras, três propostas de alternativas de enquadramento apontando os usos pretendidos, a qualidade existente e a qualidade requerida seriam apresentadas ao Comitê, contemplando separadamente as sugestões do saber político, as do saber popular e as da academia. Caberia ao Grupo de Trabalho apresentar e explicar as propostas aos membros da Plenária.

Em reunião ordinária, o Comitê optaria por uma das três propostas ou pela junção e compatibilização de informações de todas. Essa proposta única, votada e legitimada, representaria “O Rio que escolhemos Ter!”. A partir dessa fase, caberia ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro, o CERHI, analisar e aprovar a deliberação do CBH, via resolução específica. A próxima fase corresponderia à efetivação do enquadramento. Nela, sugere-se que ocorram consultas populares para apresentar à população a Resolução válida e os próximos desafios, como o monitoramento, a fixação das metas progressivas de qualidade de água e o acompanhamento pela sociedade de todas as ações envolvidas, num verdadeiro pacto. O processo está esquematizado na Figura 6.

A estimativa dos custos totais para realização das diversas ações de participação sugeridas pelo presente roteiro metodológico é de R\$200.000,00, o que não representaria um montante elevado de recursos financeiros, dentro do montante total de recursos necessários à implementação do plano como um todo, até 2022 (R\$ 35.727.201,00, incluindo investimentos e custos anuais), face à importância estratégica das águas da RH VIII para o Brasil. Porém, destacamos que, face ao contingenciamento dos recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro, ocorrido em 2016, os Comitês de Bacia estaduais vivenciam um momento de crise e paralisação parcial de diversos projetos em andamento. Em função dos custos envolvidos na execução da metodologia aqui apresentada, que foi recomendada no programa “Proposta de intervenção: enquadramento e redução de cargas de poluição”, que consta no Plano de Bacia, outras estratégias inicialmente formuladas, como a aplicação de questionários e capacitação das representações do CBH, precisaram ser reestruturadas e redimensionadas.



Figura 6: Metodologia de Enquadramento proposta para a RVIII com atividades participativas – O rio que queremos ter para o processo de enquadramento

Adaptação metodológica em tempos de crise financeira estadual: “e se eu fosse você?”

Com a finalidade de iniciar a execução da meta do Plano de Bacias sobre o enquadramento dos corpos hídricos na região, foram realizadas duas oficinas organizadas pelo CBH Macaé: uma para jovens representantes de escolas e colégios dos diversos municípios da RH VIII (durante o II Fórum Água e Juventude do CBH, em 2016) e outra para as representações do CBH, em 2017. Ambas ocorreram no *Campus* Macaé do Instituto Federal Fluminense. Devido às limitações orçamentárias que o CBH Macaé vem enfrentando desde 2015, a metodologia originalmente proposta foi adaptada, com base em pressupostos e reflexões descritos em detalhes na obra “*Ecopragnatics*”⁹⁸. A adaptação consistiu na realização de reuniões simuladas do Comitê de Bacias Hidrográficas que abordaram o tema do enquadramento de corpos hídricos da RH VIII. De forma a compreender a motivação, a visão de mundo e os interesses envolvidos nas disputas e conflitos de uso da água, o exercício de representar papéis de personagens fictícios associados a atores sociais usualmente presentes na gestão das águas é por nós considerado fundamental para a

⁹⁸ WIMBERLEY, E.; PELEGRINO, S. *Ecopragnatics*. Illinois, USA: Common Ground Publishing LLC, 2014. p. 135–163.

formação e a renovação dos quadros das representações que participam dos Comitês de Bacia e, portanto, devem atuar como “parlamento das águas”. Solicitados a se colocar no lugar do outro (na proposta original em inglês “Step inside my shoes”, aqui livremente traduzida como “e se eu fosse você?”), os participantes foram apresentados a diferentes posturas comumente encontradas em fóruns de controle social, as quais por sua vez estão relacionadas a visões de mundo e/ou interesses específicos.

No evento destinado aos jovens, na abertura dos trabalhos, foi apresentada uma palestra introdutória que abordava o que era o Plano de Bacia, o Comitê de Bacias Hidrográficas, o enquadramento e suas fases, as classificações dos corpos hídricos e a importância social no processo de enquadramento. Os estudantes foram divididos em grupos de trabalho (GT), cada grupo com o nome de um rio da região. Cada GT recebeu o mapa da RH VIII, a classificação dos corpos hídricos estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05 e uma tabela com o trecho do corpo hídrico e a proposta do Plano para que fosse debatida e referendada ou refutada. Foram sorteados papéis e tipologias para que cada jovem estudasse seu papel e elaborasse sua forma de atuação, a fim de apresentar seu personagem e a instituição que ele representaria durante a reunião. Igual simulação foi feita para os membros do CBH, que representaram papéis diferentes daqueles que costumam defender nas reuniões plenárias do Comitê.

Os papéis foram divididos em Sociedade Civil, Poder Público, Usuários. Com os GT dos jovens, o papel de presidência do CBH foi exercido nos GT por membros do Comitê que atuaram simultaneamente como moderadores e Secretaria Executiva, para anotar o que foi discutido durante a reunião para ser debatido com os outros grupos no final da oficina, uma reunião plenária simulada, presidida pela organização dos eventos. As seguintes tipologias foram empregadas:

- Usuários:

- Executivo da indústria do petróleo: tem preocupação com a escassez hídrica;
- Consultor de um empreendimento hidrelétrico: tem interesse em desviar o curso do rio, diminuindo sua vazão para atender o projeto de hidrelétrica;
- Agricultor familiar: tem interesse em manter os corpos hídricos limpos para uso de irrigação, porém é a favor da retirada das águas do rio (num nível pequeno) para irrigação de sua propriedade;
- Empresário do agronegócio: tem interesse em manter os corpos hídricos limpos para irrigação, porém é a favor de retificações e retirada da água do rio para irrigação de suas propriedades;
- Canoísta/trilheiro: tem interesse em manter os corpos hídricos limpos para prática de esportes;
- Pescador: tem interesse em manter os corpos hídricos limpos para que possa trabalhar;
- Empresário do ramo da hotelaria: tem interesse em manter os corpos hídricos limpos para promover o ecoturismo;
- Comerciante local: visa ao crescimento da região.

- Poder Público:

- Representantes dos municípios Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Nova Friburgo, Trajano de Moraes. Os representantes técnicos, um para cada município, poderiam ter os seguintes perfis:
 - Representante técnico: defende os interesses do seu município, mas tem a compreensão da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental e territorial fundamental e de que proteger a bacia como um todo garante a sustentabilidade do seu município, a longo prazo;
 - Representante político: tem interesse apenas em defender os interesses de curto/médio prazos do seu município;
 - Representante “tô nem aí”: só vai para dizer que a prefeitura de determinada cidade está indo;
- Representante do governo do estado 1: tem interesse em garantir a disponibilidade hídrica da bacia e em otimizar a aplicação de recursos de modo a beneficiar o maior número possível de atores sociais;
- Representante do governo do estado 2: perfil centralizador, com pretensões políticas;
- Representante dos vereadores: tem interesse em ajudar os jovens dos agronegócios.
- Técnico de Unidade de Conservação da região hidrográfica: tem interesse na preservação ambiental da região, sem considerar as necessidades econômicas e sociais.

- Sociedade Civil:

- Estudante/pesquisador: tem interesse em otimizar a aplicação de recursos na bacia de modo a beneficiar o maior número de atores possíveis;
- Sindicalista 1: está atuando no CBH para defender interesses próprios, pois tem pretensões políticas;
- Sindicalista 2: atua no CBH para defender os interesses dos trabalhadores (questões de saúde do trabalho, empregabilidade na região, etc.);
- Ambientalista 1 (de uma ONG idealista): preservacionista (extremista);
Ambientalista 2 (ONG de projetos): tem interesse em aprovar seus próprios projetos no CBH;
- Ambientalista 3: representante de associação criada para promover educação ambiental como forma de medida compensatória em obras de licenciamento ambiental;
- Simpatizante da gestão das águas: representação não qualificada, que participa do CBH por entender que conservar os recursos hídricos é importante, mas não sabe como atuar.
- Ambientalista 4: estudante ou pesquisador de visão conservacionista;
- Ambientalista 5: representante de ONG socioambiental que tem interesse em compatibilizar a questão ambiental e a econômica na região.

Ao final da reunião, os resultados sistematizados foram debatidos, e a avaliação dos participantes acerca da metodologia proposta foi positiva. A Plenária do Comitê pretende dar continuidade ao processo, por meio de consultas populares que dependem da liberação dos recursos do FUNDRHI para ocorrer.

Conclusões

Com a consolidação do Plano de Recursos Hídricos, a RH VIII entrará para um grupo de bacias que já possuem boa parte dos instrumentos implantados, e em funcionamento, com exceção do enquadramento de corpos d'água, evidenciando a importância de reunir esforços para a implementação desse instrumento.

Com a nova divisão das regiões hidrográficas, recentemente reconhecida pelo CERHI, o Comitê Macaé Ostras precisa solicitar a participação de representantes do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba nas suas reuniões, bem como, buscar maior participação do município de Carapebus, com área maior de seu território incluída na RH VIII, e maior participação do município de Trajano de Moraes. Vale lembrar que grandes usuários de água ligados à economia do petróleo fazem parte da Plenária desse Comitê.

Particularmente quanto ao enquadramento, o CBH Macaé Ostras precisará mobilizar, ainda mais, seus membros para a execução de ações que lhe serão atribuídas pelo presente trabalho como: Formação de Grupo de Trabalho, realização de oficinas, visitas, dentre outras atividades.

Ressalta-se que o enquadramento representa um elemento de articulação e integração entre gestão ambiental, territorial e de recursos hídricos, além de ser referência para instrumentos como licenciamento ambiental, outorga e cobrança. Deve ser um processo de base para a execução do Plano de Bacias, e a integração desses diversos instrumentos é fundamental para o cumprimento das metas de qualidade de água e o alcance do “rio que desejamos ter” ou que “escolhemos ter”.

A metodologia participativa proposta com base em estudos e na realidade da RH VIII deve ser aplicada e ajustada às proposições eventualmente não previstas neste estudo. A consecução da metodologia proposta poderá trazer para a RH VIII um reconhecimento da comunidade quanto à situação e necessidades dos rios Macaé, das Ostras e Imboassica, bem como um desafio de mudança de realidade.

Notadamente, as atividades de participação social são, em termos financeiros, de menor valor, em relação às atividades de cunho técnico necessárias para dar subsídio à decisão da sociedade sobre os usos desejados para a bacia. Assim, a previsão no Plano de Recursos Hídricos da RH VIII de indicação de informações técnicas aplicáveis ao Enquadramento da Região, pelo menos nas calhas principais dos rios Macaé, das Ostras e Imboassica, é fundamental. Tal ação poderá auxiliar na definição das lacunas de informações existentes e que necessitam ser preenchidas a fim de implementar o enquadramento.

A participação social, requisito imprescindível para a implementação de qualquer instrumento das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, ainda apresenta inovações metodológicas pouco detalhadas pelos trabalhos analisados. Mesmo assim, o acompanhamento da vivência do Comitê Macaé Ostras permitiu propor ações de participação para o processo de enquadramento.

Agradecimentos

Ao CNPq, a todas as representações do CBH Macaé e aos jovens da RH VIII engajados na luta pela gestão das águas no estado do Rio de Janeiro. À CAPES pelo apoio no aperfeiçoamento da coordenação da presente equipe de pesquisa (Processo BEX 2577/15-1).

A INSUSTENTÁVEL “CAPITAL DO PETRÓLEO”: O CASO DO ESTUÁRIO DO RIO MACAÉ

Rafael Nogueira Costa (UFRJ Macaé) · Fátima Teresa Braga Branquinho (UERJ)
Maurício Mussi Molisani (UFRJ Macaé)

Introdução

Iniciaremos a discussão apresentando algumas observações a respeito dos conceitos de “desenvolvimento sustentável” e “sustentabilidade”. Nesse sentido, é preciso esclarecer que, apesar da vasta literatura, não existe uma definição “doutrinária consensual” para essas expressões; pelo contrário, diversos autores apontam críticas por apresentarem um “caráter meramente teórico, vago e muito amplo” e, com isso, indicarem “pouca orientação prática” ou até mesmo serem mal compreendidos^{1,2}. Podemos afirmar, portanto, que são noções controversas, na fala de especialistas, políticos, jornalistas e moradores de diferentes localidades que hospedam projetos técnico-científicos de diferentes matizes, interesses e agenciamentos.

Apesar da controvérsia, quase quarenta anos depois do termo desenvolvimento sustentável ter sido difundido, estabelecendo uma relação entre a conservação da natureza e o crescimento econômico-social³, o conceito ainda é um pilar para a aplicação dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente⁴ e é empregado para aferir a forma organizacional pela qual a sociedade se utiliza dos recursos ambientais⁵.

De acordo com Machado⁶, o termo foi cunhado por Ignacy Sachs, que considerou a existência de oito tipos de sustentabilidade (social, econômica, ecológica, espacial, territorial, cultural, política nacional e política internacional) para apresentar as dimensões do que denomina ecodesenvolvimento⁷. Posteriormente, o termo foi amplamente difundido pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas ou Relatório Brundtland⁸, ficando conhecido como “Nosso Futuro Comum”.

¹ MACHADO, C. J. S. (org.). **Ciências, políticas públicas e sociedade sustentável**. Rio de Janeiro: E-papers, 2012.

² SARTORI, S.; LATRONICO, F.; CAMPOS, L.M.S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Revista Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 01-22, mar. 2014. Disponível em: <http://bit.ly/1tuwj3d>. Acesso em: 17 jun. 2016.

³ UCN. UNEP. WWF. **The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development**. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature (IUCN); United Nations Environment Programme. UNEP: World Wide Fund for Nature (WWF), 1980.

⁴ BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 02 set. 1981, Brasília, DF.

⁵ ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 16ª. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

⁶ MACHADO, C. J. S. (org.). **Ciências, políticas públicas e sociedade sustentável**, op. cit.

⁷ SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

⁸ WCED. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

Engrossando a controvérsia entre especialistas do campo temático, Machado⁹ afirma que o desenvolvimento nacional qualificado como sustentável deve possuir pelo menos quatro elementos, indicando a complexidade do tema e a necessidade de uma abordagem multidisciplinar: (i) crescimento econômico; (ii) defesa do ambiente; (iii) justiça social; e (iv) responsabilidade intergeracional.

Neste ensaio, apesar de pouco evidente e demandando pesquisa criteriosa, nos limitaremos a analisar a sustentabilidade ambiental (defesa do ambiente), conforme indicado por Machado¹⁰. Esse elemento apresenta como indicativo a redução da pressão antrópica sobre os sistemas naturais e a ampliação da prestação de serviços ambientais¹¹.

É necessário frisar que, na maioria das vezes, as modificações no ambiente estão relacionadas a elementos da justiça social e da responsabilidade intergeracional¹², como observado neste trabalho.

Trabalharemos empiricamente analisando o ecossistema do estuário do rio Macaé, pela sua importância na manutenção do equilíbrio ecológico na zona costeira dos oceanos e pelo seu vínculo com a cadeia produtiva da pesca¹³.

Este trabalho visa responder à seguinte questão: diante do cenário ambiental do estuário do Rio Macaé, é possível incorporar o discurso do desenvolvimento sustentável e sustentabilidade na “Capital do Petróleo”?

Além desta Introdução, o trabalho está organizado em três seções: (i) A “Sociedade do Hidrocarboneto” e a “Capital do Petróleo”; (ii) Ambientalização mundial e as políticas ambientais no Brasil; e (iii) Estuário do rio Macaé pelo olhar dos cientistas e dos moradores.

Diante do cenário descrito, conclui-se uma incompatibilidade entre o uso dos conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade na “Capital do Petróleo”.

A “Sociedade do Hidrocarboneto” e a “Capital do Petróleo”

Apesar de a história do petróleo ter começado anteriormente, foi no século XX que vivenciamos uma radical transformação com o seu advento, ao passo que vivemos hoje a “Sociedade do Hidrocarboneto”¹⁴. A corrida pelo “ouro negro” teve sua escala de maior envergadura no cenário internacional ao surgirem os primeiros veículos dotados de motores a combustão interna¹⁵.

De acordo com Yergin¹⁶, seis companhias de petróleo ocupam o *ranking* das dez maiores empresas do mundo, compondo o cenário das “maiores e mais influentes corporações do planeta”¹⁷.

⁹ MACHADO, C. J. S. (org.). **Ciências, políticas públicas e sociedade sustentável**, op. cit., p. 167.

¹⁰ MACHADO, C. J. S. (org.). **Ciências, políticas públicas e sociedade sustentável**, op. cit.

¹¹ SARTORI, S.; LATRONICO, F.; CAMPOS, L.M.S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura, op. cit., p. 4.

¹² MACHADO, C. J. S. (org.). **Ciências, políticas públicas e sociedade sustentável**, op. cit.

¹³ MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. p. 25-424.

¹⁴ YERGIN, D. **O petróleo**: uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2012.

¹⁵ FIGUEIREDO, M. **A face oculta do ouro negro**: trabalho, saúde e segurança na indústria petrolífera *offshore* da Bacia de Campos. Niterói: Editora da UFF, 2012. p. 41.

¹⁶ YERGIN, D. **O petróleo**: uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2012.

¹⁷ FIGUEIREDO, M. **A face oculta do ouro negro**: trabalho, saúde e segurança na indústria petrolífera *offshore* da Bacia de Campos, op. cit., p. 43.

O petróleo é um produto intimamente imbricado nas estratégias nacionais e nas políticas globais, entrando no cenário de disputas na II Guerra Mundial e na Guerra Fria, fazendo com que países periféricos à política internacional assumissem subitamente uma posição de grande riqueza e influência, reconfigurando a dinâmica econômica e a política global¹⁸.

Esse novo modelo energético permitiu que a nossa sociedade se tornasse uma “Sociedade do Hidrocarboneto”, beneficiando produtos como o querosene. Esse produto ficou conhecido como a “nova luz”, responsável por fazer recuar a noite, estendendo assim as horas de trabalho. Além do querosene, inventamos as máquinas de combustão interna movidas por gasolina, que impulsionaram o “nascimento de uma nova civilização”¹⁹.

Como consequência global, “somos forçados a trazer nosso olhar de volta a Gaia”, que sofreu modificações tão drásticas pela ação dos humanos que inauguramos um novo período, chamado pelos “geólogos-feitos-filósofos” de Antropoceno²⁰.

Figueiredo²¹ reforça a discussão ao apontar que, no final do século XIX, o petróleo já havia sido incorporado ao consumo de massa quando o carvão mineral – hegemônico desde a Primeira Revolução Industrial (a partir de meados do século XVIII) – foi sendo substituído pelo óleo diesel e quando o querosene substituiu o óleo de baleia utilizado como fonte de iluminação domiciliar.

No Brasil, juridicamente, a indústria do petróleo é definida como um “conjunto de atividades econômicas relacionadas com a exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte, importação e exportação de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados” (Lei nº 9.478/1997, no artigo 6º, inciso XIX).

De acordo com Leite (2009), a partir do marco inicial da atividade petrolífera no Brasil, na década de 1930, até a autossuficiência, em 2006, a natureza jurídica e a participação governamental passaram por inúmeras modificações. Duas se destacam: o monopólio estatal da Petrobras e a possibilidade de participação do capital privado, sob regime regulatório, por um modelo de concessão²².

A descoberta de reservas marítimas de petróleo e gás na Bacia de Campos, no final da década de 1970, alterou radicalmente a posição do Brasil quanto à dependência internacional de petróleo, principalmente quando o país atingiu a autossuficiência em 2006²³.

Contudo, o centro da rede que estabelece conexão em terra com a Bacia de Campos ainda é o município de Macaé, funcionando como um verdadeiro parque exploratório, com muitas empresas operando em galpões, com baixo investimento arquitetônico, possivelmente esperando o próximo local para “pousar os seus tubos de perfuração”.

Piquet²⁴ (2012) ressalta que a instalação da Petrobras em Macaé, uma região historicamente baseada na produção de cana-de-açúcar e na pecuária bovina – em declínio –, provocou transformações rápidas e radicais na organização do território, acarretando mudanças na estrutura populacional, no emprego, na malha urbana, no quadro político e na cultura local.

¹⁸ YERGIN, *op. cit.*

¹⁹ *Ibid.*, p. 13-15.

²⁰ LATOUR, B. Para distinguir amigos e inimigos no tempo do Antropoceno. **Revista de Antropologia**, São Paulo, USP, v. 57, n. 1, 2014.

²¹ FIGUEIREDO, M. **A face oculta do ouro negro**: trabalho, saúde e segurança na indústria petrolífera offshore da Bacia de Campos, *op. cit.*

²² LEITE, F. do R. V. D. As participações governamentais na indústria do petróleo sob a perspectiva do estado-membro: importância econômica, natureza jurídica e possibilidade de fiscalização direta. **Rev. Direito GV [on-line]**, v. 5, n. 2, p. 527-548, 2009. ISSN 1808-2432.

²³ PINTO JUNIOR, H. Q. O novo contexto do mercado internacional do petróleo e seus impactos para o Brasil. **Petróleo, Royalties e Região**, Campos dos Goytacazes/RJ, ano XIII, v. 13, n. 50, p. 5-8, 2015.

²⁴ PIQUET, R. Petróleo e desenvolvimento regional no Brasil. In: MONIÉ, F.; BINSZTOK, J. (orgs.). **Geografia e geopolítica do petróleo**. Rio de Janeiro: Mauad X, 2012.

Seguindo uma tendência mundial, a partir das inúmeras denúncias a respeito dos riscos que a humanidade poderia sofrer pela ausência de limites na exploração dos recursos naturais, surgiu, aproximadamente na década de 1960, o debate ambiental contemporâneo²⁵. Esse debate é a expressão da controvérsia, apontada neste estudo, que reúne diferentes atores cujas vozes – mais ou menos ouvidas – traduzem a força de um modo de vida e trabalho hegemônicos.

Ambientalização mundial e as políticas ambientais no Brasil

Em decorrência do cenário descrito na seção anterior, consolida-se no mundo o processo de “ambientalização”, provocando transformações no Estado, no cotidiano dos indivíduos, no lazer e nas empresas²⁶. Numa falsa oposição, o sonho do “progresso” e o fortalecimento do “ambientalismo” compõem o processo civilizatório contemporâneo como dois instrumentos de uma orquestra, em que um promove a entrada do outro numa sinfonia única que ressoa nossa sociedade científica e técnica. Na convergência desses processos,

O palco foi montado para um dos maiores e difíceis embates entre a defesa poderosa e crescente da maior proteção ambiental, por um lado, e, por outro, o compromisso com o crescimento econômico e com os benefícios da “Sociedade do Hidrocarboneto”, aliado às apreensões quanto à segurança energética²⁷.

Para Foladori e Taks²⁸, essa dicotomia vem se afirmando como uma das principais preocupações, tanto no campo das políticas públicas quanto no da produção de conhecimento. Para os autores deste texto, a consideração do debate como dicotomia reduz nossa capacidade de compreensão da realidade e de resposta às demandas socioambientais concretas. Nesse sentido, os problemas ambientais devem ser assumidos não só cientificamente, mas também com base no conhecimento dos pescadores, dos catadores de caranguejo, das descascadeiras de camarão, entre outros importantes atores que tecem as “diferentes naturezas” dos estuários da cidade de Macaé.

Sobre o conceito de “multinaturalismo”, Latour²⁹ esclarece que essa expressão apresenta contribuição de Eduardo Viveiros de Castro, ao ter se debruçado para discutir o significado do “perspectivismo ameríndio”.

Nessa direção, Castro³⁰ impõe a “dissociação”, o “reembaralhamento” e a “redistribuição dos predicados subsumidos nas duas séries paradigmáticas”, que a ciência tradicionalmente rotulou de “natureza” e “cultura”, “universal e particular, animalidade e humanidade”, entre outros.

Entretanto, Foladori e Taks³¹ apontam que os cientistas, a partir da década de 80, passaram a buscar a compreensão dos estudos dos problemas ambientais de maneira regional e local. Assim, foram desenvolvidos diversos estudos direcionados à compreensão da poluição ambiental urbana, da extinção da fauna e da flora e dos efeitos de produtos químicos sobre a saúde coletiva.

²⁵ PORTO-GONÇAVES, C. W. **O desafio ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

²⁶ LEITE LOPES, J. S. **A ambientalização dos conflitos sociais**: Participação e controle público da poluição industrial. Rio de Janeiro: Relume Dumará: Núcleo de Antropologia da Política, UFRJ, 2004.

²⁷ YERGIN, D. **O petróleo**: uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro, *op. cit.*, p. 16

²⁸ FOLADORI, G.; TAKS, J. **Um olhar antropológico sobre a questão ambiental**. Mana, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 323-348, 2004.

²⁹ LATOUR, B. **Políticas da natureza**. Como fazer ciência na democracia. Trad. de Carlos Aurélio Mota de Souza. Baurui, SP: Edusc, 2004. 411 p.

³⁰ CASTRO, Eduardo Viveiros de. Os pronomes cosmológicos e o perspectivismo ameríndio. **Mana**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 115-144, out. 1996. Disponível em: <http://bit.ly/1UaQ14m>. Acesso em: 16 jun. 2016.

³¹ FOLADORI, G.; TAKS, J. Um olhar antropológico sobre a questão ambiental, *op. cit.*

Para Sachs³², a construção do campo científico caracterizado como ambiental pode ser parcialmente atribuída ao choque produzido pelo lançamento da bomba atômica em Hiroshima e à “descoberta de que a humanidade havia alcançado suficiente poder técnico para destruir toda vida no planeta”.

Como resposta aos problemas ambientais gerados pela “modernidade”, Uhr e Uhr³³ (2014) esclarecem que a regulação ambiental e a aplicação de sanções formais passaram a fazer parte da política ambiental de quase todas as nações, não sendo diferente no Brasil. Sendo assim, “a teoria econômica do crime indica que tal procedimento é importante para combater violações ambientais e a consequente degradação do meio ambiente”³⁴.

Estuário do rio Macaé pelo olhar dos cientistas e dos moradores

Apesar de serem representados por uma área relativamente pequena quando comparados à imensidão do oceano, os ambientes costeiros, incluindo os estuários, estão entre as regiões mais importantes ecologicamente, sendo responsáveis por cerca de 90% da pesca global e abrigando importante biodiversidade disponível no planeta^{35,36}.

Tudo isso é sustentado pela entrada de nutrientes de rios, pelas ressurgências e pela remineralização de nutrientes bêntico-pelágicos³⁷ que disponibilizam recursos e proporcionam condições para uma produtividade primária bruta comparável à da agricultura subsidiada³⁸.

De acordo com Costanza *et al.*³⁹, os estuários apresentam serviços e funções ecológicas de grande importância para a sustentabilidade, não somente pelos aspectos da zona costeira, mas também por aqueles relacionados à sociedade humana que se estabelece cada vez mais nessas áreas. Dentre esses serviços, podemos destacar: (i) suplemento de água; (ii) controle da linha da costa e da erosão e retenção de sedimento; (iii) ciclagem e aquisição de nutrientes, como fixação de nitrogênio, fósforo, potássio e outros; (iv) refúgio e produção de alimentos, sendo berçário para diversas espécies e local de *habitat* para migrações; e (vi) recursos culturais, promovendo oportunidades para usos sem fins econômicos, por meio da beleza cênica.

É necessário ressaltar a importância dos estuários para a humanidade, uma vez que eles fornecem uma grande variedade de organismos que são utilizados na pesca, como moluscos, crustáceos e peixes, servindo como fonte de proteína e geração de renda para as comunidades locais que vivem em áreas vizinhas⁴⁰. Os estuários agenciam, portanto, largo espectro de atores que desempenham ações e protagonizam processos, modos de vida e trabalho, saberes, crenças, técnicas, recursos de toda ordem. Esse largo

³² SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**, *op. cit.*, 2002, p. 47.

³³ UHR, J. G. Z.; UHR, D. de A. P. Infrações ambientais e a reputação do regulador: análise em dados de painel para o Brasil. **Estud. Econ.** [on-line], v. 44, n. 1, p. 69-103, 2014.

³⁴ UHR, J. G. Z.; UHR, D. de A. P. Infrações ambientais e a reputação do regulador: análise em dados de painel para o Brasil, *op. cit.*, p. 70.

³⁵ ODUM, E. P. **Fundamentals of ecology**. Philadelphia: WB Saunders Co., 1971.

³⁶ LAVRADO, H. P.; VIANA, M. S. **Atlas de invertebrados marinhos da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. 15 p.

³⁷ KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. B.; SOARES-GOMES, A. Zona costeira e plataforma continental do Brasil. In: **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. Cap. 16, 353 p.

³⁸ ODUM, E. P. **Fundamentals of ecology**, *op. cit.*

³⁹ COSTANZA *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

⁴⁰ HERCULANO, S.; PACHECO, T. Racismo Ambiental. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO CONTRA O RACISMO AMBIENTAL, 1., 2006, Rio de Janeiro, RJ. Rio de Janeiro: Walprint Gráfica e Editora Ltda., 2006. p.100-148.

espectro de atores amplia e redimensiona a afirmação de Herculano e Pacheco⁴¹ sobre a “importância” dos estuários para a humanidade para além do caráter utilitário que, sem dúvida, possuem. O estuário é tomado aqui como um ator que protagoniza debates políticos e científicos, locais e globais, naturais e sociais entre especialistas e legisladores, jornalistas e gestores, moradores, economistas e empresários, sobre sua “importância”.

As regiões comerciais de pesca dependem da conservação e da proteção dos estuários⁴², pois eles constituem o *habitat* natural de mamíferos, aves e peixes, além de serem ambiente de desova e de criação de muitas comunidades biológicas, desempenhando um papel importante nas rotas migratórias de peixes de valor comercial⁴³.

Devido a sua importância, os estuários são áreas protegidas por uma vasta legislação ambiental. No Brasil, os primeiros textos referentes ao assunto surgiram em 1965, com o Código Florestal⁴⁴. A quantidade de iniciativas e de leis ambientais relacionadas à importância da manutenção ecológica das regiões estuarinas é vasta, diversificada e articulada global e localmente: (i) Convenção Internacional de Ramsar de 1993 – com a função de proteger as áreas úmidas; (ii) Resolução CONAMA 303 de 2002 – ratificando o manguezal como Área de Preservação Permanente (APP); (iii) Resolução CONAMA 369 de 2006 – proibindo a intervenção ou supressão de vegetação em APP de manguezais; (iv) Lei Orgânica do município de Macaé de 1990 e Código Municipal de Meio Ambiente – definindo as APPs da cidade e destacando o manguezal do Rio Macaé e a sua área estuarina, inclusive obrigando a recuperação de áreas degradadas, proibindo o lançamento nas águas de qualquer substância que provoque a degradação ambiental; e (v) Plano Diretor Municipal de 2006 – impede o uso indevido e a ocupação de áreas de preservação permanente.

O lançamento de substâncias no meio aquático pode comprometer a qualidade ambiental dos estuários⁴⁵. Os efeitos da exposição direta aos contaminantes presentes no sedimento podem resultar em diversos danos, tais como: (i) letalidade aguda; (ii) bioacumulação das substâncias; e (iii) efeitos crônicos letais e subletais. Frequentemente, a natureza das substâncias é desconhecida, assim como as consequências ecotoxicológicas da sua presença no ambiente⁴⁶.

O estuário do Rio Macaé recebe a contribuição fluvial da bacia de drenagem do rio Macaé, que nasce na serra de Macaé de Cima, no município de Nova Friburgo, além de receber a drenagem fluvial de municípios como Carapebus, Conceição de Macabu, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu e Trajano de Moraes⁴⁷. O rio Macaé é o principal rio dessa bacia hidrográfica⁴⁸.

⁴¹ HERCULANO, S.; PACHECO, T. **Racismo Ambiental**, *op. cit.*

⁴² BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 23 p.

⁴³ MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. p. 25-424.

⁴⁴ BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília: **Diário Oficial [da] União**, de 16 set. 1965, Brasília, DF.

⁴⁵ CESAR, A.; CHOUERI, R. B.; RIBA, I.; MORALES-CASELLES, C.; PEREIRA, C. D. S.; SANTOS, A. R.; ABESSA, D. M. S.; DELVALLS, T. A. Comparative sediment quality assessment in different littoral ecosystems from Spain (Gulf of Cadiz) and Brazil (Santos and São Vicente estuarine system). **Environment International**, v. 33, p. 429, 2007.

⁴⁶ ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M.; TOMMASI, B. C. Utilização de testes de toxicidade na avaliação da qualidade de sedimentos marinhos. **Revista de Geologia**, v. 19, n. 2, p. 253-261, 2006.

⁴⁷ SEMADS. Governo do Estado do Rio de Janeiro. **Manguezais, educar para proteger**: Projeto PLANAGUA. Rio de Janeiro: FEMAR, 2001. p. 9-93.

⁴⁸ AMARAL, K. J. **Estuário do Rio Macaé**: modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil, COPPE, UFRJ, 2003.

A cidade de Macaé apresenta uma forte ligação com o estuário: sua sede e seu crescimento foram traçados ao redor desse ambiente⁴⁹. Entretanto, a partir do momento em que Macaé passou a ser a base operacional das atividades de exploração de petróleo e gás *offshore* da Bacia de Campos, os problemas relacionados com a degradação desse ecossistema se intensificaram, surgindo alterações nas condições ambientais.

Para descrever e caracterizar as alterações no estuário do rio Macaé e articular essa degradação com os conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, foram realizadas duas investidas: (i) o uso de evidências científicas na comprovação do estágio de contaminação por esgoto doméstico e do lançamento de poluentes de caráter cancerígeno, como HPAs; e (ii) análise de filme documentário produzido por moradores do bairro Malvinas, no âmbito do Programa de Educação Ambiental (PEA), sob orientação da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG) do IBAMA em 2007.

Evidência científica em relação às alterações no estuário do rio Macaé

Colocando o “pé no mangue”, Arthur Soffiati^{50,51} esclarece que o manguezal de Macaé é o “mais impactado” de todos os que se encontram desde o rio Itapemirim, Estado do Espírito Santo, até o de Macaé. Para o pesquisador, a degradação do manguezal de Macaé faz parte de uma sucessão de fatos que contribuíram para que ele atingisse um “estado subletal”:

Obras de retificação do rio pelo DNOS⁵², derrubada do bosque para urbanização ilegal, esgoto e lixo doméstico, óleo despejado por barcos, por postos de combustíveis e pelo aeroporto levaram o manguezal a viver em estado subletal, com *Avicennia germinans* [...] apresentando intensas anomalias, como herbivoria e o desenvolvimento de raízes adventícias e pneumatóforos aéreos⁵³.

Valores encontrados reafirmam a contaminação por esgoto, principalmente no baixo curso do rio Macaé, local onde existe a presença de aglomerados urbanos. De acordo com Oliveira *et al.*⁵⁴, a porção inferior do rio Macaé encontra-se imprópria para usos de contato primário⁵⁵, e os índices colimétricos indicam um alto potencial de agentes patogênicos veiculados pela água cuja principal causa é o aporte de esgoto por núcleos urbanos sem saneamento básico.

Essa redução da qualidade ambiental parece estar intimamente relacionada com o crescimento econômico do município e a ocupação espontânea da região do estuário, principalmente a partir do início da década de 1980⁵⁶.

⁴⁹ COSTA, R. N.; FERREIRA, M. I. P. **A Conferência da Terra**: aquecimento global, sociedade e biodiversidade: O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2010. v.2, p. 142-150.

⁵⁰ Dedicamos este ensaio ao Professor Dr. Aristides Arthur Soffiati Netto pela longa dedicação aos estudos da história ambiental da região Norte-Fluminense.

⁵¹ SOFFIATI, A. **Pé no mangue**. 1a ed. Rio de Janeiro: Autografia, 2015.

⁵² O Departamento Nacional de Obras de Saneamento, órgão extinto do governo federal, realizou uma série de intervenções em diversos rios do Brasil. Em Macaé, o rio foi retificado, criando “uma ilha entre o novo curso, reto, e o antigo, sinuoso” (SOFFIATI, 2009, p. 92).

⁵³ SOFFIATI, *op. cit.*

⁵⁴ OLIVEIRA, L. P.; BRANT F. F.; ESTEVES, F. A.; FARJALLA, V. F. Caracterização das variáveis abióticas e sanitárias na porção inferior do Rio Macaé/RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 11., 2008. **Anais** [...].

⁵⁵ BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, de 18 mar. 2005; ret. 09.05. 2005.

⁵⁶ COSTA, R. N.; FERREIRA, M. I. P. **A Conferência da Terra**: aquecimento global, sociedade e biodiversidade. O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas. v.2, *op. cit.*

A não observância da legislação ambiental e a falta de agilidade na implementação de intervenções na área de saneamento básico estão afetando a qualidade ambiental do estuário do rio Macaé. Essas alterações podem acarretar uma diminuição dos serviços ecológicos desse ecossistema, a médio e longo prazo.

Ao contrário da poluição por esgoto, que é perceptível para a população, outros processos de contaminação, como o derrame de derivados de petróleo, não são tão visíveis, embora seus efeitos já venham sendo observados por estudos científicos.

Esses estudos mostram que, em dez anos, as concentrações de hidrocarbonetos aromáticos aumentaram significativamente nos sedimentos do estuário, gerando toxicidade a organismos, inclusive com a presença do benzopireno, que é uma molécula oriunda de combustíveis fósseis com potencial carcinogênico⁵⁷.

Nas águas do estuário, é possível observar, em algumas ocasiões, concentrações de hidrocarbonetos similares às de locais poluídos, como a Baía de Guanabara (RJ), que estão induzindo a alterações em peixes (bagres), como a produção de enzimas de detoxificação, comprometendo o tamanho dos peixes, a capacidade de alimentação e a reprodução.

Por fim, o estudo de Santiago⁵⁸ mostra que as maiores concentrações de hidrocarbonetos aromáticos em mexilhões na costa de Macaé foram observadas no estuário, confirmando o cenário de contaminação desse ecossistema por derivados de petróleo.

A questão central nesta discussão é indicar as fontes de contaminação visando reduzir os derrames de hidrocarbonetos. Uma fonte potencial é a frota automobilística de Macaé, que teve um crescimento exponencial durante os últimos 30 anos. Outras fontes possíveis são as embarcações que utilizam o estuário para atracação e manutenção. Durante muito tempo, essas embarcações eram de pescadores, e atualmente embarcações maiores⁵⁹ estão utilizando o estuário para transporte de pessoal e materiais para a indústria *offshore*.

Essas atividades indicam quais são os vetores sociais e econômicos de poluição no estuário que devem ser identificados e entendidos para fomentar a redução das emissões de derivados de petróleo nesse ambiente. Essas identificações e esse entendimento implicam socialização de informação, democratização da ciência e da tecnologia, participação popular e, portanto, educação.

Contudo, não menos importante é a contribuição da pluralidade de narrativas para além dos trabalhos técnico-científicos, apresentados na próxima seção. Nessa vertente, os processos educativos e a circulação de informações necessitam de novas abordagens, que busquem o olhar daqueles que convivem com a realidade destacada nas referidas narrativas.

⁵⁷ MOLISANI, M. M.; COSTA, R. N.; CUNHA, P.; REZENDE, C. E.; FERREIRA, M. I. P.; ESTEVES, F. A. Acute toxicity bioassay with the Amphipod, *Grandidierella bonnieroides* S. After exposure to sediments from an urban estuary (Macaé River Estuary, RJ, Brazil). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 90, p. 79-84, 2013.

⁵⁸ SANTIAGO, I. U. **Avaliação da ocorrência de hidrocarbonetos e metais pesados em mexilhões (*Perna perna*, L.) na região litoral de Macaé**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

⁵⁹ Durante as atividades no Mercado de Peixes da cidade de Macaé, podemos visualizar a presença de trabalhadores da indústria de petróleo que utilizam a área para embarque e desembarque.

A contribuição do cinema para a educação ambiental: o estuário pelo olhar dos moradores

O manguezal como moradia, o rio como escoamento para o esgoto, o crescimento desordenado. A falta de peixes anunciando a falência do ecossistema. Num universo de desilusões na cidade do petróleo, pescadores têm na conscientização das crianças a sua única esperança. (Sinopse do filme “Do lado de cá”).

A partir do Programa de Educação Ambiental (PEA) intitulado “Oficina de Cinema Ambiental Humano Mar”, foram produzidos, no ano de 2007, trinta filmes documentários em um universo complexo, no qual os indivíduos elaboraram estratégias utilizando as novas mídias⁶⁰. As evidências da degradação do estuário apresentada nesta seção foram elaboradas com base na análise do filme documentário “Do lado de cá”, produzido em Macaé.

Os filmes produzidos neste contexto contaram com a orientação da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG) do IBAMA e foram desenvolvidos como medida compensatória aos impactos da atividade petrolífera na Bacia de Campos. No ano de 2009, estes filmes inauguraram a 1ª Mostra do Circuito Tela Verde⁶¹ e foram assistidos por aproximadamente 46 mil pessoas.

Iniciativas como essa merecem destaque, pois a comunicação feita de “baixo para cima”, em que as lutas populares são incorporadas na prática comunicacional, possibilita uma ampliação das narrativas sobre um determinado assunto e favorece a democracia da informação.

De acordo com Hikiji, o vídeo, quando apropriado pelo outro, é um importante veículo expressivo, “provocador de performances e de reflexões acerca das experiências vividas”⁶².

A construção dessas narrativas contribui para uma nova reflexão epistemológica sobre a condição e a qualidade da etnografia que envolve amplas discussões nas ciências humanas: “o lugar do sujeito, do objeto, da subjetividade, da objetividade, do real, do ficcional, da alteridade, do trabalho de campo e da produção de conhecimento”⁶³.

Contudo, no filme “Do lado de cá”, observamos, na fala dos participantes, o desconforto que nasce da limitante dualidade entre o crescimento urbano e a destruição do manguezal: as falas revelam que o cotidiano vivido é bem mais rico do que ela aparenta. Isso significa dizer que as noções de “manguezal” e de “crescimento urbano” que aparecem nos trabalhos técnico-científicos coexistem com outros manguezais e outras cidades.

⁶⁰ COSTA, R. N.; MACHADO, C. J. S.; BRANQUINHO, F. T. B. Produção audiovisual no contexto da educação ambiental exigida no licenciamento de petróleo e gás no Estado do Rio de Janeiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** (UFPR), v. 36, p. 273-290, 2016.

⁶¹ O Circuito Tela Verde é uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente e realizada em parceria com o Ministério da Cultura. Disponível em: <http://bit.ly/18gmPbO>. Acesso em: 10 nov. 2014.

⁶² HIKIJI, R. S. G. **Sentidos da imagem na quebrada e na etnografia**. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 32., 2008. Fórum Imagens e sociedade: leitura, produção e interpretação nas Ciências Sociais, p. 4.

⁶³ GONÇALVES, M. A. **O real imaginado**: etnografia, cinema e surrealismo em Jean Rouch. Rio de Janeiro: Topbooks, 2008. p. 19.

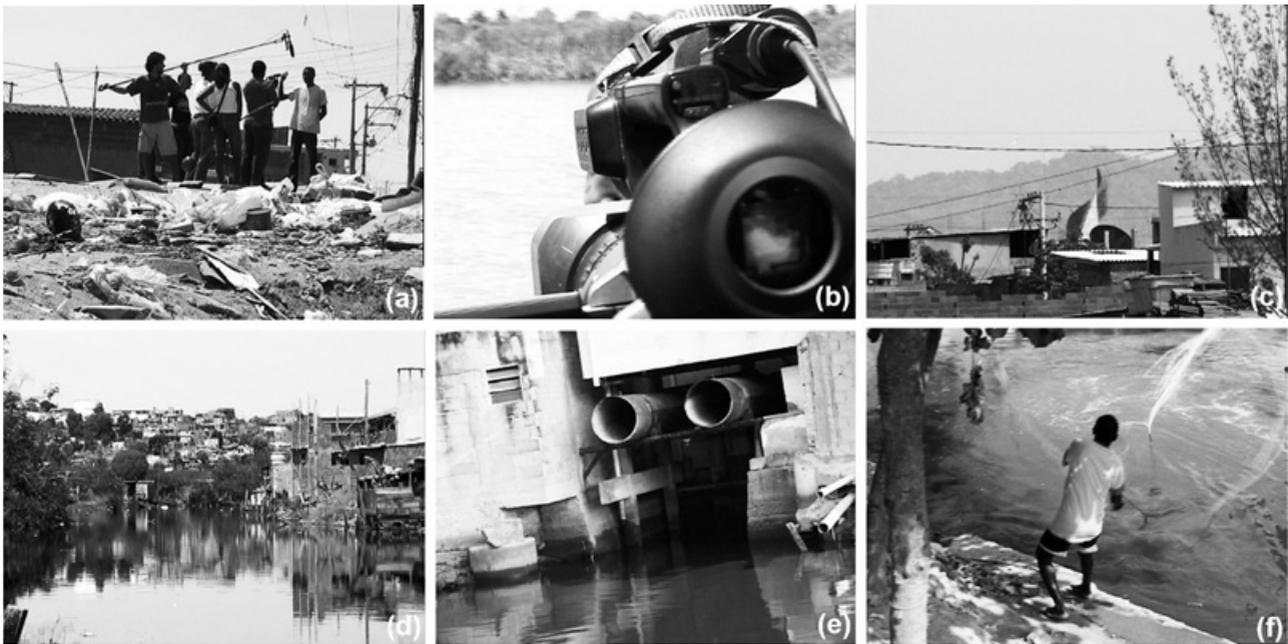


Figura 1: Cenas do filme *Do lado de cá*

Legenda: (a) Processo de gravação do filme com os moradores do Bairro Malvinas; (b) a câmera revela os discursos dos invisíveis; (c) o símbolo do fogo, chamado por alguns de “monumento da vergonha”, na perspectiva dos moradores da “cidade do caranguejo”; (d) as margens do rio cobertas por casas; (e) o mesmo cano retratado no filme *A flor do mangue* é captado pela lente da câmera do filme *Do lado de cá*; e (f) jogando tarrafá para ver se pega o que sobrou.

O filme começa apresentando o cenário catastrófico no qual o ecossistema se encontra. As imagens focam a presença de lixo e peixes mortos. A voz em *off* do morador potencializa a narrativa: “Isso acontece frequentemente, toda hora você um peixe bonito morto”. O som é seco e produz um *groove* que conduz o espectador para o caos.

O processo de degradação é historicamente retratado na fala do morador. Durante os depoimentos, são inseridas imagens de esgoto *in natura* e de um bairro periférico de Macaé:

O rio era limpo, todo mundo usava a água do rio, tomava banho e lavava a roupa. Não tinha água na Malvina, as pessoas usavam a água do rio até mesmo para fazer comida. (Fala do morador do bairro Malvinas, no filme “*Do lado de cá*”).

O processo da chegada de pessoas na “Capital do Petróleo” é comentado por quem observa o cotidiano de expansão do bairro:

Muitos vêm pra cá atrás de emprego porque vê na TV, ‘Macaé cidade do petróleo’, mas pra quem tem qualificação. Quem não tem vira andarilho, outros vêm invadindo áreas de preservação pra poder se manter. (Fala do morador do bairro Malvinas, no filme “*Do lado de cá*”).

Por fim, um morador descreve a sua percepção da relação entre degradação ambiental, recuperação de área degradada e ausência de políticas públicas locais (a placa com a escrita “ponte construída pela comunidade” parece enfatizar a fala daqueles que são colocados na invisibilidade pelo poder público):

Aqui você vai ver que as casas estão no lugar do mangue. Eles chegam aí, jogam entulho e não sabem que o mangue é o pulmão do rio, pra destruir é fácil, mas para voltar o que era antes é muito difícil.

Andarilho e peixe morto não parecem traduzir o que a dualidade “crescimento urbano” e “manguezal” costuma sugerir. A indissociabilidade entre ambos – humano e não humano – revela que a ciência talvez não tenha separado completamente a natureza da sociedade. Se essa separação é uma das características do que designamos como “modernidade”, então há uma possibilidade de concordar com Latour⁶⁴ (2009) quando afirma que “jamais fomos modernos”. Se concordarmos com ele, talvez a ciência possa se reapresentar diferente frente a outros saberes, como já foi dito aqui, e, assim, possamos imaginar que é possível fazer ciência na democracia: políticas públicas poderão considerar em sua formulação o multinaturalismo e, afinal, colaborar na resolução dos conflitos que se instauram em realidades tão plurais.

Conclusão

Articulando o conceito de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, fica evidente que em Macaé esse quadro carece de atenção, pois a degradação ambiental de um dos principais ecossistemas da cidade é uma comprovação da inoperância do viés ambiental, pilar base do ecodesenvolvimento discutido neste artigo.

O que não está evidente são as razões para a inoperância. Assim, indicamos a possibilidade de uma das razões estar baseada no fato de que, como foi dito aqui, apesar da vasta literatura e da ausência de definição consensual sobre o desenvolvimento sustentável, o uso da expressão acaba sendo incorporado em discursos vagos e sem orientação prática, conforme discutido no texto.

Isso significa dizer que a constituição do campo de conhecimento é um campo político de construção de verdades que agenciam atores e processos cotidianos, práticos, nas diferentes dimensões da vida. Sugerimos que assumir separações entre sociedade e natureza, sujeito e objeto tal como instauradas pela ciência moderna, pode dificultar e mesmo confundir as tomadas de decisão por aqueles que se apoiam nas ciências ambientais.

Assim, observamos que o crescimento econômico em Macaé não se traduz em qualidade ambiental, justiça social e responsabilidade intergeracional, conforme apontado neste artigo por diferentes autores. Portanto, falar em desenvolvimento sustentável em Macaé, atualmente, parece ser um paradoxo.

A poluição do estuário do rio Macaé necessita ser combatida. O ecossistema está sendo atingido por diferentes fontes de contaminação, e seu tratamento deverá ser realizado por uma equipe multidisciplinar. Devido ao atual quadro de degradação, é necessária uma análise complexa, cujo objetivo principal deverá ser a sua recuperação imediata.

Sugerimos que o estuário possa ser olhado não apenas a partir das lentes do microscópio. Afinal, a lente da filmadora parece estar contribuindo para capturar a indissociabilidade entre andarilho e peixe morto a partir do diálogo com outros saberes.

⁶⁴ LATOUR, B. **Jamais fomos modernos**. ensaio de antropologia simétrica. Rio de Janeiro, RJ: Editora 34, 2009.

Não caberia perguntar aqui que ganhos essa postura epistemológica poderia trazer para o campo político em geral e para a educação em particular?

Contudo, ostentar o título de “Capital do Petróleo” não faz sentido diante da discussão do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade, pois a atividade de extração de petróleo é uma ação econômica global, com vistas à retirada de um recurso finito. O resultado dessa dinâmica, aliado à inoperância de políticas públicas locais e ao mau uso da aplicação dos *royalties*, parece ser um grande raio de destruição dos ecossistemas da região, o que irá gerar problemas para as futuras gerações.

Por fim, deixamos uma questão no ar: diante desse cenário de degradação e conflitos socioambientais, qual seria o papel das ciências para reverter esse e outros quadros que parecem permanecer no cenário nacional?

APRESENTAÇÃO

ESTUDOS ECOLÓGICOS E GEOTECNOLOGIAS APLICADOS À GESTÃO ECOSISTÊMICA

Vivemos um tempo em que já é possível observar grandes transformações na Terra. Seja por qual razão for, a atual modificação da paisagem em micro e macroescala resulta em alterações muitas vezes drásticas, em diferentes hierarquias ecológicas. Essas mudanças ocorrem desde o nível de indivíduo e populações (causando a extinção de espécies e a diminuição da biodiversidade) até o nível de ecossistema (interrompendo processos ecológicos e provocando alterações climáticas em escala regional e global). Michael Begon, Colin R. Townsend e John L. Harper apontam em sua obra *Ecologia: de indivíduos a Ecossistemas* (2007) a importância dos estudos ecológicos em todos os níveis de hierarquia (indivíduos e populações; comunidades e ecossistemas) a fim de fornecer subsídios para o manejo. Esses autores ressaltam a necessidade de aplicar teorias ecológicas para fornecer soluções para problemas ambientais. No entanto, essa é uma visão mais recente, de grupos de cientistas que mostram como a ciência Ecologia pode ser capaz de ajudar a humanidade a lidar com as transformações ambientais causadas pela própria vida moderna.

Até um determinado momento, os estudos ecológicos eram pautados em descobertas de espécies e suas relações com o meio físico, descrições de *habitat*, distribuição e abundância de organismos e um grande número de teorias. No entanto, há uma distância entre a teoria e o tomador de decisões, os gestores e os órgãos fiscalizadores, o que dificulta o manejo adequado dos ecossistemas. Essa distância pode diminuir com a intensificação da necessidade de resolver problemas ambientais ou até mesmo de entender como fazer um uso sustentável dos ecossistemas, aproveitando os recursos naturais por eles oferecidos sem eliminar seus atores e a sua função.

O estado do Rio de Janeiro é privilegiado no que diz respeito à diversidade de ecossistemas. Nesse território é possível encontrar florestas, uma infinidade de nascentes, um grande número de lagunas espalhadas por todo o litoral, estuários e manguezais que subsidiam uma zona costeira produtiva. Essa diversidade de ecossistemas vem sendo sufocada pela ocupação desordenada e pelo mau uso dos recursos ambientais.

Nesse sentido, as geotecnologias são consideradas ferramentas importantes nos estudos das paisagens, possibilitando a extração de dados georreferenciados necessários à construção de modelos da realidade e/ou imagens em tempo real para o monitoramento ambiental. As geotecnologias podem ser definidas como sendo um

conjunto de ferramentas computacionais e de conhecimentos utilizados para coletar, processar, analisar e oferecer informações com referência geográfica, permitindo melhor tomada de decisões por parte dos gestores. Destacam-se na área de geotecnologias os sistemas de informação geográfica, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, os sistemas de posicionamento global e a topografia georreferenciada, que também são amplamente conhecidas pelo nome “geoprocessamento”¹ (ROSA, 2005). De forma inequívoca, o avanço das tecnologias computacionais veio a contribuir na construção de bases técnicas para o processo de tomada de decisão.

Por exemplo, em relação à coleta de informações, podemos incluir o recente desenvolvimento técnico de aquisição de dados geográficos por veículos aéreos não tripulados (VANTS) ou por *drones*. Tais veículos, em suas inúmeras configurações, possibilitam grande versatilidade, economia e qualidade nos dados recolhidos, desde que garantidos os cuidados necessários na operação. Para o processamento dos dados e o estabelecimento de cenários ambientais, podem ser incluídas como geotecnologias as ferramentas de modelagem matemática, que oferecem grande capacidade preditiva e são frequentemente incorporadas aos sistemas de informação geográfica (SIG). Tais ferramentas são desenvolvidas por meio da solução de equações diferenciais elaboradas a partir do conhecimento científico disponível sobre cada um dos fenômenos em estudo, contemplando a possibilidade de fornecer informações e de elaborar diagnósticos e até prognósticos com maior embasamento técnico sobre a evolução temporal das áreas de interesse.

Assim, a presente seção temática tem como proposta dar visibilidade a alguns estudos ecológicos que visam contribuir para o manejo sustentável dos ecossistemas, bem como à aplicação das diferentes geotecnologias no apoio à gestão ecossistêmica, as quais possuem como ponto comum o uso intensivo de processamento de dados para fins de modelagem ambiental.

A seção é iniciada com o capítulo *O monitoramento ambiental como subsídio à gestão de ecossistemas aquáticos costeiros: o exemplo da Lagoa Imboassica*, que expõe a importância da geração de dados físicos, químicos e biológicos como base para a construção de ferramentas que visem à gestão de ecossistemas, no caso específico, aquáticos. No Brasil de terras continentais, poucos são os ecossistemas que possuem um banco de dados com uma série temporal de mais de 20 anos, como é o caso da Lagoa Imboassica. Esse privilégio torna possível interpretar a dinâmica lagunar com maior precisão e democratizar conclusões para subsidiar a tomada de decisão da sociedade em processos controversos como a abertura da barra de areia que separa a “laguna” do mar.

Já no capítulo *A qualidade da água e os eventos de mortandade de peixes na Laguna de Araruama*, ambiente aquático hipersalino, os autores evidenciam que essa laguna é bastante peculiar e deve ser estudada considerando-se suas próprias características. Discutem também os fatores que levaram à drástica alteração da transparência das suas águas, em 2005. Por fim, sua percepção coaduna-se com o artigo anterior que sugere o adequado manejo de plantas aquáticas como uma alternativa para diminuir o estado eutrófico do ambiente.

¹ ROSA. Geotecnologias na geografia aplicada, **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p. 81-90, 2005.

O capítulo *Efeito Protetor das Esterases em Tilápias do Nilo (Oreochromis niloticus) expostas ao Organofosforado Masoten* traz um tema bastante pertinente para o momento em que os estoques pesqueiros marinhos decrescem e surgem como alternativas a piscicultura e a aquacultura. Veremos que a tilápia, que ocupa 40% do mercado da piscicultura, é suscetível a diversas infestações e que o uso de compostos organofosforados tem sido uma solução que pode ser ambientalmente questionável.

Em *Lagoas costeiras como um laboratório natural para o estudo do metano: ferramenta para o manejo ecossistêmico*, o autor apresenta alguns importantes processos transformadores da matéria, como a metanogênese (produção do metano) e a metanotrofia (consumo do metano). Além disso, apresenta importantes técnicas empregadas para a avaliação ambiental que utilizam o gás metano como um indicador de qualidade ecológica. É destacada a importância das plantas aquáticas na produção, consumo e emissão desse gás de efeito estufa, o que permite uma discussão sobre o papel desses organismos nos ecossistemas aquáticos e as possíveis consequências do seu manejo no que se refere ao sequestro e à emissão do metano.

No trabalho *Disponibilização de geoinformação utilizando plataformas livres: WEBGIS do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba* (PARNA Jurubatiba), são apresentados recursos computacionais de plataformas livres empregados para a construção de um sistema de informações geográficas para a Unidade de Conservação de Proteção Integral em estudo, de forma a possibilitar a disponibilização na *internet* de uma base de dados georreferenciada livre para consulta de gestores ambientais e da sociedade em geral. Ainda focando o PARNA Jurubatiba, no artigo *Estado ambiental: magnitude, alcance temporal e espacial de impactos ambientais no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba*, são apresentados os resultados do uso de geotecnologias para o estudo de impactos antrópicos na região da UC, registrando tanto a variação temporal e espacial quanto a intensidade desses impactos.

O uso de uma abordagem metodológica sistêmica e das geotecnologias como ferramenta para subsidiar ações de prevenção e mitigação de danos associados a desastres naturais é apresentado no capítulo seguinte: *A utilização de geotecnologias em prevenção de riscos*, com as aplicações de interesse ambiental para gestão ecossistêmica. Na sequência, no capítulo *Geotecnologias na fiscalização ambiental: o uso de VANTS, SIG e mapas colaborativos*, são discutidas as possibilidades, as dificuldades e os benefícios relacionados ao uso de VANTS, tendo como território de estudo o Parque Estadual do Desengano. Encerramos a seção com o capítulo intitulado *Modelagem do transporte de contaminantes e identificação de fontes com estudo de caso no baixo Macaé*, que aborda o desenvolvimento de metodologias para construção de modelos computacionais para a previsão e a identificação do comportamento de descargas de poluentes no baixo curso do rio Macaé, tanto no meio fluvial de baixa salinidade como na região estuarina.

Destacamos que o conjunto das geotecnologias aqui exemplificadas será cada vez mais presente na gestão ecossistêmica, com aumento das exigências de precisão, oferecendo maior conhecimento científico para dar suporte ao processo decisório. Nesse sentido, devem ser superados diversos desafios, que se ampliam não só em função da maior complexidade das ferramentas, mas da correta interpretação dos resultados obtidos.

Jader Lugon Junior
José Augusto Ferreira da Silva

O MONITORAMENTO AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS COSTEIROS: O EXEMPLO DA LAGOA IMBOASSICA, RJ, BRASIL

Roberto Nascimento de Farias (UFRJ) • Lorena Cescon de Salles (FSMA) • Amanda da Silva Batista Vitório (UFRJ)
Frederico Meirelles-Pereira (UFRJ) • André Megali Amado (UFRN/UFJF) • Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ)
Francisco de Assis Esteves (UFRJ) • Marcos Paulo Figueiredo-Barros (UFRJ)

Introdução

Os ecossistemas estão em constante mudança, como resultado de múltiplas interações e transformações, por vezes cíclicas. Dessa forma, para compreender a sua dinâmica e o seu funcionamento e também avaliar como eles respondem a intervenções ou distúrbios, é preciso “observá-los” ao longo do tempo. Isso é possível por meio do monitoramento ambiental, que consiste na mensuração de variáveis físicas, químicas e/ou biológicas em longas séries temporais¹. Tais variáveis são indicadoras da qualidade ambiental e devem ser selecionadas com a finalidade de responder a questões acerca das mudanças ambientais passíveis de ocorrer no ecossistema. O monitoramento ambiental também pode ser entendido como a amostragem de um sistema ou compartimento (ar, água, solo ou biota) ao longo do tempo a fim de observar e estudar o ambiente, assim como produzir conhecimento a partir desse processo^{2,3}.

O monitoramento realizado em longo prazo é de extrema importância para orientar a gestão e o manejo dos ecossistemas e também as atividades humanas que deles fazem uso e, de alguma forma, afetam o ambiente. A existência de longas séries históricas de dados permite avaliar a evolução temporal da qualidade ambiental, indicar prioridades para a elaboração de ações de controle e fiscalização, além de orientar investimentos e subsidiar a elaboração e a implantação de leis específicas que levam à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental⁴. Dessa forma, o monitoramento ambiental fornece o embasamento científico para a formulação de políticas ambientais e auxilia tanto na tomada de decisão na gestão ambiental quanto na avaliação se determinada ação tem sido efetiva⁵.

¹ LOVETT, G. M. *et al.* Who needs environmental monitoring? **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 5, p. 253-260, 2007.

² ARTIOLA, J.; BRUSSEAU, M. L.; PEPPER L. L. **Environmental Monitoring and Characterization**. New York: Elsevier Science & Technology Books, 2004. p. 410.

³ WIERSMA, B. G. **Environmental Monitoring**. Boca Raton: CRC Press, 2004. 768 p.

⁴ LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

⁵ LOVETT, G. M. *et al.* Who needs environmental monitoring? **Frontiers in Ecology and the Environment**, *op. cit.*

O monitoramento ambiental pode ser realizado para diversos fins. Por meio dele é possível avaliar tendências, medir efeitos cumulativos de impactos e informar o público e os tomadores de decisão sobre as condições ambientais⁶. Isso permite que possam ser adotadas medidas preventivas e mitigadoras complementares. Por exemplo, por meio do monitoramento, é possível constatar a presença de substâncias em concentrações anômalas, estabelecer patamares aceitáveis para a manutenção da qualidade ambiental, assim como entender a dinâmica de vários processos. Dentre esses, destacam-se: a qualidade da água utilizada no abastecimento público, o lançamento de efluentes em corpos hídricos e a sua balneabilidade, a qualidade do ar em regiões urbanas e industriais, a degradação de solos e das florestas, o crescimento demográfico, a taxa de extinção de espécies, assim como as mudanças climáticas globais⁷. Além disso, os dados monitorados também contribuem consideravelmente para testar, calibrar e parametrizar modelos ambientais⁸.

No mundo inteiro existem programas de monitoramento ambiental voltados para os mais diversos objetivos. No Brasil, no âmbito socioeconômico, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza a cada dez anos um censo demográfico em nível nacional. Os dados por ele gerados são de extrema importância para o planejamento estratégico e para subsidiar a formulação de políticas públicas. Outro exemplo no país é a Agência Nacional de Águas (ANA), que reúne dados hidrometeorológicos de todo o território nacional. São séries temporais de longo prazo da pluviosidade, intensidade e direção dos ventos, temperatura do ar, vazão de rios, qualidade da água, entre outras variáveis. Essa base de dados permite avaliar se um evento é incomum ou extremo e pode também ser usada para investigar como os ecossistemas aquáticos respondem a diferentes intervenções antrópicas.

Os ecossistemas aquáticos continentais costeiros são exemplos de ambientes sujeitos a diversos impactos antrópicos, relacionados principalmente ao crescimento populacional e à expansão urbana. Nas lagoas costeiras neotropicais, por exemplo, os distúrbios mundialmente mais frequentes são aqueles com origem na bacia hidrográfica; na maioria dos casos, associados à qualidade da água e ao aporte de sedimento e de nutrientes⁹. Esses distúrbios podem comprometer a manutenção da biodiversidade e a geração de serviços ecossistêmicos e podem favorecer o aparecimento de doenças, especialmente aquelas de veiculação hídrica. Um efeito dos impactos antrópicos sobre os ecossistemas aquáticos continentais, bem documentado e considerado de amplitude global, é a eutrofização artificial^{10,11}. Ela tem se tornado uma das principais preocupações em países desenvolvidos e também em desenvolvimento¹². Além disso, durante as últimas quatro décadas, a eutrofização tem se destacado mundialmente como uma das maiores ameaças à qualidade dos recursos hídricos¹³.

⁶ MITCHELL, B. Resource and Environmental Management. 2nd ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2002. 367 p.

⁷ ARTIOLA, J.; BRUSSEAU, M. L.; PEPPER L. L. **Environmental Monitoring and Characterization**, *op. cit.*

⁸ LOVETT, G. M. et al. Who needs environmental monitoring? **Frontiers in Ecology and the Environment**, *op. cit.*

⁹ ESTEVES, F. A. et al. Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 967-981, 2008.

¹⁰ SMITH, V. H.; JOYE, S. B.; HOWARTH, R.W. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. **Limnology and Oceanography**, v.51, p. 351-355, 2006.

¹¹ SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v.24, p. 201-207, 2009.

¹² ANSARI, A. A.; GILL, S. S.; KHAN, F. A. Eutrophication: Threat to Aquatic Ecosystems. In: ANSARI, A. A. et al. (eds.). **Eutrophication: Causes, Consequences and Control**. Dordrecht: Springer, 2011. v. 1, p. 143-170.

¹³ ISTVÁNOVICS, V. Eutrophication of lakes and reservoirs. In: LIKENS, G. E. (ed.). **Lake Ecosystem Ecology: A Global Perspective**, 2010. p. 47-55.

A eutrofização pode ser definida como o enriquecimento de um ecossistema aquático por nutrientes, o que causa um incremento na circulação de energia na coluna d'água e um acúmulo de matéria orgânica no corpo hídrico e acelera o seu envelhecimento. Esse processo pode se dar naturalmente, de modo lento e gradual, concretizando-se em escala geológica. Nesse caso, é também conhecido como “envelhecimento natural dos lagos”. Já a eutrofização artificial ou induzida pelas atividades humanas se dá de forma acelerada, súbita e promove um crescimento explosivo dos produtores primários do ecossistema, principalmente microalgas. Isso traz consequências indesejáveis para os demais organismos, para a qualidade da água e, conseqüentemente, para as atividades humanas que fazem uso do ecossistema. O incremento de nutrientes que promove a eutrofização artificial é decorrente de diversas origens, tais como esgotos domésticos, efluentes industriais e atividades agropecuárias. O aumento nas concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P) são as principais causas da eutrofização dos ecossistemas aquáticos^{14,15}.

A eutrofização artificial é um termo multifacetado associado com o aumento na produtividade, simplificação das comunidades bióticas e redução na habilidade de os organismos adaptarem-se à carga de nutrientes imposta¹⁶. Durante o processo de eutrofização artificial, ocorre um aumento excessivo na biomassa de produtores primários que intensifica o acúmulo de matéria orgânica. Em decorrência da decomposição aeróbica desse material orgânico, a concentração de oxigênio dissolvido na água diminui. Com isso, pode ocorrer a morte de muitos organismos aquáticos, especialmente peixes. Além disso, o acréscimo de matéria orgânica provoca o aumento na turbidez da água e reduz a penetração da luz, o que diminui a taxa fotossintética de organismos menos adaptados a essas condições, como a vegetação submersa. Além desses problemas, também se destacam as mudanças na composição de espécies vegetais, o aumento na biomassa de espécies consumidoras, a redução na diversidade de peixes, o mau cheiro e a perda de valor estético do corpo hídrico¹⁷. A eutrofização artificial também pode favorecer a ocorrência de florações de algas tóxicas e intensificar os problemas já citados.

Em geral, o nível de eutrofização de um ecossistema aquático é avaliado com base em variáveis medidas de forma relativamente fácil, como concentração dos nutrientes limitantes (geralmente N ou P), clorofila-*a* e transparência da água. Geralmente se utiliza a concentração total de nutrientes em detrimento da concentração de suas formas inorgânicas. Os nutrientes presentes em moléculas orgânicas que não estão biodisponíveis podem, eventualmente, se tornar disponíveis para o fitoplâncton por processos biológicos na coluna d'água ou no sedimento¹⁸. A qualidade da água de um ecossistema aquático também pode ser avaliada quanto ao enriquecimento por nutrientes por meio de Índices de Estado Trófico (IETs), indicadores de fácil entendimento que permitem classificar corpos hídricos em diferentes estados tróficos ou graus de trofia.

¹⁴ ANSARI, A. A.; KHAN, F. A. Studies on the role of selected nutrient sources in the eutrophication of freshwater ecosystem. **Nature, Environment and Pollution Technology**, v. 5, p. 47-52, 2006.

¹⁵ WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and river ecosystems**, 3th ed. San Diego: Academic Press, 2001.

¹⁶ WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and river ecosystems**, op. cit.

¹⁷ DOKULIL, M. T.; TEUBNER, K. Eutrophication and Climate change: present situation and future scenarios. In: ANSARI, A. A. et al. (eds.), **Eutrophication: causes, consequences and control**, 2011, v. 1, p. 1-16.

¹⁸ HORNE, A. J.; GOLDMAN, C. R. **Limnology**. New York: McGraw-Hill International Editions, 1994. 464 p.

Situada no norte do estado do Rio de Janeiro, a Lagoa Imboassica é um exemplo de ecossistema aquático continental que se encontra intensamente degradado. Esse corpo hídrico tem sofrido diversos impactos, dentre os quais pode-se destacar o seu assoreamento, o aterro de suas margens e a supressão dos bancos de macrófitas aquáticas. Além disso, o aporte excessivo de efluentes domésticos e industriais sem o tratamento adequado, durante décadas, fez com que a concentração de nutrientes, especialmente N e P, aumentasse consideravelmente na sua coluna d'água. Isso provocou a eutrofização artificial do ecossistema, o que compromete em grande parte a sua balneabilidade. Outro impacto considerável sobre a Lagoa Imboassica são as aberturas artificiais da barra arenosa que a separa do mar. Há relatos de que essa abertura ocorria naturalmente no passado, mas nas últimas décadas ela tem sido feita de forma artificial pela população local. Esses eventos têm grande influência sobre a dinâmica do corpo hídrico, assim como sobre a comunidade biótica.

A Lagoa Imboassica vem sendo monitorada desde o início da década de 1990, no âmbito do projeto intitulado Estudos Ecológicos nas Lagoas Costeiras do Norte Fluminense (ECOLAGOAS). Esse projeto iniciou suas atividades em março de 1992, por meio do convênio firmado entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a PETROBRAS. Inicialmente, o seu principal objetivo foi monitorar quatro ecossistemas aquáticos costeiros da região, incluindo a Lagoa Imboassica (na zona urbana entre os municípios de Macaé e Rio das Ostras). Foram monitoradas variáveis abióticas (temperatura, pH, salinidade, alcalinidade e concentração dos nutrientes N e P) e bióticas (plâncton, macrófitas aquáticas e coliformes). O monitoramento ambiental em longo prazo possibilitou a criação de um extenso banco de dados das condições limnológicas do ecossistema ao longo das últimas três décadas, e grande parte das mudanças ocorridas no ecossistema foram registradas. Nesse contexto, o presente capítulo tem por objetivo caracterizar a variação em longo prazo (1992 – 2016) nas condições tróficas da coluna d'água da Lagoa Imboassica, de forma a subsidiar a gestão ambiental desse ecossistema. Mais especificamente, este estudo tem como foco as variáveis nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), clorofila-*a* (CLa), salinidade, transparência, nível da água e suas inter-relações.

Material e métodos

Área de estudo

A Lagoa Imboassica está localizada entre os municípios de Macaé e Rio das Ostras, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). O clima regional é o tropical úmido, e as temperaturas médias anuais variam entre 18°C e 27°C. A umidade relativa do ar média é de 83%, e a pluviosidade média anual é de 1.300 mm, sendo bem definidas as estações seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março)¹⁹. Esse corpo hídrico é responsável

¹⁹ SANTOS, A. M. et al. Effects of the sand bar breaching on *Typha domingensis* (Pers.) in a tropical coastal lagoon. **Hydrobiologia**, v. 556, p. 61-68, 2006.

pela geração de diversos serviços ambientais, dentre eles as atividades de lazer, a prática de esportes aquáticos, a valorização imobiliária do seu entorno, o controle de inundações, a produção de pescado e a diluição de efluentes domésticos e industriais. Além disso, cabe destacar que, legalmente, ele é considerado uma área de interesse especial do estado do Rio de Janeiro, especialmente sob o ponto de vista turístico²⁰.

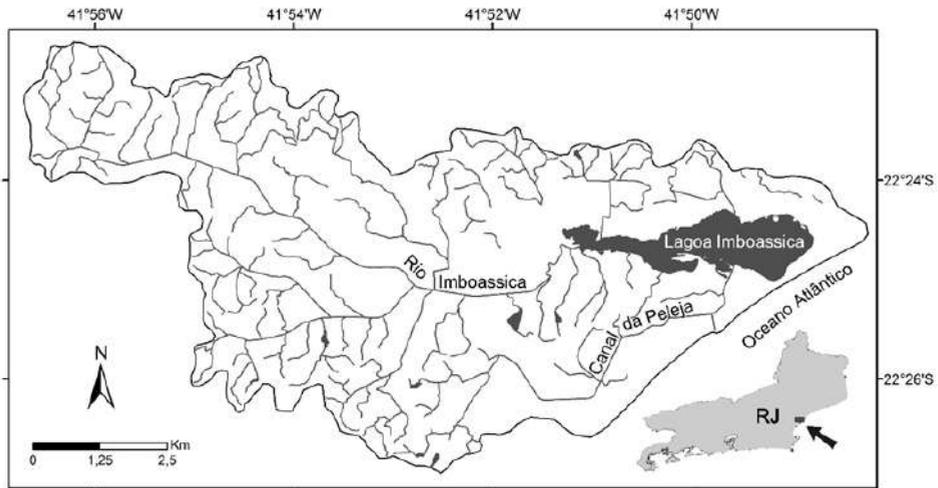


Figura 1 - Localização da área de estudo, com destaque para a Lagoa Imboassica, sua bacia hidrográfica, seus principais afluentes e a sua localização em relação ao estado do Rio de Janeiro

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro²¹ na escala 1:25.000

A Lagoa Imboassica encontra-se separada do mar por uma barra arenosa (figura 2A) de aproximadamente 80 m de largura e 180 m de comprimento que, nas últimas décadas, tem sido eventualmente aberta por intervenção humana (figura 2B). A grande proximidade com o mar e a eventual mistura das suas águas com a água do mar, seja pela abertura da barra arenosa, seja por intrusões por essa barra ou pelo *spray* marinho, faz com que esse corpo hídrico apresente água predominantemente salobra (ver Resultados e Discussão). Tendo em vista as suas eventuais conexões com o oceano, apesar de ter sido tradicionalmente tratado como uma lagoa, esse corpo hídrico é conceitualmente uma laguna. Esse termo se refere a um corpo de águas rasas salobras ou salgadas situado em planícies costeiras, separado do oceano por uma barreira arenosa e conectado a ele ao menos intermitentemente por meio de canais restritos^{22,23,24,25}.

²⁰ RIO DE JANEIRO (Estado). **Decreto Estadual n. 9760**, de 11 de março de 1987. Rio de Janeiro, 1987.

²¹ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro (SEA-RJ). **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro**. [2017]. Escala 1:25.000. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versa02016/

²² PHLEGER, F. B. A review of some general features of coastal lagoons. In: Coastal lagoon research, past, present, and future. **UNESCO Technical Papers in Marine Science**, v. 33, p. 7-14, 1981.

²³ KJERFVE, B. Coastal lagoon processes. In: _____ (ed.). **Coastal lagoon processes**. Netherlands: Elsevier, 1994. p. 1-8.

²⁴ SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 1222 p.

²⁵ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 332 p.

Essa lagoa também pode ser conectada ao mar por meio da abertura de outra barra de areia, a barra do canal extravasor. Esse canal foi construído artificialmente e faz a conexão do Canal da Peleja com o mar (Figura 2A). Devido ao constante aporte de sedimento marinho, a desembocadura do canal extravasor é obstruída por uma barra arenosa, cuja abertura também pode ser adotada para reduzir o nível da água no corpo hídrico. Em 2011, um dique submerso (Figura 2C) foi construído próximo à desembocadura do Canal da Peleja na lagoa. Ele consiste em um pequeno barramento feito de concreto e atua como uma pequena barragem. Dessa forma, ele impede que todo o volume de água da lagoa seja escoado para o mar quando a barra do canal extravasor é aberta. Além disso, nessas ocasiões, a sua presença faz com que ocorra somente a saída de água da lagoa e não mais entrada de água do mar no ecossistema lântico.



Figura 2 - Vista geral da Lagoa Imboassica. A: Possíveis conexões (intermitentes) da lagoa com o mar, com destaque para a barra arenosa da lagoa, barra arenosa do canal extravasor (após abertura, em junho de 2012), Canal da Peleja, canal extravasor e dique submerso. B: Abertura da barra arenosa da lagoa (ao fundo) em novembro de 2016, evento que atraiu a atenção de um grande número de pessoas. C: Dique submerso após a abertura da barra do canal extravasor em dezembro de 2015. O dique impede que a maior parte da água da lagoa escoe para o mar (quando a barra do canal extravasor é aberta) e estabelece um nível mínimo necessário para não comprometer a biota aquática e assegurar espaço físico suficiente para receber ainda aporte de água da chuva

Fonte: Elaborado pelos autores

A bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica possui aproximadamente 58 km² e situa-se em área de planície/baixada com relevo bastante uniforme e pontos mais elevados com altitude próxima a 180 metros²⁶. Ela apresenta ocupações populacionais com hábito rural a montante da laguna, áreas industriais de grandes dimensões na região próxima à desembocadura do rio Imboassica e ocupação urbana intensa no entorno do ecossistema lêntico²⁷. Essa ocupação teve início no final da década de 1970 e aumentou expressivamente a partir do final da década de 1990²⁸, lançando no corpo hídrico grandes cargas de efluentes domésticos e industriais sem tratamento ou tratados de forma inadequada. Desde 2013, grande parte do esgoto doméstico que alcança a laguna é tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mutum em nível terciário, isto é, com a remoção dos nutrientes presentes no efluente.

Monitoramento das condições tróficas

A Lagoa Imboassica foi monitorada mensalmente de 1992 a 2009. Entre 2010 e 2012, as amostragens ocorreram em intervalos irregulares. A partir de 2013, a amostragem passou a ser bimestral e incluiu também rios e canais artificiais que desaguam na laguna. As estações amostrais (figura 3) representam três tipos de ambientes: “laguna” (LO1, LO2, LO3 e LO4), “rios” (RO1, RO2 e RO3) e “canais” (CO1, CO2, CO3 e CO4). O grupo “rios” é formado por estações amostrais localizadas nas desembocaduras dos dois maiores afluentes do ecossistema lêntico e recebem a maior parte do escoamento superficial da bacia hidrográfica. Dessa forma, esse grupo representa principalmente as fontes difusas de nutrientes. O grupo “canais”, por sua vez, representa as principais fontes pontuais de nutrientes para a Lagoa Imboassica. Durante o primeiro período, foram monitoradas quatro estações amostrais (LO1, LO2, LO3 e LO4), todas localizadas na laguna.

²⁶ BARRETO, G. S. Mapeamento ambiental da bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica: subsídio para construção de planos de bacia. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.3, n.2, p. 125-144 jul./dez. 2009.

²⁷ BARRETO, G. S. Mapeamento ambiental da bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica: subsídio para construção de planos de bacia, *op. cit.*

²⁸ BOZELLI et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. **Limnologia**, v. 39, p. 306-313. 2009.

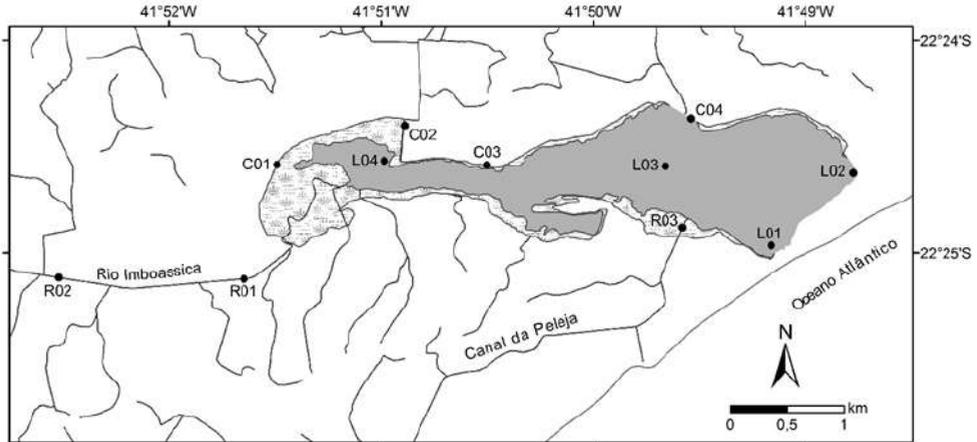


Figura 3 - Localização das estações amostrais monitoradas nos três tipos de ambientes: “laguna” (L01, L02, L03 e L04), “rios” (R01, R02 e R03) e “canais” (C01, C02, C03 e C04). Notar que alguns rios e canais (especialmente a oeste da laguna, como o canal C01) encontram-se atualmente aterrados ou confinados a galerias subterrâneas

Fonte: Elaborado pelos autores com base na Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro²⁹ na escala 1:25.000

Em cada estação amostral, a profundidade da coluna d’água foi mensurada (com o uso de um cabo graduado), a transparência da coluna d’água foi estimada (pela profundidade total do disco de Secchi) e a salinidade medida (utilizando-se um termocondutivímetro). Além disso, foram coletadas amostras a não mais do que 0,30 m de profundidade e levadas para o laboratório para que fossem mensuradas as concentrações de NT³⁰, de PT³¹ e de clorofila-*a*³².

Variação no nível da água na laguna

Em geral, o nível da água em um corpo hídrico é monitorado com base em medições feitas em uma régua limétrica localizada fixa em um ponto. No entanto, a Lagoa Imboassica não possuía tal régua até 2013. Dessa forma, no presente trabalho, o nível da água no corpo hídrico corresponde ao valor de profundidade máxima da laguna. Esta, por sua vez, foi estimada para cada coleta a partir dos valores de profundidade medidos nas estações amostrais L01, L02, L03 e L04, cuja localização tem sido mantida exatamente a mesma ao longo de todo o período do monitoramento. A estação amostral

²⁹ IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro. SEA-RJ. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro**. *op. cit.*

³⁰ MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1978. 117p.

³¹ GOLTERMAN, H. L.; CLIMO, R. S.; OHSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. Washington, D.C.: I. B. P. Health Association, 1978.

³² EATON, A. D. et al. (eds.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF American Public, 2005.

LO2 foi selecionada como referência para se estimar o nível da água por ser a estação amostral mais próxima à régua linimétrica e possuir o fundo menos irregular no seu entorno. Nas coletas em que LO2 esteve seca, o nível da água foi estimado a partir da profundidade medida em LO4. Quando essa também estava seca, utilizaram-se os valores medidos em LO3 para estimar a profundidade máxima.

Para identificar a relação numérica das profundidades medidas nas estações amostrais com a profundidade máxima do corpo hídrico, foi realizado um mapeamento batimétrico da laguna no dia 03 de dezembro de 2015, quando a profundidade da coluna d'água na régua linimétrica próxima a LO2 era de 1,20 m. Para isso, foi utilizada uma sonda Garmin-eccho 551c, com resolução de 0,10 m e um GPS Garmin Etrex 20x. A profundidade foi medida em intervalos de 50 metros em 40 transectos distribuídos pela laguna (sentido norte-sul), equidistantes 200 metros, totalizando aproximadamente 1000 pontos de medição. Essas informações foram transferidas para uma planilha digital e convertidas em um arquivo do tipo *shapefile*. Esse arquivo foi transformado em um arquivo *raster* com 25 metros de tamanho de *pixel* por meio de interpolação espacial por triangulação. O perímetro da Lagoa Imboassica e a delimitação dos bancos de macrófitas aquáticas foram definidos a partir da vetorização manual de uma composição colorida RGB 321 de uma cena do satélite *RapidEye*, compatível com a escala 1:10.000, obtida em 25 de junho de 2014. Todas essas análises foram desenvolvidas com o software QGIS®, versão 2.14.6. O volume do corpo hídrico foi posteriormente calculado com base no arquivo *raster*. Para isso, foi utilizado o pacote “r.lake” do software GRASS GIS® versão 7.0.4.

Tendo-se em vista a grande influência das aberturas artificiais de barra arenosa da laguna sobre o nível da água, foi realizada uma extensa busca por registros desses eventos ocorridos entre julho de 1992 e dezembro de 2016. Grande parte deles foi registrada ao longo do monitoramento feito no âmbito do projeto ECOLAGOAS. Além disso, a busca por esses registros foi feita também em artigos, teses, dissertações, assim como matérias de jornais sobre a Lagoa Imboassica. As aberturas artificiais da barra do canal extravasor foram aqui desconsideradas, pois a carência de registros desses eventos comprometeria tal inventário e subestimaria a frequência de sua ocorrência.

Análise dos dados

Como indicativo do grau de eutrofização, foi estimado o IET, calculado com base nos valores das concentrações de fósforo total (PT) e de clorofila-*a* (CLa), segundo o método utilizado pela Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)³³. O IET do corpo hídrico corresponde à média aritmética do IET Fósforo (PT) e do IET Clorofila-*a* (CLa), calculados segundo as equações 1 e 2³⁴:

³³ CETESB. COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. Apêndice C: Índices de Qualidade das Águas, 2015.

³⁴ LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento, *op. cit.*

$$IET(CLa) = 10 \times \left\{ 6 - \left[0,92 - \left(0,34 \times \frac{\ln(CLa)}{\ln(2)} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left\{ 6 - \left[1,77 - \left(0,42 \times \frac{\ln(PT)}{\ln(2)} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

onde:

CLa: concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

PT: concentração de P total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

No presente trabalho, o IET foi calculado primeiramente para cada estação amostral da laguna (LO1, LO2, LO3 e LO4). Feito isso, calculou-se a média dos valores das quatro estações amostrais para se determinar o valor do IET da laguna correspondente a cada coleta. A partir do valor do IET, o corpo hídrico foi classificado em um dos seis estados tróficos: ultraoligotrófico ($IET < 47$), oligotrófico ($47 < IET < 52$), mesotrófico ($52 < IET < 59$), eutrófico ($59 < IET < 63$), supereutrófico ($63 < IET < 67$) e hipereutrófico ($IET > 67$).

A razão Secchi/Profundidade foi calculada para cada estação amostral do ambiente “laguna”, e a média aritmética das quatro estações amostrais foi utilizada para representar o corpo hídrico. As coletas com transparência total (profundidade do disco de Secchi igual à profundidade da coluna d’água) foram desconsideradas. Em geral, os valores de transparência total (Secchi/Profundidade = 1,0) foram observados quando a laguna apresentava nível de água muito baixo. Se o nível da água fosse mais alto, provavelmente a transparência não seria total, ou seja, a consideração desses valores superestimaria a transparência da coluna d’água.

Os valores de $r_{\text{(Pearson)}}$ entre a concentração de nutrientes (PT e NT) e a profundidade máxima foram calculados para avaliar a dinâmica dessas variáveis em relação à variação no nível da água na laguna e, indiretamente, em relação às aberturas artificiais de barra. As correlações foram calculadas para o período entre julho de 1992 e dezembro de 2009 e também para todo o período amostral (1992-2016). Essa divisão foi feita pelo fato de, a partir da construção do dique submerso em 2011, a Lagoa Imboassica ter apresentado pouca variação no nível da água. Adicionalmente, foi calculada a correlação linear entre NT e salinidade para todo período amostrado. Os teores de nutrientes foram transformados para $\mu\text{mol.L}^{-1}$, e referem-se aos valores médios das estações LO1, LO2, LO3 e LO4. Nas coletas em que uma ou mais estação amostral esteve seca, foi considerada a média das outras estações amostrais. Todos os valores foram transformados na forma.

Resultados e discussão

Com base nos dados gerados por um monitoramento ambiental (realizado no âmbito do projeto ECOLAGOAS), este estudo caracterizou a variação em longo prazo nas condições tróficas de um corpo hídrico lântico, raso e de água predominantemente salobra. Foi possível constatar que, durante o período analisado (1992 a 2016), houve uma intensificação do processo de eutrofização artificial da Lagoa Imboassica, especialmente a partir do final da década de 1990. Tal fato fica bastante evidente ao se observar a série de dados de NT, PT, CLa, IET e transparência da água. O monitoramento também possibilitou avaliar a amplitude de variação nas condições limnológicas da laguna. A longa série de dados de salinidade, por exemplo, permite afirmar com maior segurança que essa laguna é predominantemente salobra. A resolução CONAMA 357/05³⁵ estabelece que o corpo hídrico seja considerado de água doce se a sua salinidade for menor que 0,5; salobro se a salinidade variar de 0,5 e 30,0 e salino se for maior que 30,0. Das 240 amostragens feitas na laguna entre 1992 e 2016, a salinidade foi maior que 0,5 em 78,70% dos casos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos³⁶ tem como um dos seus instrumentos o enquadramento dos corpos hídricos em classes, definidas com base nos usos preponderantes mais restritivos da água. Para a Lagoa Imboassica, esse enquadramento em classe de uso ainda não foi aprovado pelo Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras. Nesses casos, até que o enquadramento seja aprovado, o corpo hídrico é considerado classe I se for salobro ou salino, ou classe II se for de águas doces³⁷. Dessa forma, por ser um corpo hídrico salobro, ela deve ser considerada classe I até que o seu enquadramento seja aprovado. Por lei,³⁸ o valor máximo para a concentração de fósforo total na água de corpos hídricos enquadrados como classe I de águas salobras é 0,124 mg.L⁻¹. A resolução CONAMA 357/05 não estabelece limites para a concentração de nitrogênio total, apenas para as suas frações inorgânicas: nitrato (0,40 mg.L⁻¹ N), nitrito (0,07 mg.L⁻¹ N) e nitrogênio amoniacal (0,40 mg.L⁻¹ N). Da mesma forma, essa resolução estabelece limites para CLa somente para ecossistemas de água doce.

Em relação a PT, entre julho de 1992 e dezembro de 1999, o valor médio foi 0,04±0,02 mg.L⁻¹. Nos anos seguintes, o PT aumentou, assim com a sua variabilidade intra-anual (figura 4). Entre janeiro de 2000 e dezembro de 2012, o PT apresentou valor médio de 0,07±0,03 mg.L⁻¹. No período entre 2013 e 2016, foram observados os maiores valores, com média de 0,18±0,07 mg.L⁻¹.

³⁵ BRASIL. **Resolução CONAMA no 357**, de 18 de março de 2005. Brasília, 2005.

³⁶ BRASIL. **Lei n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997.

³⁷ BRASIL. **Resolução CONAMA n° 357**, *op. cit.*

³⁸ *Ibid.*

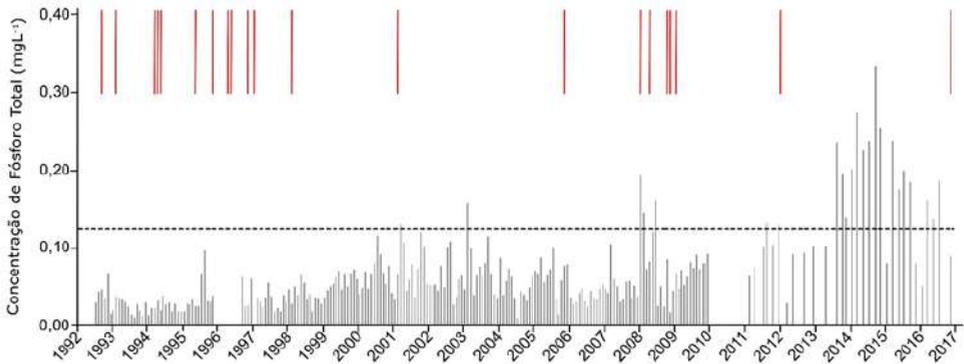


Figura 4 - Variação temporal na concentração de fósforo total (PT) na coluna d'água da Lagoa Imboassica entre 1992 e 2016. Os valores correspondem à média aritmética dos valores medidos nas quatro estações amostrais na laguna (LO1, LO2, LO3 e LO4).

As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da laguna. A linha horizontal tracejada se refere ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para a concentração de PT em corpos hídricos salobros de classe I.

Fonte: Elaborado pelos autores

A concentração de NT na laguna aumentou consideravelmente a partir do final da década de 1990 (figura 5). No período de julho de 1992 a dezembro de 1998, NT apresentou valor médio de $0,63 \pm 0,19$ mg.L⁻¹. Entre janeiro de 1999 e março de 2001, foram observados valores maiores ($2,32 \pm 0,66$ mg.L⁻¹). Entre abril de 2001 e dezembro de 2012, NT apresentou valor médio de $1,18 \pm 0,39$ mg.L⁻¹. Apesar da diminuição, os valores de NT permaneceram em um patamar acima daquele anterior ao ano de 1999. Os valores mais altos de NT foram observados entre 2013 e 2016, com média de $3,01 \pm 0,98$ mg.L⁻¹.

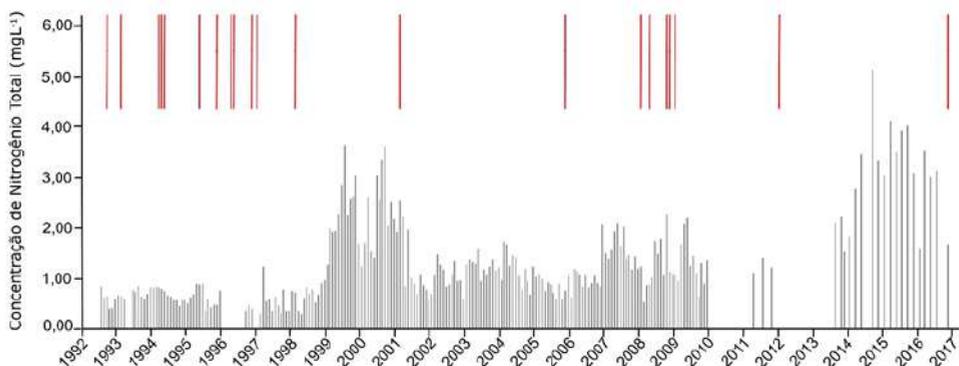


Figura 5 - Variação temporal na concentração de nitrogênio total (NT) na coluna d'água da Lagoa Imboassica entre 1992 e 2016. Os valores correspondem à média aritmética dos valores medidos nas quatro estações amostrais na laguna (LO1, LO2, LO3 e LO4). As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da laguna

Fonte: Elaborado pelos autores

As concentrações de NT e de PT aumentaram consideravelmente a partir do final da década de 1990. Na década anterior, em 1980, PT apresentava valor médio de $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ e NT $0,666 \text{ mg.L}^{-1}$ ³⁹. Em águas naturais, o PT não passa de poucas dezenas de microgramas por litro, enquanto NT tende a ser cerca de dez a vinte vezes maior^{40,41}. Esse aumento observado em NT e PT acarretou na mudança de um estado de águas claras para um estado de águas turvas. A hipótese de “estados estáveis alternativos” afirma que os lagos rasos podem exibir pelo menos dois estados alternativos, um estado claro com dominância de plantas submersas e um estado turbido com dominância de fitoplâncton e material suspenso, sob condições similares. Em estudo feito com diversos lagos na América do Norte, América do Sul e Europa⁴², os autores observaram que a área coberta por macrófitas aquáticas submersas diminuiu drasticamente com PT entre $0,05$ e $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$, e essas plantas submersas tornam-se raras em lagos com NT acima de $1,0$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Na Lagoa Imboassica, em maio e junho de 1999, observou-se a ausência dos estandes de vegetação submersa (*Charophytas*) e grandes florações de cianobactérias. Esse foi o último ano em que *Charophytas* foram observadas nesse corpo hídrico⁴³. A partir de então, mesmo com a abertura da barra ocorrida em fevereiro de 2001 (e consequente exportação de biomassa fitoplanctônica), a laguna passou a funcionar irreversivelmente em estado de águas turvas dominado por fitoplâncton.

A mudança de águas claras para águas turvas se refletiu no aumento da biomassa fitoplanctônica e, conseqüentemente, na concentração de clorofila-*a* (figura 6) e também na diminuição da transparência da água (figura 7). CLa apresentou os valores mais baixos entre os anos de 1992 e 1995, com média de $9,38 \pm 7,35 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Entre janeiro de 1999 e março de 2001, CLa aumentou consideravelmente ($75,99 \pm 42,41 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$). No período entre abril de 2001 e dezembro de 2012, foi observado o valor médio de $21,88 \pm 18,10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e, entre 2013 e 2016, ocorreram os maiores valores ($122,10 \pm 39,20 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$). A variação na razão Secchi/Profundidade, assim como os dados de NT, possibilita identificar quatro fases distintas na Lagoa Imboassica: julho de 1992 a fevereiro de 1999 ($0,69 \pm 0,16$), março de 1999 a fevereiro de 2001 ($0,39 \pm 0,17$), março de 2001 a dezembro de 2008 ($0,54 \pm 0,14$) e janeiro de 2009 a novembro de 2016 ($0,23 \pm 0,08$).

³⁹ RIO DE JANEIRO (Estado). **Relatório do diagnóstico das disponibilidades hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-04) versão final revisada**. 2013. 420 p.

⁴⁰ MOSS, B. **Ecology of freshwaters**: Man and medium, past to future. London: Blackwell Science, 1998. 557 p.

⁴¹ MOSS, B.; MADGWICK, J.; PHILLIPS, G. L. **A Guide to the Restoration of Nutrient-Enriched Shallow Lakes**. Norwich: Broads Authority and Environment Agency, 1996. 180 p.

⁴² KOSTEN, S. et al. Climate related differences in the dominance of submerged macrophytes in shallow lakes. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2503–2517, 2009.

⁴³ PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; ESTEVES, F. A. Clear water associated with biomass and nutrient variation during the growth of a charophyte stand, in a tropical coastal lagoon after a drawdown. **Hydrobiologia**, v.482, p. 79–87, 2002.

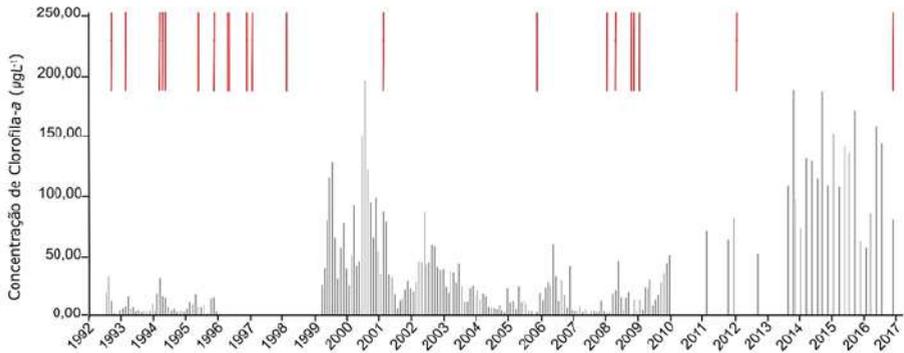


Figura 6 - Variação temporal na concentração de clorofila-a (CLa) na coluna d'água da Lagoa Imboassica entre 1992 e 2016. Os valores correspondem à média aritmética dos valores medidos nas quatro estações amostrais na lagoa (LO1, LO2, LO3 e LO4). As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da lagoa.

Fonte: Elaborado pelos autores

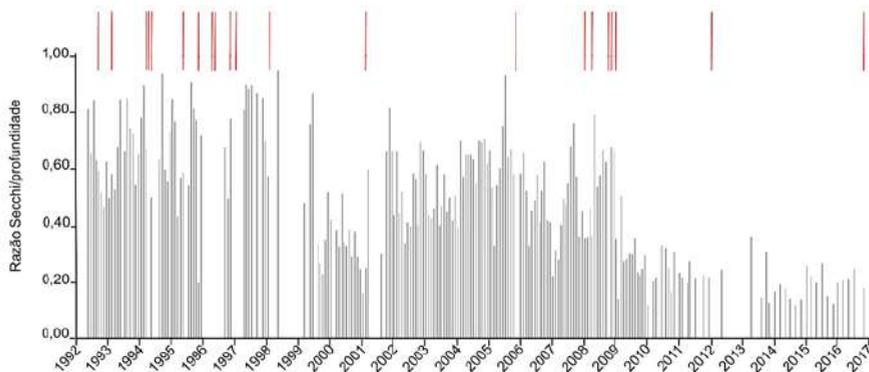


Figura 7 - Variação em longo prazo (1992 a 2016) na razão Secchi/Profundidade, estimada com base no valor médio da razão Secchi/profundidade das estações amostrais LO1, LO2, LO3 e LO4. Foram desconsideradas as coletas nas quais o valor da transparência profundidade do disco de Secchi se igualou à profundidade total da coluna d'água. As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da lagoa.

Fonte: Elaborado pelos autores

O P geralmente é escasso em ambientes aquáticos e frequentemente limita o crescimento das algas⁴⁴. Dessa forma, a disponibilidade de P tem sido tradicionalmente utilizada para determinar o limiar para a mudança de estado estável alternativo⁴⁵. Com a mudança de estado alternativo na lagoa, houve um grande aumento na concentração de nutrientes na coluna d'água. De dezembro de 1998 a julho de 1999, a concentração de fósforo total variou de 0,03 mg.L⁻¹ a 0,07 mg.L⁻¹, e a concentração de nitrogênio total variou de 0,97 mg.L⁻¹ a 3,65 mg.L⁻¹.

⁴⁴ SCHINDLER D. W. Evolution of phosphorus limitation in lakes. **Science**, v.195, p. 260-262, 1977.

⁴⁵ SCHEFFER, M. et al. Alternative equilibria in shallow lakes. **Trends in Ecology & Evolution**, v.8, p. 275-279, 1993.

A partir do ano 2000, foi observado um aumento na variabilidade intra-anual dos teores de PT, NT e CLa. O incremento na variância de variáveis limnológicas, especialmente fósforo, é um forte indicador de mudança do estado alternativo (i.e., do estado de águas claras para o estado turvo), que pode ocorrer mesmo muito tempo após tal incremento⁴⁶. Muito embora estudos sobre incrementos na variância e mudanças de regime requeiram modelos apropriados, anomalias podem indicar mudanças iminentes no funcionamento de ecossistemas, e, a partir de 1999, foi claro o padrão de incremento de variabilidade dos dados, especialmente para o PT. A sua maior variabilidade está em parte relacionada à perda da vegetação submersa. Isso fez com que o sedimento se tornasse muito mais vulnerável à ressuspensão pela ação do vento. Consequentemente, os nutrientes depositados no sedimento passaram a ser lançados na coluna d'água com maior frequência. Além disso, em estudo feito na Lagoa Imboassica em 1997, observou-se que o aumento na concentração de P na coluna d'água induzia a um aumento na absorção desse nutriente pelas macrófitas aquáticas submersas, o que tende a reduzir a sua concentração no ambiente⁴⁷.

Com base no IET, o grau de trofia da laguna variou de mesotrófico a hipereutrófico (figura 8), com predomínio do supereutrófico (37,66% das coletas), seguido de hipereutrófico (32,47%), eutrófico (22,51%) e mesotrófico (7,36%). Assim como a concentração de nutrientes, o IET apresenta um considerável aumento no final da década de 1990. Os maiores valores foram observados entre 2013 e 2016, período no qual o corpo hídrico se manteve em estado hipereutrófico. No entanto, cabe destacar aqui que, até o final da década de 1990, a maior parte dos nutrientes e da produtividade primária da Lagoa Imboassica estava associada às macrófitas aquáticas submersas, tendo em vista que até então esse corpo hídrico encontrava-se em um estado de águas claras. Como o IET não leva em consideração a produtividade desse grupo de plantas e os nutrientes estocados nelas, o índice pode ter subestimado o grau de trofia da laguna naquele período.

No mundo inteiro, o estado trófico dos ecossistemas aquáticos tem sido avaliado com base na utilização de diferentes índices. O *Trophic State Index* (TSI)⁴⁸ é um dos índices mais clássicos e se baseia nos valores de clorofila-*a*, concentração de PT e profundidade do Secchi para estimar indiretamente a biomassa de algas e indicar o grau de eutrofização dos ambientes aquáticos. No entanto, como ele foi desenvolvido para lagos de clima temperado, a sua aplicação em ecossistemas tropicais precisa ser avaliada com cuidado. Na região tropical, os ecossistemas aquáticos apresentam altas taxas de reciclagem de nutrientes, que são constantemente reutilizados pelos produtores primários⁴⁹. Assim, ainda que um lago tropical apresente baixas concentrações de nutrientes, ele pode apresentar altas taxas de produtividade. Dessa forma, os valores-limite para clorofila-*a*, assim como as equações de correlação dos parâmetros que compõem o índice, precisam ser ajustados à realidade da região. Nesse sentido, embora o IET utilizado aqui tenha sido criado com base em reservatórios, a sua utilização no presente estudo se justifica pelo fato de ter sido criado com base em ecossistemas lênticos e do sudeste do Brasil.

⁴⁶ CARPENTER, S. R.; BROCK W. A. Rising variance: a leading indicator of ecological transition. **Ecology Letters**, v. 9, p. 311-318, 2006.

⁴⁷ PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; ESTEVES, F. A. Clear water associated with biomass and nutrient variation during the growth of a charophyte stand, in a tropical coastal lagoon after a drawdown, *op. cit.*

⁴⁸ CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

⁴⁹ ESTEVES, F. A. Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 2, p. 3-28, 1988.

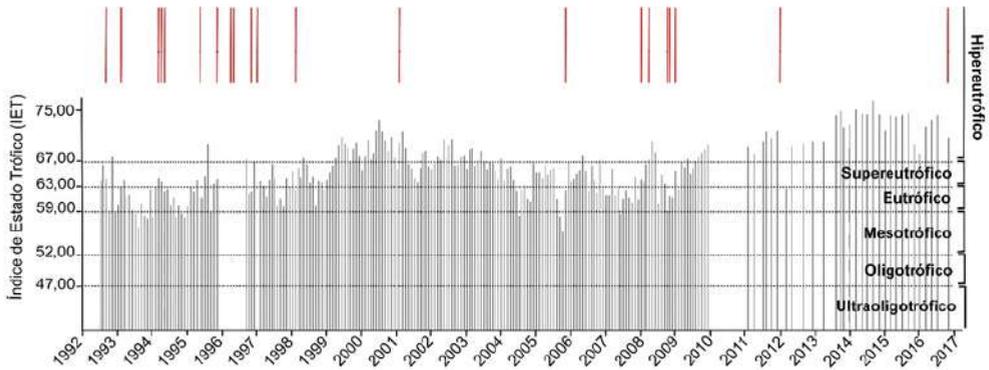


Figura 8 - Variação em longo prazo (1992 a 2016) no estado trófico da Lagoa Imboassica, estimado com base no Índice de Estado Trófico (IET). As linhas horizontais se referem aos limites entre os diferentes graus de trofia. As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da lagoa.

Fonte: Elaborado pelos autores

O nível da água na Lagoa Imboassica, representado aqui pela estimativa da sua profundidade máxima, apresentou grande variação entre 1992 e 2016 (figura 9) e variou de 1,10 m a 3,00 m. As maiores variações foram observadas após aberturas artificiais da barra arenosa da lagoa. Nesses eventos, a maior parte do volume de água do corpo hídrico é lançado ao mar, e este aporta água para a lagoa à medida que a maré sobe. Essa entrada de água de origem marinha aumenta a salinidade da lagoa. Com o fechamento natural da barra arenosa e aporte de água doce dos afluentes, o volume da lagoa aumenta, e a sua salinidade diminui. Isso fica evidenciado pela alta correlação negativa da profundidade máxima com a salinidade ($r_{\text{(Pearson)}} = -0,709$; $p < 0,0001$, $n = 216$). A maior amplitude de variação no nível da água é observada no período anterior à construção do dique submerso (agosto de 2011). A presença desse barramento impede que a Lagoa Imboassica seja totalmente esvaziada quando a barra do canal extravasador é aberta e assegura a manutenção de um nível médio de água correspondente à profundidade máxima de 2,30 metros. É importante ressaltar aqui que a abertura artificial da barra arenosa da lagoa, em novembro de 2016, foi realizada um dia após a amostragem do monitoramento. Dessa forma, a sua influência sobre o nível da água não pode ser percebida no presente trabalho.

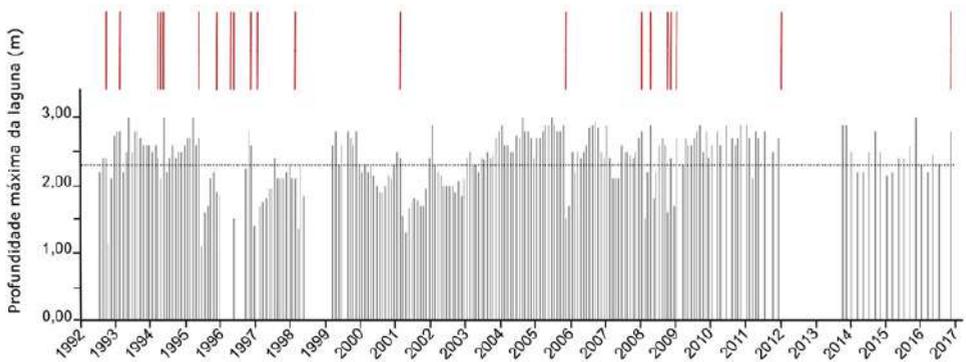


Figura 9 - Variação em longo prazo (1992 a 2016) no nível da água da Lagoa Imboassica, com base na estimativa da profundidade máxima da laguna em cada coleta. A linha pontilhada se refere à profundidade máxima da laguna quando a água se encontra no nível do dique submerso, localizado no Canal da Peleja. As barras vermelhas acima indicam a ocorrência de abertura artificial da barra arenosa da laguna.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A variação no nível da água influencia fortemente nas características morfométricas dos corpos hídricos. Por isso, em lagos e lagoas rasos em clima tropical, com altas taxas de evaporação, é extremamente importante que o nível da água no momento da medição das profundidades seja levado em consideração. No mapeamento batimétrico realizado em dezembro de 2015 (figura 10), a Lagoa Imboassica apresentava profundidade máxima de 2,70 metros, e o nível na régua linimétrica era 1,20 m (0,40 m acima do nível do dique submerso). Com a água nesse nível, a laguna cobre uma área de aproximadamente 3,29 km², o seu volume se aproxima a 4,8×10⁶ m³ e a sua profundidade média é de 1,45 m. O nível máximo já registrado na régua linimétrica foi de 1,50 m, o que corresponde à profundidade máxima de 3,0 m. Nessa situação, a laguna cobre uma área de 3,53 km², o seu volume se iguala a 5,8×10⁶ m³ e a profundidade média é 1,65 m. Quando a barra do canal extravasor é aberta, o nível da água na laguna é regulado pelo dique submerso (0,80 m na régua linimétrica). Nesses momentos, a área coberta pela laguna é de aproximadamente 3,00 km², com volume de 3,5×10⁶ m³, profundidade máxima de 2,30 m e profundidade média de 1,15 m.

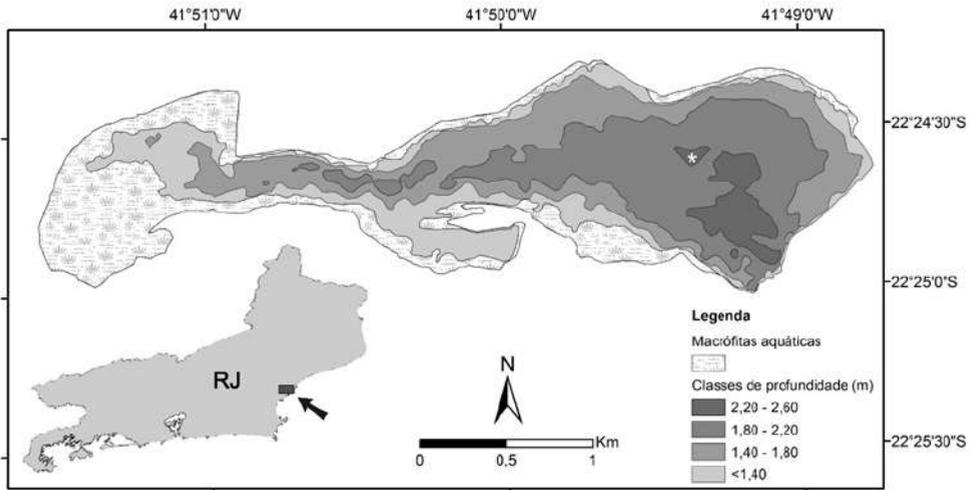


Figura 10 - Mapa batimétrico da Lagoa Imboassica, com destaque para a sua localização no estado do Rio de Janeiro. O asterisco indica a localização aproximada do ponto de maior profundidade na lagoa, utilizado como base da estimativa do nível da água. O mapeamento batimétrico foi realizado no dia 03 de dezembro de 2015, quando o nível da água atingia 1,20 metros na régua linimétrica próxima à estação amostral LO2 (0,40 metros acima do nível do dique submerso no Canal da Peleja).

Fonte: Elaborado pelos autores

No período entre julho de 1992 e dezembro de 2016, ocorreram 21 aberturas artificiais de barra arenosa da lagoa (ANEXO 1). A abertura da barra da lagoa em novembro de 2016 foi considerada no inventário, mas a sua influência foi desconsiderada pois ocorreu no dia seguinte ao monitoramento. A maior parte desses eventos ocorreu em períodos de muita precipitação pluviométrica, com o intuito de amenizar os impactos das inundações dos conjuntos habitacionais construídos nas áreas alagáveis no entorno da lagoa e também colaborar para que o enchimento da lagoa seja relativamente rápido. No entanto, em fevereiro de 2001, a barra arenosa foi aberta em um período seco, devido à detecção de cianotoxinas na água.

Ao se considerar toda a série histórica (1992 e 2016), observa-se uma correlação negativa entre NT e salinidade ($r_{\text{Pearson}} = -0,369$; $p < 0,0001$; $n = 213$). Na Lagoa Imboassica, as aberturas da barra arenosa da lagoa são a causa principal do aumento da salinidade, que diminui à medida que a barra é fechada e o corpo hídrico passa a receber aporte de água doce dos seus afluentes. Sendo assim, a salinidade pode ser vista como um indicador indireto da ocorrência de abertura da barra da lagoa. Dessa forma, a correlação acima indica que, ao se considerar todo o período monitorado, o NT tende a ser menor no período após as aberturas. Tal resultado corrobora padrão já observado anteriormente⁵⁰ de exportação de nitrogênio após aberturas de barra.

⁵⁰ BOZELLI et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon, *op. cit.*

Por outro lado, PT apresenta um padrão inverso. Quanto menor o nível da água na laguna (os níveis mais baixos ocorreram geralmente após aberturas de barra), maior o valor de PT. Isso foi evidenciado pela relação negativa de PT com a profundidade máxima da laguna no período de 1992 a 2009 ($r_{\text{(Pearson)}} = -0,298$; $p < 0,0001$; $n = 187$) e de 1992 a 2016 ($r_{\text{(Pearson)}} = -0,139$; $p < 0,04$; $n = 211$). Essa relação mostra que os eventos de abertura de barra podem inclusive aumentar a concentração de nutrientes na coluna d'água. Isso decorre principalmente do aporte contínuo de esgoto doméstico sem tratamento adequado e do volume de água reduzido no ecossistema, o que diminui a capacidade de diluição dos poluentes. As correlações observadas entre PT e a profundidade máxima refletem não apenas o padrão de acúmulo/diluição, mas podem sugerir indiretamente a tendência de incremento de PT após aberturas de barra. Muito embora não tenha sido observada relação significativa entre fósforo e salinidade, a sua correlação negativa com a profundidade máxima pode indicar padrão de incremento após eventos de aberturas, em consonância com trabalhos anteriores⁵¹.

Tendo em vista o que foi exposto acima, a abertura artificial da barra arenosa da laguna mostra-se uma medida inapropriada, pois reduz apenas pontualmente o processo de eutrofização. A eficácia dessas intervenções não é observada em longo prazo. A concentração de nutrientes e o estado trófico da laguna apresentaram uma redução somente imediatamente após eventos de abertura artificial da barra. Isso pode ser observado em NT após os eventos de aberturas da barra ocorridos em 1994, em fevereiro de 2001 e em janeiro e outubro de 2008. No entanto, geralmente após um mês, a concentração de nutrientes apresentava valores iguais ou superiores àqueles anteriores ao evento. Em 50% dos eventos de aberturas da barra arenosa, o grau de trofia da laguna aumentou logo no primeiro mês subsequente, em 28% dos casos ele diminuiu e em 22% dos casos se manteve. No período entre setembro de 1992 e novembro de 1995, todos os eventos de abertura de barra levaram à diminuição ou manutenção do grau de trofia. No entanto, a partir de novembro de 1996, em todas as ocasiões a laguna passou para um estado mais eutrofizado, exceto em fevereiro de 2001 e em novembro de 2008.

O potencial do aporte de esgoto em causar prejuízos aos ecossistemas é maior quanto menor for a capacidade de diluição do corpo hídrico. Dessa forma, as aberturas de barra tendem a reduzir o potencial de depuração da carga de matéria orgânica e nutrientes que são lançados com os efluentes na laguna. Com o despejo contínuo de nutrientes em suas águas, a Lagoa Imboassica tende a retornar rapidamente ao estado trófico anterior ao distúrbio provocado pela abertura de barra. Esse padrão também foi observado na Lagoa Grussaí, uma laguna costeira no norte do Estado do Rio de Janeiro. Esse ecossistema retornava às condições limnológicas (abióticas) anteriores à abertura artificial da barra em um período de apenas 10 a 20 dias⁵².

⁵¹ BOZELLI et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon, *op. cit.*

⁵² SUZUKI, M. S.; OVALLE, A. R. C.; PEREIRA, E. A. Effects of sand bar openings on some limnological variables in a hypertrophic tropical coastal lagoon, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 368, p. 111-122, 1998.

Além dos efeitos sobre a concentração de nutrientes, as aberturas artificiais da barra arenosa podem causar diversos impactos na biota aquática. Elas favorecem a dragagem do fundo da laguna e a supressão da vegetação submersa, o que aumenta a sua taxa de decomposição e, conseqüentemente, o aporte de nutrientes para a coluna d'água⁵³. Na Lagoa Imboassica, a variação na salinidade da água após a abertura artificial da barra arenosa impacta também os organismos zooplancônicos, que podem apresentar baixa resiliência a esse distúrbio caso a comunidade ali estabelecida seja tipicamente de água doce⁵⁴. Além disso, essas intervenções alteram a composição da comunidade de peixes⁵⁵ e reduzem a biomassa de fitoplâncton⁵⁶. Em relação à necessidade de eventos de abertura da barra da laguna para fins hidráulicos, com a construção do dique submerso, a abertura da barra do canal extravasor no período de chuvas já evitaria inundações nos bairros no entorno da laguna.

Os três tipos de ambientes aqui estudados (“laguna”, “rios” e “canais”) apresentaram padrão semelhante na variação temporal da concentração total de nutrientes na água. Os valores médios para concentração de nutrientes foram maiores no grupo “canais” (NT: $5,53 \pm 3,58 \text{ mg.L}^{-1}$ e PT $0,468 \pm 0,396 \text{ mg.L}^{-1}$) e no grupo “rios” (NT: $3,05 \pm 1,55 \text{ mg.L}^{-1}$ e PT $0,26 \pm 0,23 \text{ mg.L}^{-1}$). Nesses dois ambientes, os valores máximos ocorreram em novembro de 2014 e janeiro de 2015. O grupo “laguna” apresentou o menor valor médio para a concentração de fósforo total (Figura 11) e de nitrogênio total (Figura 12) no período estudado.

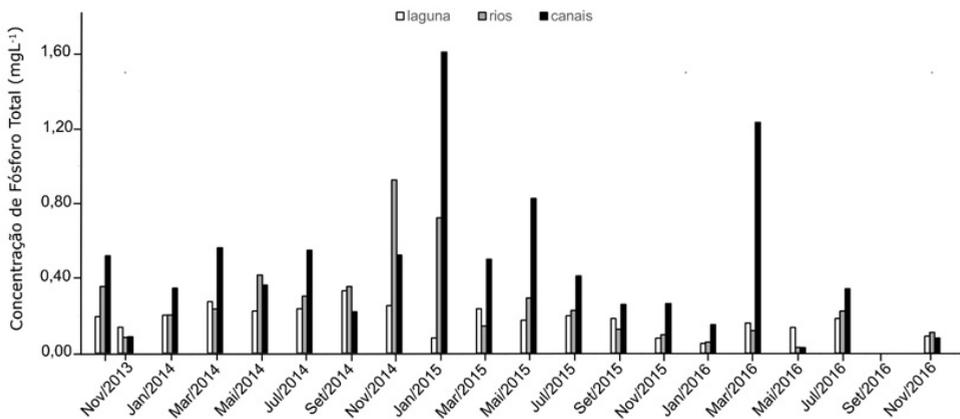


Figura 11 - Variação nos valores médios de concentração de fósforo total nos três tipos de ambientes estudados: “laguna”, “rios” e “canais” no período entre setembro de 2013 e novembro de 2016

Fonte: Elaborado pelos autores

⁵³ SANTOS, A. M. et al. Effects of the sand bar breaching on *Typha domingensis* (Pers.) in a tropical coastal lagoon, *op. cit.*

⁵⁴ SANTANGELO, J. M. et al. Zooplankton responses to sandbar opening in a tropical eutrophic coastal lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.71, n.3, p. 657-668, 2007.

⁵⁵ SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. et al. Indicators of influence of salinity in the resistance and resilience of fish assemblage in a tropical coastal lagoon (Southeastern Brazil). **Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras**, v. 38, p. 52-68, 2009.

⁵⁶ MELO, S. **Fitoplâncton da Lagoa Imboassica (Macaé, RJ-Brasil): flora, estrutura de comunidade e variações espaciais e temporais.** Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

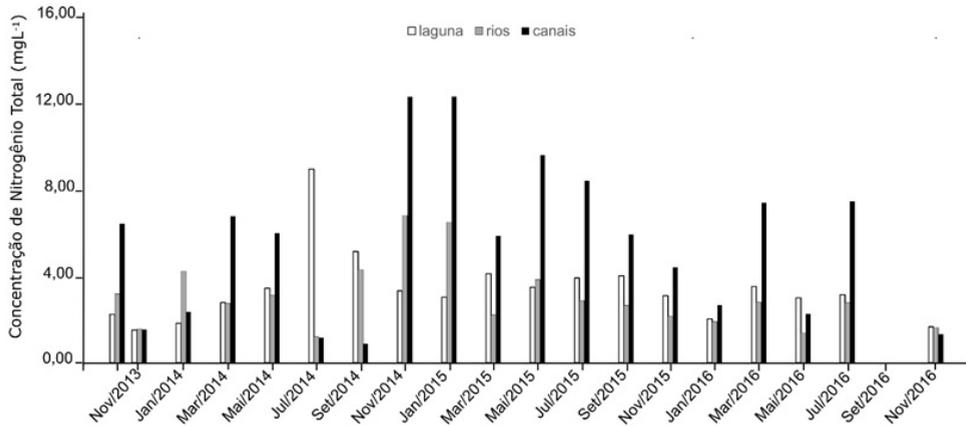


Figura 12 - Variação nos valores médios de concentração nitrogênio total nos três tipos de ambientes estudados: “laguna”, “rios” e “canais” no período entre setembro de 2013 e novembro de 2016

Fonte: Elaborado pelos autores

Os maiores valores para NT foram observados nas estações amostrais do grupo “canais”, que aportam efluentes domésticos e industriais para a laguna. No período analisado, os canais Co1, Co2 e Co4 apresentaram padrão de variação temporal semelhante entre si, com os menores valores em julho e setembro de 2014 e valores máximos em novembro de 2014 e janeiro de 2015. O canal Co3, por outro lado, apresentou os menores valores para NT, com pouca amplitude de variação no período. Em relação ao valor médio no período, o maior foi observado no canal Co4 ($8,49 \pm 7,48 \text{ mg.L}^{-1}$), seguido dos canais Co1 ($6,43 \pm 4,94 \text{ mg.L}^{-1}$), Co2 ($4,31 \pm 3,09 \text{ mg.L}^{-1}$) e Co3 ($2,90 \pm 2,48 \text{ mg.L}^{-1}$).

Em relação a PT, os maiores valores foram observados nos canais Co1 e Co4, especialmente em janeiro de 2015. Os canais Co2 e Co3 apresentaram os menores valores na maior parte das coletas e as menores amplitudes de variação no período. Em relação ao valor médio no período, o maior foi observado no canal Co1 ($0,99 \pm 1,19 \text{ mg.L}^{-1}$), seguido pelos canais Co4 ($0,54 \pm 0,58 \text{ mg.L}^{-1}$), Co3 ($0,22 \pm 0,29 \text{ mg.L}^{-1}$) e Co2 ($0,12 \pm 0,09 \text{ mg.L}^{-1}$).

No período entre 2013 e 2016, os canais apresentaram concentrações de N e P maiores do que as dos rios. Isso sugere que o N e o P na Lagoa Imboassica são provenientes principalmente de fontes pontuais, como lançamento de efluentes domésticos e industriais nos canais. Ainda no início da década de 1990, estimava-se que a Lagoa Imboassica já recebia diariamente cerca de 7 kg de P e 70 kg de N somente de um dos canais artificiais que nela desaguam⁵⁷.

A ETE Mutum entrou em operação no ano de 2013 e, desde então, trata o efluente doméstico a nível terciário, isto é, com remoção dos nutrientes. Ainda assim, os maiores valores de NT e PT na laguna foram observados recentemente, entre 2013 e 2016. Nesse período, esse ecossistema também apresentou o seu maior grau de trofia. Apesar de a ETE estar em funcionamento, nem todos os domicílios no entorno do corpo hídrico

⁵⁷ FERREIRA, C. L. Redução das concentrações de nitrogênio e fósforo dos efluentes lançados na lagoa Imboassica, através de uma região colonizada por macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Macaé: NUPEM. UFRJ, 1998. p. 375-390.

encontram-se adequadamente conectados à rede de esgoto. Dessa forma, ainda há efluentes sem o devido tratamento sendo aportados para a Lagoa Imboassica, como sugerem os elevados valores de NT e PT medidos nos canais. Outra fonte de nutrientes para a laguna é o próprio aporte interno do nutriente acumulado no sedimento (*internal loading*). Essa fertilização interna do próprio ecossistema é uma condição que pode dificultar a melhoria das condições ambientais da laguna, mesmo que haja o tratamento adequado de todo o efluente lançado no sistema. O processo de eutrofização artificial não é regulado por apenas um fator, mas sim por diferentes fatores que interagem entre si. Na Lagoa Imboassica, o aumento no aporte de nutrientes ao longo dos anos e as aberturas artificiais da barra arenosa têm atuado como estressores crônicos e agudos que, sinergicamente, possuem, por exemplo, um efeito negativo mais forte sobre a riqueza de espécies de invertebrados bentônicos e de zooplâncton⁵⁸.

Uma alternativa bastante promissora para a redução dos efeitos da eutrofização artificial e, conseqüentemente, para a recuperação da Lagoa Imboassica é a remoção do excesso de nutrientes acumulados por meio do manejo das macrófitas aquáticas. Essas plantas absorvem grande parte dos nutrientes presentes na coluna d'água e no sedimento e incorporam-no em sua biomassa. Em estudo feito na década de 1990, a existência de um banco de macrófitas aquáticas nessa laguna (próximo à estação amostral LO2) foi capaz de reduzir NT e fosfato na água em 93,8 % e 97,1 %, respectivamente, e a densidade de coliformes fecais em mais de 99,0 %⁵⁹. Além disso, *Typha domingensis*, uma das espécies de macrófitas mais comuns atualmente na Lagoa Imboassica, apresenta uma das maiores capacidades de estocagem de nutrientes⁶⁰. Embora essa vegetação aquática remova grande parte do nutriente disponível no ecossistema e o estoque sob a forma de biomassa vegetal, se a vegetação não for removida periodicamente, com a sua decomposição o nutriente retorna à coluna d'água.

O presente estudo mostrou que o monitoramento ambiental em longo prazo é uma importante ferramenta para o diagnóstico e o acompanhamento das mudanças ocorridas em um ecossistema. A observação cuidadosa e estruturada é fundamental para a ciência que embasa tomadas de decisão por gestores públicos. Além disso, informações monitoradas em longo prazo são raras e extremamente valiosas, e os seus custos são muito pequenos quando comparados ao valor dos recursos naturais protegidos e às políticas que podem ser subsidiadas⁶¹.

Conclusão

O monitoramento ambiental de longo prazo possibilita um melhor entendimento de fenômenos pontuais, sejam naturais ou antrópicos, e pode subsidiar o desenvolvimento de propostas de gestão mais adequadas para o ecossistema em questão. Este trabalho mostrou que o monitoramento foi muito importante para compreender a dinâmica do processo de eutrofização artificial da Lagoa Imboassica e investigar a influência em longo prazo de intervenções pontuais como as aberturas artificiais da barra arenosa.

⁵⁸ BOZELLI et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon, *op. cit.*

⁵⁹ FERREIRA, C. L. Redução das concentrações de nitrogênio e fósforo dos efluentes lançados na lagoa Imboassica, através de uma região colonizada por macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**, *op. cit.*

⁶⁰ *Ibid.*

⁶¹ LOVETT, G. M. et al. Who needs environmental monitoring? **Frontiers in Ecology and the Environment**, *op. cit.*

O processo de eutrofização artificial da Lagoa Imboassica se intensificou ao longo do período estudado, especialmente a partir do final da década de 1990. Atualmente, esse ecossistema apresenta características predominantes de hipereutrofia, com altas concentrações de nutrientes, especialmente de fósforo. Apesar de, desde 2013, grande parte do efluente doméstico que chega à Lagoa Imboassica vir sendo tratado, ainda se observam elevadas concentrações de nutrientes, especialmente nos canais artificiais que desembocam na laguna.

A abertura artificial da barra arenosa é uma medida ineficaz frente às conseqüências do processo de eutrofização artificial desse corpo hídrico, pois pode reduzir somente pontualmente a quantidade de nutrientes. Além disso, essa medida pode também favorecer o aumento da concentração de nutrientes na coluna d'água em decorrência do aporte concentrado de efluentes *in natura* ainda existentes, dada a redução no volume de água no ecossistema.

Ainda que parte do excesso de nutrientes presentes na coluna d'água seja removida com as aberturas artificiais da barra arenosa, essa medida por si só não assegura a recuperação do ecossistema. Isso depende também da remoção do excesso de nutrientes já estocados no sedimento da laguna. Nesse sentido, o manejo de macrófitas aquáticas mostra-se como uma alternativa promissora para a recuperação desse ecossistema de grande importância para a região.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os pesquisadores, técnicos e alunos que participaram do projeto ECOLAGOAS e contribuíram para o monitoramento ambiental. Agradecem também a João Marcelo Silva de Souza pelo suporte em campo nas coletas e também no mapeamento batimétrico da Lagoa Imboassica. Os autores são gratos também a Kaná Manhães e a Thais Steigleder pelas fotografias gentilmente cedidas e a Anderson Gripp e Matias do Nascimento Ritter pelas sugestões de melhoria dadas às versões iniciais do texto.

Anexo

Quadro 1. Registro das aberturas artificiais da barra arenosa da laguna ocorridas no período entre julho de 1992 e dezembro de 2016 na Lagoa Imboassica. Os registros encontrados nas diferentes fontes bibliográficas listadas foram confirmados com base nas cadernetas de campo do projeto ECOLAGOAS. (continua)

Dia	Mês	Ano	Fonte
30	setembro	1992	Branco et al. (2007) ⁶²
03	março	1993	Branco et al. (2007) ⁶²
16	março	1994	Branco et al. (2007) ⁶²
26	abril	1994	Erazo (2003) ⁶³

⁶² BRANCO, CWC; KOZLOWSKY-SUZUKI, B.; ESTEVES, FA. Environmental changes and zooplankton temporal and spatial variation in a disturbed brazilian coastal lagoon. *Brazilian Journal of Biology*, v. 67, n. 2, p.251-262, 2007.

⁶³ ERAZO, J. A. G. **Estudo de modelagem sobre a abertura da barra da Lagoa Imboassica - RJ**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

Quadro 1. Registro das aberturas artificiais da barra arenosa da laguna ocorridas no período entre julho de 1992 e dezembro de 2016 na Lagoa Imboassica. Os registros encontrados nas diferentes fontes bibliográficas listadas foram confirmados com base nas cadernetas de campo do projeto ECOLAGOAS. (conclusão)

Dia	Mês	Ano	Fonte
31	maio	1994	Branco et al. (2007) ⁶²
29	maio	1995	Branco et al. (2007) ⁶²
02	novembro	1995	Albertoni et al. (2002) ⁶⁴
??	abril	1996	Albertoni et al. (2002) ⁶⁴
17	maio	1996	Erazo (2003) ⁶³
16	novembro	1996	Melo et al. (2007) ⁶⁵
06	janeiro	1997	Melo et al. (2007) ⁶⁵
16	fevereiro	1998	Melo et al. (2007) ⁶⁵
08	fevereiro	2001	Bozelli et al. (2009) ⁶⁶
09	novembro	2005	Carvalho (2005) ⁶⁷
08	janeiro	2008	Barboza (2008) ⁶⁸
16	abril	2008	Câmara (2010) ⁶⁹
02	outubro	2008	monitoramento ECOLAGOAS
18	novembro	2008	Câmara (2010) ⁶⁹
15	janeiro	2009	Câmara (2010) ⁶⁹
04	janeiro	2012	Campolina (2012) ⁷⁰
17	novembro	2016	Fontes (2016) ⁷¹

⁶⁴ ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C.; ESTEVES, F.A. Distribution and growth in adults of *Macrobrachium acanthurus* Wiegmann, (Decapoda, Palaemonidae) in a tropical coastal lagoon, Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 2, p.61-70, dez. 2002.

⁶⁵ MELO, S.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A. Temporal and spatial fluctuations of phytoplankton in a tropical coastal lagoon, southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 3, p.475-483, 2007.

⁶⁶ BOZELLI et al. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon, *op. cit.*

⁶⁷ CARVALHO, M. **Macaenses festejam abertura da barra da lagoa**. 2005. Disponível em: <http://www.macaes.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/macaenses-festejam-abertura-da-barra-da-lagoa>. Acesso em: 10 jan. 2017.

⁶⁸ BARBOZA, L. **Abertura da barra ajuda a renovar a vida na Lagoa**. 2008. Disponível em: <http://www.macaes.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/abertura-da-barra-ajuda-a-renovar-a-vida-na-lagoa>. Acesso em: 10 jan. 2017.

⁶⁹ CAMARA, E.M. **Gradientes ambientais e a ictiofauna litorânea de ecossistemas costeiros: os efeitos de aberturas da barra arenosa de duas lagoas costeiras do sudeste brasileiro, RJ**. 2010. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

⁷⁰ CAMPOLINA, T. **Barra da Lagoa de Imboassica é aberta**. 2012. Disponível em: <http://www.macaes.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/barra-da-lagoa-de-imboassica-e-aberta>. Acesso em: 10 jan. 2017.

⁷¹ FONTES, M. **Prefeitura realiza a abertura da barra da Lagoa**. 2016. Disponível em: <http://www.odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/37494/prefeitura-realiza-a-abertura-da-barra-da-lagoa>. Acesso em: 10 jan. 2017.

A QUALIDADE DA ÁGUA E AS MORTANDADES DE PEIXES NA LAGUNA DE ARARUAMA

Julio Cesar Wasserman (UFF) • Ângelo César Carvalho (UFF) • Kaylanne Montenegro da Silva (FIOCRUZ)
Murilo de Carvalho Vicente (UFF) • Teresa Cristina Soares de Mello Guimarães (UFF)

Introdução

O objetivo geral do presente documento é apresentar uma revisão sobre os processos físicos, químicos e biológicos que podem provocar modificação na qualidade da água, levando a mortandades de peixes em ambientes costeiros, e, particularmente, sobre os processos que, segundo a literatura, podem ocorrer na laguna de Araruama. Em se tratando de ambiente hipersalino, a laguna de Araruama tem características específicas distintas de outros tipos de ambientes. Esse tema também merece ser tocado ao longo do presente documento. Finalmente, será feita uma discussão sobre o estado da arte do conhecimento científico sobre a laguna de Araruama. Esse conhecimento é fruto de estudos realizados por diversos grupos de pesquisa das Universidades e dos Institutos de Pesquisa da região, que servem à compreensão do modo de funcionamento do sistema no passado e permitem o entendimento dos processos que podem ter levado a mortandades.

As mortandades de peixes em ambientes aquáticos naturais

Todos os ambientes aquáticos estão sujeitos, por processos diversos, à ocorrência de mortandades de peixes, também conhecidas como mortandades ou mortalidades em massa. Tais mortandades estão associadas a modificações nas características físicas, químicas e biológicas da água, as quais vão tornar a vida dos peixes inviável, durante períodos de tempo variáveis. Não é possível que ocorra uma mortandade de peixes em um sistema que tenha suas águas impróprias à vida; nesses casos, não há peixes, e, assim, eles não podem morrer. Em uma mortandade de peixes estudada no ano de 1996^{1,2}, na laguna de Piratininga, Niterói, a quantidade de peixes mortos foi estimada

¹ CUNHA, L. C.; WASSERMAN, J. C. Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction. **Chemistry and Ecology**, v. 19, n. 4, p. 283-298, 2003.

² WASSERMAN, J. C. *et al.* The impact of a canal lock upon the water balance and the trophic state of Piratininga Lagoon, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B. A.; BIDONE, E. D. *et al.* (ed.). **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil**. Niterói: EDUFF, 1999. p.161-169. (Série Geoquímica Ambiental, 6).

em torno de 300 toneladas. Uma mortandade de tal dimensão só foi possível porque uma maré de sizígia excepcional promoveu a entrada de grandes cardumes de variadas espécies no sistema. Por uma lamentável coincidência, um forte vento Sudoeste, em um período em que as algas da laguna tinham morrido, promoveu o revolvimento do fundo e a emissão de gás sulfídrico para a coluna d'água, gerando forte anoxia. Como a maré de sizígia tinha passado, os peixes não puderam retornar a zonas de maior concentração de oxigênio e acabaram morrendo por asfixia.

O fenômeno da anoxia (ou hipoxia), causado pelo revolvimento de um sedimento de fundo, é um fenômeno comumente observado e considerado pela maioria dos pesquisadores como sendo natural dos ambientes de baixa hidrodinâmica. Em alguns documentos históricos publicados nos anos 50, nas Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, vários autores discutem as mortandades de peixes associadas a um forte odor desagradável^{3,4,5}, sendo que Oliveira, Nascimento *et al.*⁶ mencionam:

...antes do século XX... Sucediã à lagoa, muitas vèzes, horríveis mortandades de peixes, e secagem dos limos nas margens que exalavam cheiro pútrido, do mesmo modo que também hoje acontece às lagoas naturais, ainda não urbanizadas. Algumas mortandades eram atribuídas a variações bruscas de salinidade: Rodrigo de Freitas era de água salgada, pouco depois de um temporal era de água doce, ou outras vèzes, mista, salobra. Numerosos foram os trabalhos, queixas e desesperos sem fim, referentes aos transtornos causados por esta laguna.

A percepção (na época pouco científica) de que as mortandades seriam atribuídas à salinidade também era consistente com o fato de que a água do mar é rica em sulfatos, que em ambientes anóxicos (ou redutores) se convertem em sulfetos precipitados nos sedimentos. As mudanças bruscas seriam associadas a fortes chuvas que normalmente vinham acompanhadas de rajadas de vento que remobilizavam o fundo, liberando gás sulfídrico (o famoso cheiro de ovo podre, ou, como citado por Lejeune de Oliveira, “cheiro pútrido”).

A anoxia (ou hipoxia) pode provocar mortandades de peixes muito intensas, como a relatada na baía de Coliumo, na costa Pacífica do Chile⁷. Segundo os autores, a anoxia teria ocorrido por causa de uma ressurgência de águas pouco oxigenadas de oceano, intermediárias, que teriam sufocado os peixes. Não obstante, tem-se demonstrado que as anoxias não podem ser consideradas como únicas responsáveis pelas mortandades, e algum outro fator pode ter papel importante. McInnes e Quigg⁸ estudaram mortandades de peixes anuais na região da baía de Galvestone (Texas), onde a anoxia (ou hipoxia) ocorre anualmente, contudo, nos dois anos estudados (verão de 2005 e verão de 2006),

³ OLIVEIRA, L. *et al.* Observações hidrobiológicas e mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 55, p. 211-271, 1957. ISSN 0074-0276.

⁴ OLIVEIRA, L. D. Sobre a lei da concentração das lagunas e sua aplicação no caso da Lagôa Rodrigo de Freitas. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 53, p. 263-276, 1955. ISSN 0074-0276.

⁵ ARAGÃO, H. D. B. *et al.* Relatório sobre a situação da Lagôa Rodrigo de Freitas sob o ponto de vista biológico. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 34, p. 457-463, 1939. ISSN 0074-0276.

⁶ OLIVEIRA, L. *et al.* Observações hidrobiológicas e mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, *op. cit.*

⁷ HERNANDEZ-MIRANDA, E. *et al.* A major fish stranding caused by a natural hypoxic event in a shallow bay of the eastern South Pacific Ocean. **Journal of Fish Biology**, v. 76, n. 7, p. 1543-1564, May 2010.

⁸ MCINNES, A. S.; QUIGG, A. Near-Annual Fish Kills in Small Embayments: Casual vs. Causal Factors. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n. 5, p. 957-966, Sep 2010. ISSN 0749-0208.

observou-se uma forte mortalidade no primeiro ano e ausência de mortalidade no segundo ano (ainda que a hipoxia tenha ocorrido nos dois anos). Os autores atribuem a mortalidade do verão de 2005 à ocorrência simultânea de uma floração algal, expressa pelas concentrações de clorofila e feopigmentos, concluindo que a combinação dos dois fatores (anoxia e floração) é necessária para a ocorrência do fenômeno.

Durante um extenso período, Jean Carmouze (cooperante do Institut de Recherche pour le Développement, no Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense, Niterói) estudou os processos químicos e biológicos ligados à ocorrência de mortandades de peixes em lagunas costeiras da Região dos Lagos, mostrando a sua grande complexidade. Em estudo de vários anos, Azevedo e Carmouze⁹ averiguaram a ocorrência de uma mortandade de peixes logo após uma floração da cianofíceia *Synechocystis aquatilis* f. *salina*, a qual foi comprovadamente responsável pela produção de substâncias tóxicas para ratos em laboratório. É interessante notar que a mortandade afetou preferencialmente a espécie *Brevoortia tyrannus*, também conhecida como savelha na região, a mesma espécie que tem constantemente morrido em eventos recentes na laguna de Araruama e em outros ambientes costeiros do estado do Rio de Janeiro. É meritório de nota, ainda, o fato de que, embora a toxicidade da microalga cianofíceia tenha sido comprovada pelos estudos com ratos, a causa da morte dos peixes, uma hemorragia, não foi observada nos roedores. Os autores concluem sobre a necessidade de estudos mais aprofundados para entender os processos que levaram à mortandade dos peixes daquela laguna. O Professor Jean Carmouze retornou à França, mas não conseguiu desvendar o processo que, infelizmente, não voltou a ser estudado.

São necessárias modificações nas condições físico-químicas do sistema para explicar o que Carmouze e Knoppers (juntamente com muitos outros) chamaram de metabolismo das lagunas costeiras. O metabolismo das lagunas é controlado pelos processos de produção primária (a partir do CO₂) e pela mineralização (decomposição do carbono orgânico, respiração) da matéria orgânica. Inicialmente, esses autores¹⁰, estudando a laguna de Saquarema, identificaram a importância das variações diurnas nos processos pelágicos (relativos à coluna d'água) e bênticos (relativos ao sedimento), em que ocorre alternância de autotrofia e heterotrofia, ou seja, de produção de matéria orgânica (pela fotossíntese) e mineralização da matéria orgânica (pela respiração das algas e dos microorganismos). Esses autores já ressaltam a complexidade do processo e sua variabilidade diária, semanal, mensal e anual, levando à disponibilização de nutrientes na coluna d'água e alimentando, assim, as florações algais, algumas vezes responsáveis pelas mortandades de peixes. Um aspecto ressaltado no estudo de Carmouze, Knoppers et al.¹¹ é a relação entre os estoques de matéria orgânica e nutrientes presentes no sedimento e a produção de microalgas na coluna d'água.

⁹ AZEVEDO, S. M. F. D. O.; CARMOUZE, J.-P. Une mortalité de poissons dans une lagune tropicale (Brésil) durant une période de dominance de Cyanophyceae. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, v. 27, n. 3, p. 265-272, 1994.

¹⁰ CARMOUZE, J. P.; KNOPPERS, B.; VASCONCELOS, P. Metabolism of a subtropical Brazilian Lagoon. *Biogeochemistry*, v. 14, n. 2, p. 129-148, 1991. ISSN 0168-2563

¹¹ *Ibid.*

Juntamente com outros estudos^{12,13,14,15}, os autores observam que a mineralização de nutrientes para a coluna d'água é frequentemente mais importante do que os próprios aportes de nutrientes oriundos dos esgotos domésticos. É evidente que, nesse quadro, a coleta de uma única amostra não permitiria a identificação de tão complexos processos.

Neste ponto, é necessária uma explicação sobre os processos das florações algais e as questões relacionadas à limitação de nutrientes e energia luminosa (Lei de Liebig). A Lei do Mínimo de Liebig é um conceito básico de ecologia, explicado na página 281 do livro de Ricklefs¹⁶, que estabelece a necessidade de um elemento (ou fator) limitante à produção primária (no nosso caso, das algas, sejam microalgas, sejam macroalgas). Assim, em um sistema, podemos ter nitrogênio, carbono, fósforo, molibdênio, luz abundantes, mas pouco ferro, e a produção primária será sempre controlada pela disponibilidade deste último elemento – o ferro é o fator limitante. Se uma pequena dose desse elemento limitante é despejada no ambiente, as algas respondem quase imediatamente com uma produção primária. A Figura 1 ilustra o processo. Qualquer desequilíbrio que forneça o nutriente limitante para o ambiente vai promover uma resposta quase imediata (sempre existe uma pequena defasagem, como indica a figura) em termos de produção primária. A partir da 50ª hora, o fitoplâncton passa a consumir intensamente os nutrientes introduzidos, esgotando-os da coluna d'água (como pode ser observado na 96ª hora). Por falta do nutriente limitante, também o fitoplâncton vai morrendo e, após um período de 4 a 5 dias de floração, o sistema retorna à normalidade. É evidente que, para o caso das algas tóxicas, as suas toxinas permanecem no ambiente por períodos mais longos e podem ser responsáveis pelas mortandades, como descrito por Azevedo e Carmouze¹⁷ mais acima.

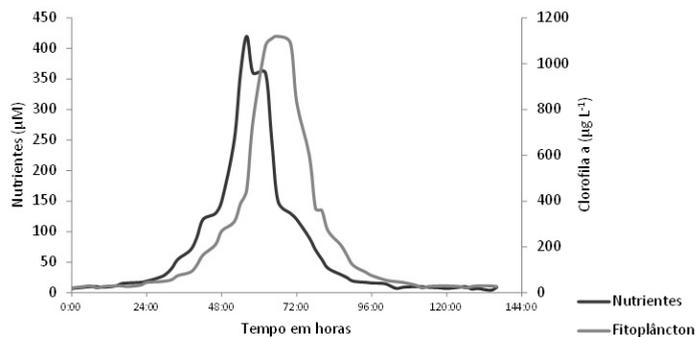


Figura 1 - Gráfico mostrando o enriquecimento em um nutriente limitante e a resposta em termos de produção primária do fitoplâncton

Fonte: os autores

¹² CUNHA, L. C.; WASSERMAN, J. C. Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction, *op. cit.*

¹³ WASSERMAN, J. C. *et al.* The impact of a canal lock upon the water balance and the trophic state of Piratinga Lagoon, State of Rio de Janeiro, Brazil, *op. cit.*

¹⁴ CARMOUZE, J. P. *et al.* Benthic influence on the metabolism of a shallow tropical lagoon (Lagoa da Barra, Brazil). *Hydrobiologia*, v. 374, p. 89-100, 1998. ISSN 0018-8158.

¹⁵ CARMOUZE, J. P.; SAMPAIO, C. E.; DOMINGOS, P. Évolution des stocks de matière organique et de nutriments dans une lagune tropicale (Brésil) au cours d'une période marquée par une mortalité de poissons. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, v. 27, n. 3, p. 217-234, 1994.

¹⁶ RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1993. 470 ISBN 8527703580.

¹⁷ AZEVEDO, S. M. F. D. O.; CARMOUZE, J.-P. Une mortalité de poissons dans une lagune tropicale (Brésil) durant une période de dominance de Cyanophyceae, *op. cit.*

O mais importante sobre as florações algais é que ocorrem sempre que há desequilíbrio químico na água com excesso do nutriente limitante. Isso pode ocorrer também pelos aportes de esgotos domésticos, mas, na maioria dos casos, como demonstram Carmouze, De Farias *et al.*¹⁸, os processos de mineralização a partir do sedimento são mais importantes. Cunha e Wasserman¹⁹ realizaram um balanço de massa no sistema lagunar Piratininga-Itaipu (Niterói) e verificaram que a quantidade de nutrientes necessária para a manutenção da produção primária no sistema era simplesmente 10 vezes maior do que os aportes do esgoto doméstico (principal poluição do sistema estudado). Nesse caso, pergunta-se: como a biomassa consegue os nutrientes necessários ao seu crescimento? Segundo a hipótese desses autores, a reciclagem dos nutrientes a partir dos sedimentos, o que Carmouze chama de remineralização, seria a principal responsável pela manutenção da produção primária.

O sistema funciona da seguinte forma: com o passar dos anos, os nutrientes vão sendo lançados pelas fontes culturais (agricultura e esgotos domésticos) ou fontes naturais (erosão dos solos), são absorvidos pelos produtores primários (fitoplâncton) e, com sua morte, vão para o sedimento. O sedimento funciona mais ou menos como um centro de estocagem de nutrientes, acumulando os aportes históricos de nutrientes que periodicamente são mineralizados para a coluna d'água, provocando as florações, as quais podem provocar as mortandades de peixes. O manual de florações algais nocivas²⁰ relata as diferentes florações já registradas e seus efeitos na biota em um volume de quase 800 páginas, sendo, portanto, uma temática extremamente complexa. De uma forma geral, as florações mais frequentes em lagunas costeiras estão associadas a cianofíceas (ou cianobactérias), criptofíceas e dinoflagelados, mas as primeiras são as que produzem o maior número de toxinas, entre elas a microcistina, a anatoxina, a saxitoxina e a nodularina. Algumas dessas microalgas também podem causar mortandades de peixes. Na Lagoa Rodrigo de Freitas, a ocorrência de florações algais foi extensamente registrada por Domingos, Gômara *et al.*²¹ desde o ano de 2000, e, em mortandade de 2010, foi identificada elevada densidade de *Chrysocromulina* sp., gênero de alga produtora de ictiotoxina que parece ter sido responsável pela mortandade, visto que não ocorreu anoxia. Segundo as autoras, essa é uma mudança radical nos processos de mortandade de peixes da Lagoa Rodrigo de Freitas, onde sempre ocorria anoxia.

Na verdade, alguns desses processos ainda são muito pouco compreendidos, e as relações ecológicas de todas as espécies presentes em ecossistemas podem estar sendo severamente afetadas pelas mudanças climáticas. Em um estudo na Laguna de Pamlico, na Carolina do Norte, algumas mudanças vêm sendo observadas em decorrência da maior incidência de furacões²². Processos de intensa mistura na coluna d'água em razão

¹⁸ CARMOUZE, J. P. *et al.* Benthic influence on the metabolism of a shallow tropical lagoon (Lagoa da Barra, Brazil), *op. cit.*

¹⁹ HALLEGRAEFF, G. M.; ANDERSON, D. M.; CEMBELLA, A. D. (eds.). **Manual on Harmful Marine Microalgae**. 2.ed. Paris, France: UNESCO Publishing, 2004. p.793 (Monographs on Oceanographic Methodology, v.11).

²⁰ DOMINGOS, P. *et al.* Eventos de mortandade de peixes associados a florações fitoplanctônicas na Lagoa Rodrigo de Freitas: Programa de 10 anos de monitoramento. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 3, p. 441-466, 2012.

²¹ PAERL, H. W. *et al.* Assessing the Response of the Pamlico Sound, North Carolina, USA to Human and Climatic Disturbances Management Implications. In: KENNISH, M. J.; PAERL, H. W. (ed.). **Coastal Lagoons: Critical Habitats of environmental change**. Boca Raton, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. cap. 2, p.17-42. (CRC Marine Sciences Series). ISBN 978-1-4200-8830-4.

²² FEEMA. Vida supera a morte na Lagoa Rodrigo de Freitas. **Revista da FEEMA**, v. 2, p. 26-35, 1993.

de fortes ventos, redução extrema da salinidade em consequência das chuvas e respostas antagônicas em períodos mais longos de seca vêm modificando a ecologia da laguna, provocando mortandades mais intensas e mais frequentes. Juntem-se a isso os aportes antrópicos de nutrientes, a ocupação desordenada das bacias de drenagem e vai ficando cada vez mais difícil fazer previsões sobre o futuro desses frágeis sistemas costeiros.

São necessários estudos de mais longo prazo, estudos abrangendo maior quantidade de parâmetros, inclusive as abundâncias das diversas espécies do plâncton, do necton e do bentos para entendermos as sucessões e os parâmetros físico-químicos que determinam essas sucessões. Olhando o caso da laguna de Araruama, é necessário que sejam medidos todos os parâmetros físico-químicos e biológicos simultaneamente em amostragens distantes das margens com frequência definida de tal forma a efetivamente permitir consistentes interpretações. Também é necessário realizar as interpretações, visto que só essas ações podem permitir o estabelecimento de procedimentos de remediação e gestão capazes de mitigar os impactos de todas estas interferências antrópicas.

Os processos tróficos em ambientes costeiros

As causas das mortandades de peixes se originam de mudanças nos processos ambientais. Essas mudanças, sejam antrópicas ou naturais, modificam o status físico, químico e ecológico da água, eventualmente provocando a mortandade. Quando mencionados os processos de mortandade, no item anterior, vimos que a causa mais comum das mortandades é a anoxia (ou hipoxia). No caso da laguna Rodrigo de Freitas, relatamos a ocorrência dessas mortandades nos anos de 1950, mas as mortandades mais antigas foram relatadas a partir de 1844²³. É muito provável que a ocorrência de mortandades por anoxia já fosse um processo natural naquela época, dado pela presença de sedimentos muito redutores, onde a acumulação de matéria orgânica era muito intensa, mesmo com uma reduzida presença do homem.

A acumulação de matéria orgânica implica, mesmo nos ambientes naturais, a presença de fontes que podem ser autóctones ou alóctones (ou detríticas). As fontes autóctones são aquelas que produzem matéria orgânica na própria laguna, como as algas ou as vegetações das margens (por exemplo as taboas ou os mangues). Já as fontes alóctones ou detríticas produzem matéria orgânica na bacia de drenagem e são transportadas pelos rios até a laguna, onde se depositam e se preservam no fundo. O contínuo enriquecimento dos ambientes costeiros com os materiais, sejam alóctones ou autóctones, vão provocar um fenômeno bastante complexo que é a *eutroficação* (ou eutrofização)²⁴. Uma boa definição de eutroficação pode ser encontrada na página 424 do livro *A Economia da Natureza*¹²:

²³ NIENHUIS, P. Eutrophication, water management, and the functioning of Dutch estuaries and coastal lagoons. **Estuaries**, v. 15, n. 4, p. 538-548, 1992. ISSN 0160-8347.

²⁴ DAS, B.; NORDIN, R.; MAZUMDER, A. An alternative approach to reconstructing organic matter accumulation with contrasting watershed disturbance histories from lake sediments. **Environmental Pollution**, v. 155, n. 1, p. 117-124, 2008.

Qualquer substância que intensifica a produtividade de um habitat pode ser considerada fertilizante... Os nitratos e fosfatos e outros fertilizantes inorgânicos (...) aumentam a produção biológica. Uma consequência desta fertilização artificial, muitas vezes chamada de eutroficação, é a mudança das condições biológicas e químicas de um corpo d'água.

Embora as mudanças causadas pelos aportes de nutrientes não sejam necessariamente ruins para o meio ambiente, eles podem provocar desequilíbrios intensos, reduzindo a biodiversidade e provocando as mortandades de peixes e outros organismos de interesse comercial, segundo os processos descritos no item anterior. Assim, o entendimento dos processos que causam a eutroficação é chave para desvendar os mecanismos que causam as mortandades. Em outras palavras, as mortandades estão intimamente ligadas ao processo de eutroficação.

Após estabelecer a relação entre a eutroficação e as mortandades, é necessário introduzir o conceito de eutroficação cultural, ou seja, aquela parcela da eutroficação causada pelo homem. As principais fontes associadas à eutroficação cultural são:

- a) A agricultura: Na agricultura, são utilizados fertilizantes nos solos para aumentar a produção, particularmente o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Esses nutrientes incorporados ao solo precisam encontrar condições químicas de retenção às partículas atribuídas à chamada Capacidade de Troca de Cátions (CTC)²⁵. Em solos agrícolas, a matéria orgânica (também incorporada ao solo para aumentar a fertilidade) é que atribui CTC ao solo, e, assim, quanto melhor a qualidade da matéria orgânica do solo, melhor a sua capacidade de retenção dos fertilizantes (nutrientes). Não obstante, a capacidade de retenção do solo nunca é capaz de reter indefinidamente os nutrientes^{26,27}, e uma parcela vai ser lixiviada para a água subterrânea, daí para os rios e lagos. Além das fontes agrícolas, a pecuária, a suinocultura, a avicultura e a piscicultura são fontes significativas de nutrientes para o ambiente aquático.
- b) Esgotos domésticos: Os esgotos domésticos possuem em sua composição uma série de poluentes resultantes do metabolismo fisiológico humano (urina e fezes), mas também dos resultantes do uso de produtos químicos nas residências (detergentes, pesticidas, metais pesados, etc.). Os contaminantes sanitários, compostos pelas bactérias, os parasitas e mais recentemente os vírus, são os mais notórios^{28,29}. Também abundantemente presentes no esgoto doméstico, os nutrientes e a matéria orgânica constituem contaminantes significativos, tendo

²⁵ VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1991.

²⁶ MACHADO, R. L. et al. Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 945-954, 2010.

²⁷ BATLLE-AGUILAR, J. et al. Analysis of carbon and nitrogen dynamics in riparian soils: Model validation and sensitivity to environmental controls. **Science of the Total Environment**, v. 429, n. o, p. 246-256, 2012. ISSN 0048-9697.

²⁸ BARRAQUE, B. Past and future sustainability of water policies in Europe. **Natural Resources Forum**, v. 27, n. 3, p. 200-211, Aug 2003.

²⁹ COURA, J. R. et al. Epidemiological, social and sanitary aspects in area of Médio Solimões: I - Study of localities of São Francisco do Laranjal, Aranaí and São Lázaro do Surubim, municipality of Coari, State of Amazonas. **Anais da Academia Nacional de Medicina**, v. 153, n. 3, p. 122-126, 1993.

como principal efeito o processo de eutroficação no ambiente aquático receptor. Segundo Economopoulos³⁰, cada habitante da bacia de drenagem pode produzir 5 g de nitrogênio, 0,55 g de fósforo e 10,4 g de DBO por dia. Mesmo que o esgoto venha a ser tratado em estações terciárias, e os efluentes lançados nos chamados “wetlands construídos” (como o de Araruama, RJ), a eficiência de retirada de nutrientes ainda é muito baixa, podendo chegar nos processos mais sofisticados a 40 % do aporte de nutrientes³¹.

- c) Lixiviação do ambiente urbano: A lixiviação das vias públicas e de solos desnudos e degradados do ambiente urbano também pode contribuir com nutrientes para os ambientes costeiros. Os resíduos deixados pela atividade humana nas superfícies e calçadas das cidades podem ser resultantes da queima dos combustíveis fósseis (hidrocarbonetos pirolíticos), metais pesados e nutrientes, oriundos de todo tipo de lixo ou resíduo deixado na via pública. Veja o caso das feiras livres, onde, mesmo coletados os resíduos sólidos, permanecem os resíduos solúveis (chorume), que vão ser incorporados à água de lixiviação das cidades (também chamadas de “stormwaters” na literatura científica). A lixiviação de aterros controlados, lixões, e resíduos sólidos domésticos em geral também podem ser uma fonte muito significativa^{32,33,34,35}.
- d) As indústrias: Inúmeros tipos de indústrias podem lançar no meio ambiente concentrações consideráveis de nutrientes, particularmente a indústria alimentícia, de laticínios, de beneficiamento do pescado, de bebidas fermentadas, do papel e celulose, de fertilizantes, abatedouros, entre outras.

Diferentemente dos processos naturais de enriquecimento das águas com nutrientes, a eutroficação cultural é responsável pelo aporte excessivo, causando fortes desequilíbrios ecológicos, intensificando a produção de matéria orgânica que, em última instância, provoca incremento no processo de colmatação (assoreamento) dos ambientes costeiros, incluindo as lagunas.

Ao atingir os ecossistemas costeiros chamados lênticos (de menor hidrodinâmica), como lagos e lagunas costeiras, os nutrientes são rapidamente convertidos em produção primária (macro ou microalgas), seguindo o processo apresentado na Figura 1³⁶. É necessário chamar a atenção para o fato de que a eficiência dos produtores primários

³⁰ ECONOMOPOULOS, A. P. **Assessment of sources of air, water, and land pollution: a guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies**. Geneva: World Health Organization, 1993. 263p. Part two: Approaches for consideration in formulating environmental control strategies.

³¹ LENZI, M.; PALMIERI, R.; PORRELLO, S. Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 12, p. 1540-1548, Dec. 2003.

³² BARMAN, P. J.; KARTHA, S. A.; PRADHAN, B. Empirical approach to predict leached nutrients from landfill site. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 9, p. 6619-6633, May 2015. ISSN 0944-1344.

³³ IQBAL, H. et al. Leaching of Metals, Organic Carbon and Nutrients from Municipal Waste under Semi-Arid Conditions. **International Journal of Environmental Research**, v. 9, n. 1, p. 187-196, Win 2015. ISSN 1735-6865.

³⁴ KUMAR, M. et al. Nutrient chemistry and salinity mapping of the Delhi aquifer, India: source identification perspective. **Environmental Geology**, v. 56, n. 6, p. 1171-1181, Jan. 2009. ISSN 0943-0105.

³⁵ RAJU, N. J.; RAM, P.; DEY, S. Groundwater Quality in the Lower Varuna River Basin, Varanasi District, Uttar Pradesh. **Journal of the Geological Society of India**, v. 73, n. 2, p. 178-192, Feb. 2009. ISSN 0016-7622.

³⁶ VOLLENWEIDER, R. A. Coastal marine eutrophication: principles and control. In: MARINE COASTAL EUTROPHICATION INTERNATIONAL CONFERENCE, 1992, Bologna, Italy. Bolonha: Elsevier, 1992. 1-20 p.

é extraordinária, de modo que, caso as condições sejam satisfatórias (luz, temperatura, ausência de substâncias tóxicas), todo o nutriente é convertido em produção primária, sobrando apenas traços do contaminante. Em dois trabalhos com a fanerógama marinha *Syringodium filiforme*, Short e colegas observaram que a retirada de nutrientes da água era tão intensa que podia esgotar rapidamente suas concentrações^{37,38}. Em ambientes com baixas concentrações de nutrientes, como em oceano aberto, a retirada é intensa e determina uma depressão das concentrações nos primeiros 200 metros. Abaixo dessa profundidade, onde a luz não penetra mais, as concentrações aumentam de maneira significativa até elevados valores em grandes profundidades, onde a luz passa a ser o fator limitante³⁹.

O processo de retirada dos nutrientes pelos produtores primários é bastante complexo, de forma que o conjunto de condições reinantes vai determinar a espécie dominante no processo. Em ambientes muito rasos, existe uma tendência à dominância de macroalgas ou macrófitas. Na laguna de Araruama, por exemplo, a enseada do Siqueira apresenta períodos de produção primária por enormes folhas de *Ulva lactuca*, também conhecida como alface do mar⁴⁰. Contudo, nos períodos de salinidade muito elevada (normalmente no inverno), a produção dessa espécie dá lugar a uma sucessão de microalgas fitoplanctônicas.

Nos ambientes onde a produção é de macroalgas, como na porção “jusante” (os autores chamam de jusante a porção Oeste da laguna de Piratininga, sendo aquela um pouco mais distante das entradas de rios) da Laguna de Piratininga^{41,42}, a presença das algas é mais perene, com um ciclo anual, e seu estudo e gestão costumam ser facilitados. Veja que, na Figura 2, uma foto tirada no banco de macroalgas em Piratininga, é possível identificar (na porção esquerda da foto) a transparência da água. Devido ao consumo dos nutrientes pelas macroalgas, o fitoplâncton não consegue se desenvolver, e o material em suspensão originário dos rios que deságuam na laguna não atinge essa porção da laguna, fazendo com que a água fique transparente.

³⁷ SHORT, F. T. et al. Evidence for phosphorus limitation in carbonate sediments of the seagrass *Syringodium filiforme*. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 20, p. 419-430, 1985.

³⁸ SHORT, F. T.; MCROY, C. P. Nitrogen uptake by leaves of the seagrass *Zostera marina* L. **Botanica Marina**, v. 27, p. 547-555, 1984.

³⁹ BROECKER, W. S.; PENG, T.-H. **Tracers in the Sea**. Palisades, NY: Lamont-Doherty Geological Observatory, 1982. 690p.

⁴⁰ WASSERMAN, J. C.; SILVA-FILHO, E. V. **Relatório resumido do monitoramento do Projeto Perynas (Araruama) para instalação de um condomínio de casas com marina e hotel**. Rio de Janeiro: AGS, Empreendimentos Turísticos e Hoteleiros SA., 1995. p.6.

⁴¹ CUNHA, L. C.; WASSERMAN, J. C. Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction, *op. cit.*

⁴² WASSERMAN, J. C. et al. The impact of a canal lock upon the water balance and the trophic state of Piratininga Lagoon, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B. A.; BIDONE, E. D. et al (ed.). **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil**. *op. cit.*



Figura 2 - Banco de *Chara Hornemannii* da laguna de Piratininga, Niterói. Observa-se na porção esquerda da imagem a presença de uma pequena área desprovida de algas, onde a coloração clara é o fundo arenoso, denotando a transparência da água

Foto Wasserman, 1996

Um outro efeito da intensa produção primária que pode ser observado na figura 2 é a presença de bolhas de ar (na verdade bolhas de oxigênio) resultantes da conversão de dióxido de carbono em oxigênio através do processo conhecido como fotossíntese. Os valores de oxigênio dissolvido medidos nos estudos de Wasserman e outros^{43,44} podem ultrapassar em mais de 200% os níveis de saturação do gás (até 16 mg L⁻¹). O problema das produções excessivas de macroalgas é que, durante os períodos de senescência (morte) das plantas, a matéria orgânica entra em decomposição e, em vez de produzir oxigênio, consome o gás e produz CO₂ (processo inverso). Gera com isso forte anoxia da água que, no caso de Piratininga, causou intensas mortandades de peixes no ano de 1996⁴⁵. Esses autores, sugerem, como medida de gestão, a retirada periódica das algas no período pré-senescência, de maneira que elas não degradem dentro da água da laguna e, com isso, não intensifiquem o processo de consumo do oxigênio da água, reduzindo a possibilidade de ocorrência de mortandades. Esse mesmo mecanismo foi implementado na laguna de Orbetello, na Itália⁴⁶, permitindo uma melhoria significativa do ambiente. Na Lagoa Rodrigo de Freitas, a Prefeitura do Rio de Janeiro também faz a retirada periódica dos bancos de *Ruppia maritima*⁴⁷, uma fanerógama marinha que se desenvolve em diversas porções daquele sistema.

⁴³ CUNHA, L. C.; WASSERMAN, J. C. Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction, *op. cit.*

⁴⁴ WASSERMAN, J. C. *et al.* The impact of a canal lock upon the water balance and the trophic state of Piratininga Lagoon, State of Rio de Janeiro, Brazil, *op. cit.*

⁴⁵ CUNHA, L. C.; WASSERMAN, J. C. Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction, *op. cit.*

⁴⁶ LENZI, M.; PALMIERI, R.; PORRELLO, S. Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management, *op. cit.*

⁴⁷ DOMINGOS, P. *et al.* Eventos de mortandade de peixes associados a florações fitoplanctônicas na Lagoa Rodrigo de Freitas: Programa de 10 anos de monitoramento, *op. cit.*

Em Piratininga, na Lagoa Rodrigo de Freitas, na laguna de Ortebello, na Itália, e em muitas outras, a produção primária de macroalgas só é possível porque as condições ambientais são favoráveis. No caso de Piratininga, a porção “jusante” fica mais distante das fontes de material particulado em suspensão (os rios) e, com isso, a transparência permite à alga se fixar no fundo e ainda assim ter luz disponível para o seu crescimento. Em ambientes turbidos e profundos, a luz desfavorece a produção das macroalgas, gerando então a dominância da produção primária de microalgas⁴⁸. Quanto mais rico em microalgas, mais difícil fica a penetração da luz na água, impedindo assim o crescimento das macroalgas.

Em um sistema dominado pelo fitoplâncton, os processos são muito mais complicados e dinâmicos do que nos dominados por macroalgas. Em vez da dominância de apenas uma espécie, o que ocorre é uma sucessão de florações mais ou menos intensas, cada vez com uma espécie diferente. Entre essas espécies, algumas podem ser florações algais nocivas (FAN, ou HAB), as quais costumam ser responsáveis por mortalidades de peixes⁴⁹. Em um tipo de sistema dominado por microalgas, não é possível, como para as macroalgas, retirar as algas do sistema, seja pelo tamanho microscópico dos organismos, seja pela rapidez de sua ciclagem (veja a Figura 1). Nesses casos, o controle das florações só pode ser realizado pela redução dos aportes de nutrientes ou, em algumas situações favoráveis, com a melhoria da renovação da água⁵⁰.

Como demonstrado na Figura 1, aportes intensos de nutrientes que podem ser resultantes da ocorrência de chuvas fortes na bacia de drenagem ou da ocorrência de acidentes de rompimento de dutos de esgotos (como registrado no canal do Jardim de Alah em 2010) vão promover as florações. Além desses processos, a difusão de nutrientes do sedimento para a coluna d'água também pode ser um fator de ocorrência de floração de microalgas. Essa questão da difusão tem sido tema de pesquisa de nosso grupo de pesquisa da UFF, tendo gerado alguns relatórios e artigos científicos.

A importância do estoque de nutrientes no sedimento está relacionada ao impacto do aumento da abertura de conexões com o mar. No Estudo de Impacto Ambiental da abertura da Barra Franca em Saquarema, Wasserman⁵¹ observa que a abertura e a intensificação das trocas de água entre a laguna e o mar deveriam promover a intensificação do processo de remineralização (difusão) dos nutrientes do sedimento, devido ao fato de se formar um maior gradiente de concentração entre o sedimento e a coluna d'água. A Figura 3 representa a formação desse gradiente para as situações antes da abertura, no momento da abertura, após a abertura e muito após a abertura. Observa-se que a redução na concentração de nutrientes só ocorre muito após a abertura. O tempo necessário à melhoria da qualidade da água vai depender do tamanho do estoque de nutrientes no sedimento e da dinâmica de transferência desses nutrientes para a coluna d'água. Pode ser um processo milenar!

⁴⁸ ASAEDA, T.; VAN BON, T. Modelling the effects of macrophytes on algal blooming in eutrophic shallow lakes. **Ecological Modelling**, v. 104, p. 261-287, 1997.

⁴⁹ HALLEGRAEFF, G. M.; ANDERSON, D. M.; CEMBELLA, A. D., Eds. **Manual on Harmful Marine Microalgae**. (Monographs on Oceanographic Methodology), *op. cit.*

⁵⁰ CATALAO DIONISIO, L. P.; RHEINHEIMER, G.; BORREGO, J. J. Microbiological Pollution of Ria Formosa (South of Portugal). **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 2, p. 186-193, 2000. ISSN 0025-326X.

⁵¹ WASSERMAN, J. C. **Estudo do Impacto Ambiental da Abertura da Barra da Laguna de Saquarema**. Saquarema, RJ: Prefeitura Municipal de saquarema, 2000. p.385.

No caso da laguna de Saquarema, a abertura de conexão ocorreu em 2002, mas, até 2004, quando foi realizado o trabalho de Azevedo⁵², ficou demonstrado que não houve melhoria significativa. Displcientemente, a Prefeitura e as agências ambientais locais deixaram de fazer os monitoramentos das concentrações de nutrientes, e até hoje ainda não sabemos se a abertura da Barra Franca efetivamente promoveu melhoria na qualidade da água. No caso da laguna de Orbetello, na Itália⁵³, não houve abertura de conexão com o mar, mas o procedimento de retirada das macroalgas, durante anos seguidos, levou a consistente redução na concentração de nutrientes no sedimento, e a contaminação só persistiu nos locais onde ainda havia aportes de esgoto.

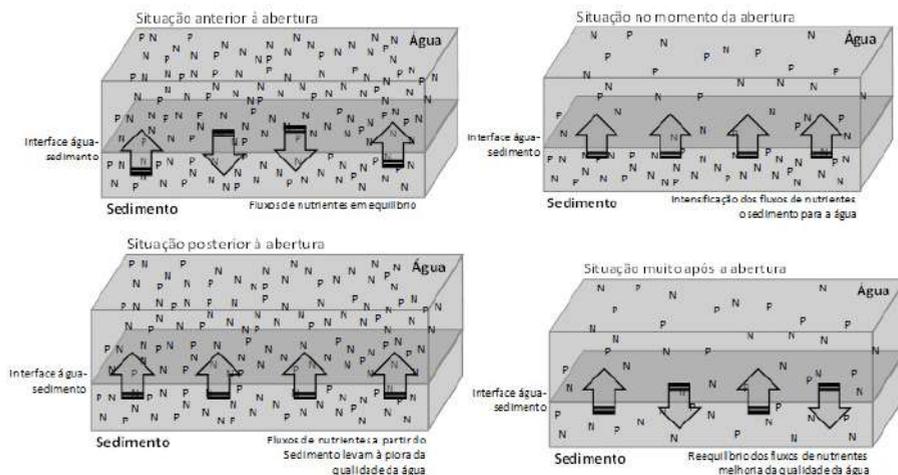


Figura 3 - Esquema de evolução da disponibilidade de nutrientes durante o processo de abertura de barra em lagunas costeiras

Fonte: os autores

Atualmente, nosso grupo de pesquisa está desenvolvendo um estudo com sedimentos da laguna de Araruama utilizando experimentos em laboratório e um sistema conhecido como “bell-jar”, a fim de determinar se os nutrientes do sedimento passariam à coluna d’água e a que taxa. Com isto, poderemos estimar, a partir de modelagens numéricas, os tempos necessários para a melhoria da qualidade da água em situações diversas de abertura (uma, duas ou mais aberturas).

É evidente que os processos que suportam a eutroficação nos ecossistemas costeiros são bem complexos, concorrendo para sua intensificação as atividades agrícolas e de criação de animais, os despejos de esgotos domésticos *in natura* e de efluentes de estação de tratamento, a lixiviação de calçamentos urbanos, a lixiviação

⁵² AZEVEDO, F. B. B. **Modelagem da Capacidade de Suporte da Laguna de Saquarema, RJ após a Abertura de uma Conexão Permanente com o Mar**. 2005. 117p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

⁵³ LENZI, M.; PALMIERI, R.; PORRELLO, S. Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management, *op. cit.*

de solos degradados e as indústrias. Além desses processos, há mecanismos naturais, como a difusão de nutrientes do sedimento para a coluna d'água e a decomposição da matéria orgânica (seja antrópica ou não). Assim, os mecanismos responsáveis pelas florações algais e, por consequência, pelas mortalidades de peixes não podem ser vistos como uma situação de causa e efeito direto, mas como uma composição de fatores.

Características físico-químicas de lagunas hipersalinas

A formação das lagunas hipersalinas é resultado das características das bacias de drenagem onde se situam, do clima e das suas características geomorfológicas. Para ser hipersalina, é necessário que a laguna seja relativamente isolada do mar. A razão é simples: se a laguna tiver uma taxa de troca muito intensa com o oceano, a hipersalinidade deve ser diluída na água do mar. Kjerfve⁵⁴ classifica as lagunas costeiras em vazadas, semiabertas e afogadas, sendo a última aquela que apresenta a menor taxa de troca de água. As lagunas hipersalinas também não podem receber aportes significativos de água doce, e, para isso, é necessário que estejam localizadas em regiões áridas, ou semiáridas, de preferência em bacias de drenagem de pequenas dimensões, visto que bacias de maior dimensão podem gerar aportes mais significativos de água, impedindo a hipersalinidade.

Considerando que a hipersalinidade de lagunas está fortemente associada aos processos climáticos, existem muitas lagunas no mundo que apresentam hipersalinidade intermitente, como a laguna de Caimanero-Huizache, na costa Oeste do México, descrita por Moore e Slinn⁵⁵, que apresenta pouco mais de 175 km² de área, mas uma amplitude de salinidade que varia de 23 (na estação úmida) a 84 (na estação seca). Muitas lagunas também podem apresentar hipersalinidade perene, como a de Coorong, na Austrália⁵⁶, a de Akyatan, na Turquia⁵⁷, e a de Indian River, na Flórida⁵⁸. A laguna de Araruama, no Rio de Janeiro, também é um sistema hipersalino perene, controlado pelas características únicas do clima na região onde se situa⁵⁹.

Nesses sistemas, a hipersalinidade atribui determinadas particularidades geoquímicas, físicas e biológicas que devem ser consideradas para tentarmos entender seu funcionamento. Diferentemente dos ambientes salobros e de água doce, os processos tróficos nos ambientes hipersalinos vêm sendo pouco estudados.

⁵⁴ KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. *In*: WOLFE, D. A. (ed.). **Estuarine Variability**. New York: Academic Press, 1986. p.63-81.

⁵⁵ MOORE, N. H.; SLINN, D. J. The physical hydrology of a lagoon system on the Pacific coast of Mexico. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 19, p. 413-426, 1984.

⁵⁶ WEBSTER, I. T. The hydrodynamics and salinity regime of a coastal lagoon - The Coorong, Australia - Seasonal to multi-decadal timescales. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 90, n. 4, p. 264-274, Dec. 2010. ISSN 0272-7714.

⁵⁷ LECUYER, C. *et al.* Water sources, mixing and evaporation in the Akyatan lagoon, Turkey. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 115, p. 200-209, Dec. 2012. ISSN 0272-7714.

⁵⁸ KANG, Y.; KOCH, F.; GOBLER, C. J. The interactive roles of nutrient loading and zooplankton grazing in facilitating the expansion of harmful algal blooms caused by the pelagophyte, *Aureoumbra lagunensis*, to the Indian River Lagoon, FL, USA. **Harmful Algae**, v. 49, p. 162-173, Nov. 2015. ISSN 1568-9883.

⁵⁹ KJERFVE, B. *et al.* Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 42, n. 6, p. 701-725, Jun. 1996.

O desenvolvimento da vida nesse tipo de ambiente não é favorecido pela excessiva pressão osmótica, extremos de pH, temperaturas elevadas e baixa disponibilidade de oxigênio, e somente organismos que dispõem de mecanismos adaptativos específicos são capazes de sobreviver⁶⁰. Essa forte pressão do ambiente considerado extremo sobre a vida aquática pode levar os processos tróficos a serem controlados preferencialmente por fatores físicos e químicos, em detrimento dos biológicos⁶¹. Assim, podemos entender que o processo de resposta imediata ao enriquecimento com nutrientes descrito na Figura 1 pode não ocorrer de maneira tão evidente.

Alguns trabalhos têm demonstrado que ambientes hipersalinos têm tendência a apresentar uma baixa produção primária fitoplanctônica, visto que a disponibilidade de nitrogênio e particularmente de fósforo na coluna d'água é restrita⁶². As águas das lagoas hipersalinas ficam transparentes e permitem uma maior proliferação de biomassa macroalgal próximo ao fundo, onde, além disso, os nutrientes encontram-se mais disponíveis^{63,64}. Esse conceito pode explicar por que, até 2005, a laguna de Araruama era dominada por uma produção primária de microalgas de fundo ou de macroalgas, enquanto as águas eram bastante transparentes. O que aconteceu em 2005 ainda é um mistério. Por que a laguna adquiriu uma coloração acastanhada? Por que o fitoplâncton passou a dominar, e a água perdeu sua transparência? Qual o "shift" ou mudança de processo que ocorreu no sistema? Temos que discutir um pouco mais e talvez olharmos com um pouco mais de cuidado os processos que estão ocorrendo no sedimento das lagoas hipersalinas.

O fósforo incorporado nos ambientes aquáticos é preferencialmente depositado no sedimento^{65,66}, onde, segundo Williams, Jaquet *et al.*⁶⁷, pode aparecer sob diversas formas:

- Fósforo em apatita (AP), que consiste no ortofosfato presente na forma cristalina ou amorfa do mineral apatita (CaPO_4); quando na forma cristalina, é praticamente insolúvel na água;
- Fósforo não associado à apatita (NAIP), que consiste nos íons ortofosfato restantes, ligados a partículas outras que não sejam o cálcio;
- Fósforo orgânico (OP), que inclui todas as formas de fósforo associadas a átomos de carbono, oriundos de matéria orgânica formada localmente (autóctone) ou em degradação (alóctone ou detrítica).

⁶⁰ SHILO, M. Strategies of adaptation to extreme conditions in aquatic microorganisms. *Naturwissenschaften*, v. 67, n. 8, p. 384-389, 1980.

⁶¹ STILLER, M.; NISSENBAUM, A. Geochemical investigation of phosphorus and nitrogen in the hypersaline Dead Sea, *op. cit.*

⁶² STILLER, M.; NISSENBAUM, A. Geochemical investigation of phosphorus and nitrogen in the hypersaline Dead Sea. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, v. 63, n. 19-20, p. 3467-3475, Oct. 1999. ISSN 0016-7037.

⁶³ SOUZA, M. F. L. *et al.* Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 57, n. 5-6, p. 843-858.

⁶⁴ CANFIELD JR, D. E. *et al.* Prediction of Chlorophyll a Concentrations in Florida Lakes: Importance of Aquatic Macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 41, n. 3, p. 497-501, 1984. ISSN 0706-652X.

⁶⁵ VALDES, D. S.; REAL, E. Nitrogen and phosphorus in water and sediments at Ria Lagartos coastal lagoon, Yucatan, Gulf of Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences*, v. 33, n. 4, p. 338-345, Dec. 2004. ISSN 0379-5136.

⁶⁶ COTNER, J. B. *et al.* Nutrient, sulfur and carbon dynamics in a hypersaline lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 59, n. 4, p. 639-652, Apr 2004. ISSN 0272-7714.

⁶⁷ WILLIAMS, J. D. H.; JAQUET, J. M.; THOMAS, R. L. Forms of Phosphorus in the Surficial Sediments of Lake Erie. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, v. 33, n. 3, p. 413-429, 1976. ISSN 0015-296X.

Mais recentemente, estabeleceu-se também a importância das formas de fósforo associadas ao ferro, através da formação de um mineral amorfo, a Vivianita⁶⁸, principalmente em condições anóxicas. Um aspecto que nos interessa particularmente é a precipitação de apatita formada (não mineral das rochas), que é capaz de reter o fósforo no sedimento, fenômeno este que ocorre intensamente na água do mar por causa do pH⁶⁹. A dessalinização e a presença intensa de matéria orgânica nos sedimentos poderão, então, provocar a redução no pH do sedimento e a consequente liberação de fósforo para a coluna d'água, promovendo com isso as temidas florações algais. O processo de liberação do fósforo para a coluna d'água intensifica também a turbidez, fazendo com que a dominância da produção primária mude de fitobentônica ou macroalgal para fitoplanctônica. Um processo que poderia explicar a modificação na coloração da água e as recentes modificações na laguna de Araruama.

Atualmente, com o suporte de recursos do Programa Universal do CNPq, estamos realizando estudos da disponibilidade de fósforo e nutrientes em 36 amostras de sedimento da laguna, além de uma avaliação detalhada dos processos de transferências de fósforo e nitrogênio entre o sedimento e a coluna d'água para situações diversas de salinidade, em experimentos *in vitro* e *in situ*. Esses experimentos estão utilizando os equipamentos e estruturas apresentados nas Figuras 4 e 5. Os seus resultados, produtos de uma tese de doutorado e de mestrado, serão disponibilizados em breve

A fim de fechar melhor este estudo, é necessário que verifiquemos o que já foi realizado na laguna de Araruama até os dias de hoje, se o conhecimento que já detemos é capaz de dar alguma indicação dos processos que vêm causando a queda na qualidade da água e as mortandades e se existe efetivamente uma relação dessas mortandades com as florações algais.

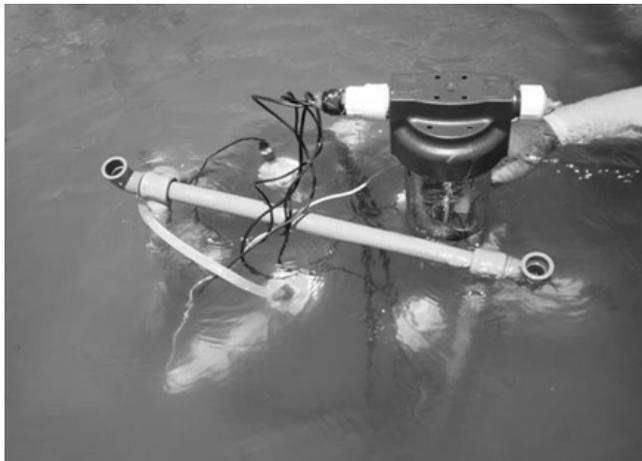


Figura 4 - Bell-jar (experimentos *in situ*) em fase de teste, instalado na laguna de Araruama, com o objetivo de estudar as trocas de nutrientes entre o sedimento e a água

Foto Wasserman (2016)

⁶⁸ EGGER, M. et al. Vivianite is a major sink for phosphorus in methanogenic coastal surface sediments. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, v. 169, p. 217-235, Nov. 2015. ISSN 0016-7037.

⁶⁹ BOSTAN, V. et al. Forms of particulate phosphorus in suspension and in bottom sediment in the Danube Delta. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 5, n. 2, p. 105-110, 2000. ISSN 1440-1770.



Figura 5 - Experimentos *in vitro*, em que água da laguna será colocada em contato com os sedimentos a fim de se avaliarem as trocas entre os dois compartimentos em diferentes condições ambientais (particularmente de salinidade)

Foto Wasserman (2016)

Os processos de eutroficação na laguna de Araruama (levantamento da literatura)

237

A formação da laguna de Araruama (Figura 6) foi muito detalhadamente descrita no trabalho de Turcq, Martin *et al.*⁷⁰, mostrando que o alagamento e fechamento desses sistemas não ocorrem por processos geomorfológicos muito simples. A formação desses ecossistemas está intimamente ligada aos processos consecutivos de elevação e abaixamento do nível do mar nos últimos 123 mil anos, relacionados aos eventos de glaciação e interglaciação (eras do gelo e períodos intermediários).

Originalmente, a costa da região dos lagos era simplesmente muito recortada com enseadas e baías (nos moldes de Angra dos Reis e Paraty). Na transgressão de 123 mil anos atrás (quando o nível do mar estava próximo ao atual), as ondas incidentes na costa promoveram a formação de tênue cordão arenoso, o que conhecemos hoje como barras, responsáveis pelo fechamento das lagunas. Outras barras foram formadas nos períodos mais recentes, há 7.000 e há 5.000 anos atrás, consolidando o fechamento das lagunas da região dos Lagos⁷¹. As estruturas em forma de cúspide (por exemplo Ponta da Acaíra, “Arubinha”) são formadas posteriormente por processos associados à dinâmica das ondas na laguna⁷².

⁷⁰ TURCQ, B. *et al.* Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In*: KNOPPERS, B. A.; BIDONE, E. D. *et al.* (ed.). **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro, Brazil**. Niterói: UFF/FINEP, 1999. p.25-46. (Série Geoquímica Ambiental, v.6).

⁷¹ TURCQ, B. *et al.* Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil, *op. cit.*

⁷² ALVES, A. R. **Modelagem numérica aplicada ao estudo da origem e evolução morfológica dos esporões da Lagoa de Araruama, RJ**. 2006. 135p. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) Departamento de Geologia Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

Embora os processos de formação não tenham um papel muito relevante na qualidade da água e na ocorrência das mortandades de peixes, eles são importantes para a caracterização do sistema. O aspecto climático da região, analisado por Barbieri⁷³, também é importante para explicar por que a laguna de Araruama é hipersalina e não apresenta sedimentos finos e orgânicos, como a maior parte das outras lagunas. Na verdade, a hipersalinidade é atribuída ao balanço hídrico, estudado por Kjerfve, Schettini *et al.*⁷⁴, francamente negativo, isto é, devido às muito baixas taxas de pluviosidade, a evaporação é muito mais intensa do que a precipitação, gerando um déficit hídrico (valores negativos de precipitação menos a evaporação; Figura 7). Veja que, na Figura 7, a maioria dos valores estão abaixo da barra de equilíbrio (valor zero de precipitação menos evaporação) nas medições realizadas entre os anos de 1970 e 1990. A condição hipersalina e de baixa pluviosidade são responsáveis pela ausência de sedimentação fina (comum nas outras lagunas) e pela deposição mais intensa de sedimentos carbonáticos que sustentaram durante muitos anos a produção de barrilha pela Companhia Alcalis.

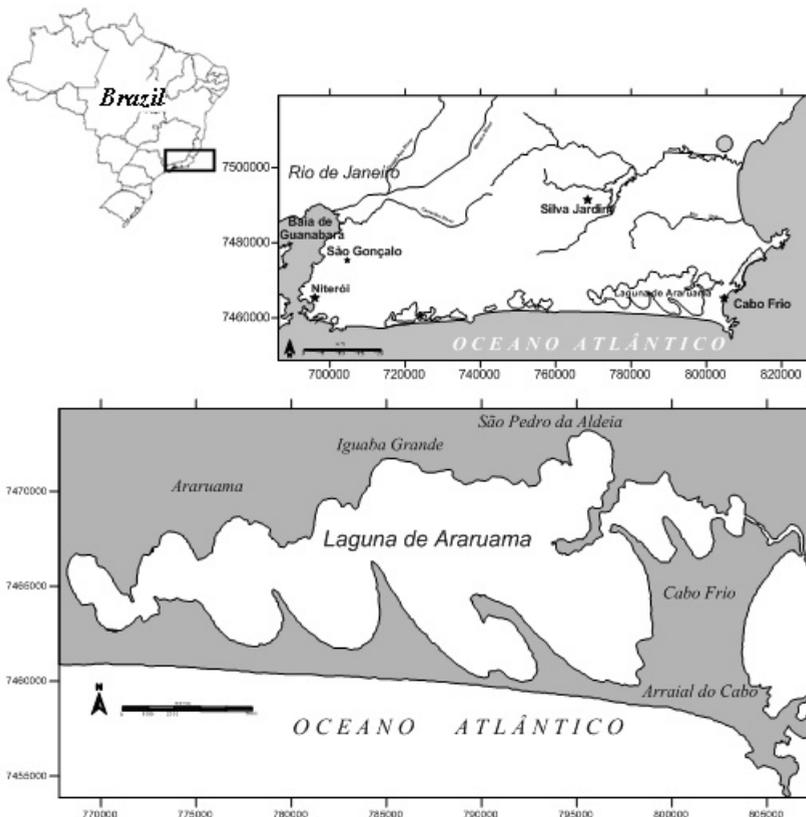


Figura 6: Localização da laguna de Araruama

Fonte: os autores

⁷³ BARBIERI, E. Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: LACERDA, L. D.; ARAÚJO, D. S. D. *et al.* (eds.). **Restingas**: Origem, estrutura, processos. Niterói: CEUFF, 1984, p.3-13.

⁷⁴ KJERFVE, B. *et al.* Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil, *op. cit.*

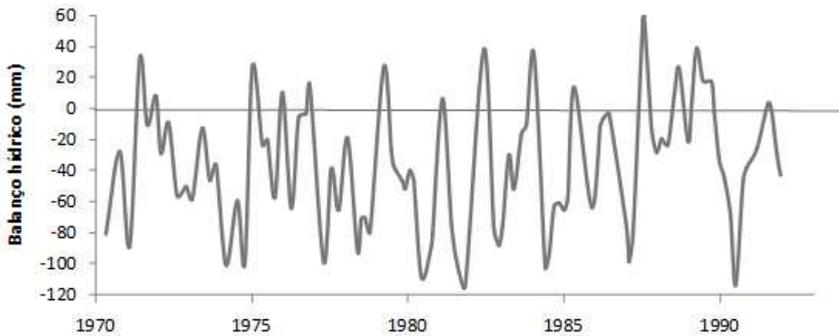


Figura 7: balanço hídrico (pluviosidade - evaporação) na laguna de Araruama⁷⁵

Fonte: Kjerfve et al. (1996)⁷⁶

A crescente ocupação do entorno da laguna nos últimos 45 anos é expressa em termos de um crescimento percentual total da ordem de 421%. Assim, a taxa de crescimento populacional excepcional da região vem aumentando paulatinamente os aportes de água doce à laguna de Araruama, que verifica seus níveis de salinidade caindo constantemente. A Tabela 1 apresenta os valores mínimos e máximos de salinidade da laguna medidos por diversos autores ao longo dos anos. É evidente que, ano a ano, existe uma oscilação dada pela variação na pluviosidade, de maneira que em 2002/2003, um período particularmente seco, nossa equipe de pesquisa chegou a medir salinidades da ordem de 90 na região da Ponta da Acaíra, mas, posteriormente, a salinidade tornou a cair. Uma intensa queda também pode ser observada no ano de 1990, período particularmente úmido.

O aumento populacional deve levar a uma intensa redução na salinidade. Assim, assumindo um consumo *per capita* de 250 litros de água por dia, é possível calcular um aporte atual de $1,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, comparado com o aporte de $0,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ calculado para a década de 1970. Não está contabilizado nesses números o aumento populacional dos meses de verão, quando a população deve duplicar.

Tabela 1 - Variação temporal da salinidade na laguna de Araruama desde o início dos anos 1990.

	Moreira-Turcq ⁷⁷	Souza ⁷⁸	Souza ⁷⁹	Mello ⁸⁰	Miranda ^{81*}
Amostragens	1990	1991/1992	1994	2005/2006	2011/2012
Mínima	36	44	41	37	30
Máxima	46	51	62	55	52
Média	41	48	52	48	46

* Os dados deste trabalho foram obtidos de monitoramento ambiental realizado pelo Câmara Técnica do Comitê de Bacias Lagos/São João. Os dados foram gentilmente cedidos pelo Sr. Arnaldo.

⁷⁵ *Ibid.*

⁷⁶ KJERFVE, B. et al. Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil, *op. cit.*

⁷⁷ MOREIRA-TURCQ, P. F. Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil). **Hydrobiologia**, v. 429, n. 1-3, p. 133-140, Jun. 2000. ISSN 0018-8158

⁷⁸ SOUZA, M. F. L. **Distribuição Espacial, Sazonal e Fontes Fluviais de Nutrientes na Lagoa de Araruama, RJ**. 1993. 167p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.

⁷⁹ SOUZA, W. F. L. **Dinâmica de Nutrientes na Lagoa Hipersalina de Araruama**. 1997. 89p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências (Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 1997.

⁸⁰ MELLO, T. B. M. **Caracterização biogeoquímica da Lagoa de Araruama, RJ**. 2007. 81 Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, University Federal Fluminense, Niterói, 2007.

⁸¹ MIRANDA, F. M. **Variações de salinidade na Lagoa de Araruama, RJ**. 2013. 43p. Projeto Final (Graduação) - Universidade Federal Fluminense, 2013.

Olhando um pouco mais a fundo a biogeoquímica, o primeiro trabalho a estudar os processos tróficos na laguna de Araruama foi de André, Oliveira *et al.*⁸². Contudo, o primeiro estudo realmente sistemático dos processos de eutroficação da laguna remonta ao início da década de 1990, realizado por Moreira-Turcq⁸³. É muito provável que a autora não intencionasse estudar um ano tão úmido, mas ela não pôde considerar o ano de 1990 como típico e tratou o problema como uma exceção. Em um ano normal, era de se esperar encontrar uma produção primária fitobentônica (microorganismos de fundo), com uma água muito transparente, mas a autora encontrou um quadro muito diferente, com a transparência muito reduzida, uma produção do plâncton (microalgas) muito elevada e um fitobentos pouco significativo (devido à redução na transparência da água). Se o quadro de pluviosidade continuasse alguns anos mais, é muito provável que houvesse mortandades, em uma reprodução daquilo que vem acontecendo atualmente.

Souza⁸⁴ fez o mesmo tipo de estudo nos anos seguintes e conseguiu pela primeira vez avaliar o sistema em suas condições normais. Nesse estudo, o autor observou alguns pontos importantes que justificavam a aparentemente boa qualidade do ecossistema na época, dentre eles o fato de a laguna ter suas águas oligotróficas (pouca contaminação por nutrientes), gerando uma muito baixa produção primária da água, em um sistema altamente limitado pelo fósforo. Souza⁸⁵ observou ainda que o sistema apresentava grande parte de sua produção fitoplanctônica no sedimento (fitobentos) e, por essa razão, a laguna teria suas águas perfeitamente transparentes. A associação da produção algal no sedimento corrobora o que foi discutido no item 4 do presente capítulo, indicando que os nutrientes que eram incorporados na laguna tendiam a se acumular no sedimento. Embora o autor não tenha mencionado isso de maneira explícita, nós acreditamos que os aportes de nutrientes ao longo dos anos foram sendo acumulados continuamente no sedimento. Isso já tinha sido observado no modelo desenvolvido por Cunha e Wasserman¹ para a laguna de Piratininga, onde o sedimento constitui o principal reservatório que alimenta a produção primária da laguna, sendo os esgotos domésticos responsáveis por menos de 10% das necessidades das plantas. Não quer dizer que os esgotos não sejam importantes para a degradação do sistema, mas eles só são importantes quando os aportes são perenes durante muitos anos. Se o aporte (acréscimo) é de 10% ao ano, então a cada dez anos os estoques duplicam. No caso de Araruama, verificando o crescimento populacional desde os anos 1970 (Figura 7), concluímos que os estoques de nutrientes do sedimento já devem ter aumentado várias vezes.

Continuando a evolução do conhecimento dos processos biogeoquímicos da laguna de Araruama, identificamos a dissertação de mestrado de Souza⁸⁶, que agora identificou também as fontes de nutrientes para o ecossistema, avaliando os aportes oriundos dos rios da região. Ele observou que os principais rios, responsáveis por mais de 90 % dos aportes

⁸² ANDRÉ, D. L. *et al.* **Estudo Preliminar Sobre as Condições Hidroquímicas da Lagoa de Araruama, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Ministério da Marinha. Instituto de Pesquisas da Marinha, 1981. p.21.

⁸³ MOREIRA-TURCQ, P. F. Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil), *op. cit.*

⁸⁴ SOUZA, M. F. L. **Distribuição Espacial, Sazonal e Fontes Fluviais de Nutrientes na Lagoa de Araruama - RJ**, *op. cit.*

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ *Ibid.*

de água doce, estão na porção Oeste da laguna (rio das Moças, Mataruna e rio Salgado), que é a parte mais restrita e mais distante da renovação do canal de Itajuru e mais sujeita à degradação. Quase que profeticamente, Souza⁸⁷ concluiu que a intensificação dos aportes de nutrientes para o ecossistema poderia promover uma mudança de produção fitobentônica para fitoplanctônica, condição irreversível, visto que o desenvolvimento da produção biológica do sedimento depende da transparência da água, mas, com as microalgas na coluna d'água, a luz não penetra mais e não mais é possível a produção fitobentônica.

Ainda no final dos anos 1990, o nosso grupo de pesquisas da UFF fez um monitoramento na região do entorno do que seria o empreendimento Ilhas Perynas (dados não publicados). O estudo abrangeu a região da Enseada do Siqueira, onde observamos uma intensa produção de macroalgas (*Ulva lactuta*). As folhas eram realmente de enormes dimensões, mas apareciam apenas no meio e final do verão, morrendo antes do início do inverno. Pelo que observamos, as algas começavam a se desenvolver no início do verão, pois a salinidade caía e os aportes de nutrientes aumentavam como resultado das chuvas e do aumento da população de veraneio no município de Cabo Frio, respectivamente. É interessante notar que a produção das macroalgas não deixava sedimentos lamosos, ricos em matéria orgânica, como é comum nesse tipo de sistema. Em um trabalho de campo recente, realizado na mesma região, observamos que as algas da Enseada do Siqueira ainda estão se desenvolvendo da mesma forma.

Ainda no final da década de 1990, foram feitas avaliações da capacidade de retenção de nitrogênio e fósforo pelas macroalgas da laguna. Nesse estudo, Lourenço, Barbarino et al.⁸⁸ estudaram as variações nas concentrações dos nutrientes nas espécies *Acanthophora spicifera*, *Chaetomorpha crassa*, *Derbesia vaucheriaeformis*, *Gracilaria cervicornis*, *Gracilariopsis tenuifrons*, *Hypnea valentiae*, *Rhizoclonium afficanum* e *Ulva lactuca*, observando que o elemento determinante da produção era o fósforo. A intensa retirada do fósforo da coluna d'água pelas algas promovia a restrição na produção primária fitoplanctônica, mesmo nas áreas onde os aportes eram mais significativos, como nas praias de São Pedro da Aldeia e do centro de Araruama. Nesse período, foi realizado um estudo que identificou os foraminíferos do bentos (grupo de microalgas que desenvolvem microconchas carbonáticas), o que chamamos mais acima de fitobentos. Assim, a partir da coleta de mais de 90 amostras de sedimento, Debenay, Geslin et al.⁸⁹ identificaram a dominância das espécies *Triloculina oblonga* e *Ammonia tepida*, além da menos abundante *Cribolephidium excavatum*, espécies consideradas típicas de ambientes hipersalinos, com sedimentos arenosos e carbonáticos.

Fechando a caracterização do fitobentos, o mesmo grupo de pesquisas da Universidade de São Paulo e da Université de Angers (França) estudou o grupo das diatomáceas presentes nos sedimentos da laguna⁹⁰. Eles observaram que algumas assembleias de diatomáceas dominadas por espécies eurihalinas (que suportam largas variações nas concentrações de sais) eram muito abrangentes, particularmente

⁸⁷ *Ibid.*

⁸⁸ LOURENÇO, S. O. et al. Seasonal variations in tissue nitrogen and phosphorus of eight macroalgae from a tropical hypersaline coastal environment. *Cryptogamie Algologie*, v. 26, n. 4, p. 355-371, Nov. 2005. ISSN 0181-1568.

⁸⁹ DEBENAY, J. P. et al. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (RJ) Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 31, n. 2, p. 133-151, Apr. 2001. ISSN 0096-1191.

⁹⁰ SYLVESTRE, F. et al. Modern benthic diatom distribution in a hypersaline coastal lagoon: the Lagoa de Araruama, RJ, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 443, n. 1-3, p. 213-231, Jan. 2001. ISSN 0018-8158.

Cocconeis placentula, *Catenula adhaerens* e *Cocconeis diminuta*. Os autores observaram também a presença das espécies *Nitzschia* spp e *Fallacia cryptolyra* como indicadoras de contaminação antrópica por esgotos. Embora essas espécies não fossem dominantes, sua extensa distribuição na laguna demonstrava que os impactos da ocupação do entorno já começavam a se fazer sentir (na época em que o estudo foi realizado).

À medida que avançamos na década de 2000, a água da laguna permaneceu oligotrófica, baseada em uma cada vez mais intensa produção bentônica, mas, no mês de maio de 2005, da noite para o dia, a laguna modificou completamente seus processos tróficos, concretizando o que vinha sendo previsto pelos diversos pesquisadores desde o início da década de 1990. No início de 2005, o grupo de pesquisa da REMADS-UFF estava fazendo um extenso trabalho de levantamento batimétrico da laguna, e pudemos observar que, embora a qualidade da água estivesse se degradando nas regiões próximas às fontes de nutrientes (centro de Araruama e São Pedro da Aldeia), com uma intensa produção de macroalgas, na maior parte do sistema as águas permaneciam transparentes. Terminamos nosso trabalho ainda em abril de 2005 e, ao retornar à laguna, observamos com muita surpresa a cor castanha da água. Na época foram lançadas muitas conjecturas sobre as razões pelas quais o processo estava ocorrendo; autoridades municipais chegaram a aventar que a mudança teria sido provocada pela dragagem do canal de Itajuru, pois a draga teria perfurado um depósito de ferro (hipótese que não tinha nenhuma possível fundamentação científica).

Infelizmente, naquele período (como atualmente), não havia em andamento nenhum estudo ou programa de monitoramento consistente da qualidade da água que pudesse demonstrar, a partir de dados científicos, o aumento na produção fitoplanctônica, a diminuição na produção bentônica e suas relações com os processos tróficos (relacionados à disponibilidade de nutrientes). Alguns anos após a mudança, foram publicadas duas dissertações de mestrado que fizeram uma avaliação superficial dos processos. No primeiro trabalho, Mello⁹¹ fez apenas três coletas, no período de final de primavera e início do verão, com amostragens na margem da laguna e mais uma amostragem no meio da laguna (12 amostras). Embora o estudo seja muito restrito temporalmente, a autora identifica a significativa mudança de sistema controlado pela produção bentônica (anterior a 2005) para sistema controlado pela produção planctônica, o que atribuiu à água a coloração acastanhada. Alguns pontos interessantes do trabalho chamaram a atenção como, por exemplo, a melhor qualidade da água ser observada no Canal de Itajuru, apesar da presença de inúmeras fontes antrópicas (incluindo a estação de tratamento da PROLAGOS). A autora atribuiu a melhor qualidade da água à mais intensa troca de água com o mar nessa região.

É interessante notar que as amostras coletadas nas margens apresentaram resultados muito distintos dos resultados observados nas amostras coletadas no meio da laguna. Embora a autora não mencione, é evidente pelos seus resultados que coletas nas margens sofrem uma grande influência do batimento das ondas (mesmo muito pequenas), que remexem de maneira significativa o fundo e não permitem uma distinção dos processos que ocorrem na coluna d'água e no sedimento. Concluímos assim que, para fins de avaliação da qualidade da água, as amostragens precisam ser feitas no meio da laguna e de barco (sem remexer o fundo).

⁹¹ MELLO, T. B. M. Caracterização biogeoquímica da Lagoa de Araruama, RJ, *op. cit.*

No ano seguinte, Guerra⁹² fez um estudo mais focado nos sedimentos, mas com uma abrangência muito inferior à da primeira autora, coletando apenas três estações e estudando alguns indicadores dos aportes antrópicos e da atividade bacteriana no fundo da laguna. Embora ele não esclarecesse os processos que modificaram as condições da laguna, conseguiu identificar de maneira inequívoca a presença de aportes de esgoto doméstico nos sedimentos, principalmente na região do Centro de Araruama.

Outros estudos ainda foram realizados na região, mas abrangendo aspectos como a dinâmica da ictiofauna e as estatísticas de pesca na região⁹³, ou a cadeia trófica de peixes⁹⁴, além dos estudos de revisão mais abrangentes publicados pelo Consórcio Intermunicipal Lagos-São João^{95,96}, que contribuíram de maneira significativa para o conhecimento da laguna, mas não permitem avançar no entendimento dos processos de eutroficação.

Atualmente, existem diversos programas de monitoramento da laguna de Araruama, realizados por demanda do Comitê de Bacias Lagos-São João, do Consórcio Intermunicipal Lagos-São João e de outras instituições locais, que estão sendo executados pelos gestores dos recursos hídricos, incluindo as empresas de águas da região. Contudo, os estudos que vêm sendo feitos são exageradamente fragmentados, abrangendo os problemas de maneira muito superficial, a partir de medições de parâmetros físico-químicos feitos à beira da laguna. Mesmo com frequência quinzenal, semanal ou diária, esses monitoramentos não permitem tirar conclusões. Atualmente, nossa equipe de pesquisa está fazendo uma análise integrada dos resultados desses monitoramentos, tentando identificar os processos a fim de determinar as medidas de mitigação para recuperar o ecossistema.

Conclusões

Após estas páginas de discussão sobre qualidade da água e sua relação com os processos tróficos e florações algais, e sobre o conhecimento a respeito da laguna de Araruama, seria possível identificar as causas de mortandades de peixes?

Inicialmente, podemos dizer que as consecutivas mortandades de peixes na laguna de Araruama não têm como causa principal a anoxia ou hipoxia. Mesmo que possam ocorrer anoxias em áreas localizadas, ela não é abrangente em toda a laguna, permitindo aos peixes se deslocar para áreas com oxigenação suficiente. Embora localmente os sedimentos estejam muito ricos em matéria orgânica, a laguna apresenta uma sedimentação muito carbonática e arenosa; assim, os processos de anoxia relatados para lagoas como a Rodrigo de Freitas não ocorrem nesse sistema.

⁹² GUERRA, L. V. **Processos microbiológicos e composição da matéria orgânica relacionados à eutrofização de uma lagoa costeira hipersalina, L. Araruama, RJ.** 2008. 108p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

⁹³ SAAD, A. M. **Composição, distribuição espacial, dinâmica de populações de peixes e estatística pesqueira na lagoa hipersalina de Araruama, RJ.** 2003. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

⁹⁴ ALMEIDA-SILVA, P. H. et al. Trophic ecology and food consumption of fishes in a hypersaline tropical lagoon. **Journal of Fish Biology.** v. 86, n. 6, p. 1781-1795, Jun. 2015. ISSN 0022-1112.

⁹⁵ BIDEGAIN, P.; PEREIRA, L. F. M. **Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do Rio São João. Araruama, RJ: Consórcio Intermunicipal Lagos São João.** CILSJ, 2005. p.87.

⁹⁶ BIDEGAIN, P.; VÖLCKER, C. M. **Bacia Hidrográfica dos rios São João e Ostras: Águas, Terras e Conservação Ambiental.** Araruama, RJ: Consórcio Intermunicipal Lagos São João, 2003. 177p.

A laguna de Araruama, como ambiente hipersalino perene, teve, durante um longo período que deve remontar a pelo menos 4000 anos (período em que o nível do mar atinge a altura atual), uma sedimentação carbonática e uma intensa acumulação de nutrientes nos sedimentos, garantindo baixa produtividade na coluna d'água (ambiente oligotrófico). A ocupação humana nos últimos 45 anos, os aportes de nutrientes passaram a ser intensificados, mas o sistema manteve o processo de estocagem dessa poluição no sedimento. Em 2005, parece que ocorreu uma mudança, a capacidade de suporte do sistema aparentemente se esgotou, e os nutrientes passaram a alimentar uma produção primária fitoplanctônica que atribuiu uma intensa coloração acastanhada às águas da laguna. São essas florações que parecem estar causando mortandades de peixes.

Como pode ser constatado ao longo do texto que descreve o conhecimento que já temos dessa laguna, o processo de eutroficação é resultado de uma evolução dos aportes de nutrientes com o passar dos anos. Os aportes antes das concessões de serviços de fornecimento de água e esgoto foram importantes, mas os aportes depois das concessões também têm contribuído. Podemos dizer que o crescimento populacional verificado nos últimos anos é o responsável pela eutroficação.

Duas grandes mortandades ocorridas em 2009 e 2011 certamente foram resultado da crescente eutroficação da laguna como um todo, do processo de acumulação e liberação de nutrientes a partir do sedimento e do processo de dessalinização da laguna.

Concluimos que as ações de transposição de águas das estações de tratamento da região da laguna para o rio Una devem ser ações positivas para a laguna. Contudo, a melhoria da qualidade da água ainda depende do esgotamento do estoque de nutrientes do sedimento. Os estudos que o grupo da REMADS-UFF está desenvolvendo poderão indicar o tempo necessário para esgotamento completo do estoque. Por outro lado, consideramos crucial que seja iniciado rapidamente um programa de monitoramento avaliando todos os parâmetros necessários ao entendimento dos processos no sistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa ProLagos S. A. - Concessionária de Serviços Públicos de Água, que forneceu a oportunidade de realizar este trabalho. Julio Cesar Wasserman também agradece ao CNPq por sua bolsa de produtividade em pesquisa (processo número 306714/2013-2). Ângelo Cesar Carvalho, Murilo de Carvalho Vicente e Teresa Cristina Soares de Mello Guimarães agradecem por suas bolsas de mestrado e doutorado CNPq e CAPES, respectivamente, no Programa de Geoquímica da UFF.

A FAUNA DE PEIXES DO ESTUÁRIO DO RIO MACAÉ E DO ARQUIPÉLAGO DE SANTANA E SUA RELEVÂNCIA PARA A CONSERVAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL

Paula Araujo Catelani (UFRJ) • Arthur de Barros Bauer (UFRJ) • Fabio Di Dario (UFRJ)
Luciano Gomes Fischer (UFRJ) • Ana Cristina Petry (UFRJ)

Introdução

O município de Macaé, no Norte Fluminense, possui uma forte relação histórica, cultural e econômica com o ambiente marinho e ecossistemas costeiros continentais. Foi junto à foz do Rio Macaé, nas proximidades do Arquipélago de Santana, que a sede do município foi instalada no início do século XIX. Registros apontam que as margens do estuário do Rio Macaé e suas extensas várzeas alagáveis eram pouco povoadas até o século XVIII¹. Entretanto, com a alternância de diversos ciclos econômicos, mesmo que indiretamente relacionados à zona costeira, tais como o da cana-de-açúcar, do café, da pesca e, mais recentemente, do petróleo, a expansão do centro urbano se deu de forma exponencial, alterando grande parte da fisionomia costeira.

O estuário do Rio Macaé e o Arquipélago de Santana possuem grande relevância ecológica no cenário regional, e, desde a década de 1980, configuram-se como unidades de proteção ambiental, como Parque Municipal e Área de Proteção Ambiental. O Rio Macaé, que é o rio mais extenso a percorrer unicamente o estado do Rio de Janeiro, tem suas nascentes a 1600 metros de altitude, nas montanhas da Serra de Macaé de Cima, Nova Friburgo, e desagua como um rio de sétima ordem (escala 1:50.000) no oceano Atlântico, após percorrer cerca de 140 km. A área total da bacia hidrográfica do rio Macaé é de 1.800 km quadrados^{2,3}. O Arquipélago de Santana, por sua vez, localiza-se a apenas 8 km da foz do Rio Macaé, sendo composto pelas ilhas do Francês, de Santana (a maior delas) e o Ilhote Sul, além de diversos afloramentos rochosos próximos. A parte emersa do Arquipélago de Santana compreende cerca de 1,5 km² de área⁴.

¹ COSTA, R.N.; FERREIRA, M.I.P. **A conferência da Terra: Aquecimento global, sociedade e biodiversidade: O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas.** João Pessoa, PB: Editora Universitária da UFPB, 2010. v.2, p. 142-150.

² FREITAS, L.E. *et al.* **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé.** 1a ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil, 2015. 97 p.

³ MARÇAL, M.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, v.84, p. 23-41, 2017.

⁴ BAUER, A.B. *et al.* Marine fishes (Elasmobranchii and Teleostei) from the Santana Archipelago, a Marine Protected Area in the southwestern Atlantic. **Marine Biology Research**, p. 1-19, 2017.

Pelos serviços ambientais que prestam e as funções ecológicas relevantes que exercem, os estuários são reconhecidos na manutenção da diversidade e da produtividade em zonas costeiras⁵. É nas áreas abrigadas pela vegetação submersa do estuário e no leito rochoso do Arquipélago de Santana, por exemplo, que crustáceos, moluscos e diversas espécies de peixes encontram locais de alimentação, crescimento, reprodução ou refúgio contra predadores. Esses ambientes são relevantes especialmente para animais jovens, principalmente de espécies de peixes, que frequentemente possuem adultos que vivem em áreas mais afastadas da costa e são comercialmente importantes para a pesca. Ao longo da história, diversas civilizações também se beneficiaram dos recursos presentes nesses ecossistemas⁶. No caso do rio Macaé, a água captada no trecho mais a montante do estuário, que não está sob o efeito salinizador das marés, abastece as populações e indústrias de Rio das Ostras e Macaé. Adicionalmente, as demandas das plataformas de extração de petróleo e gás *offshore* na Bacia de Campos são supridas pela água presente nesse trecho do rio, que também contribui para a produção de energia por meio da captação para o abastecimento de caldeiras, cujo vapor de água sob alta pressão move as turbinas dos geradores de termelétricas. As águas do rio Macaé forneciam recursos alimentares importantes para povos pré-históricos, muito antes de servirem para abastecer a população atualmente numerosa de Macaé e Rio das Ostras e dar suporte à economia regional. Registros arqueológicos encontrados na região, na forma de ossos, dentes e conchas, indicam que o consumo de mariscos e especialmente peixes era importante para os membros dessas comunidades, que já se mostravam pescadores exímios e seletivos⁷. Sítios arqueológicos de mais de 3.000 anos descobertos às margens do estuário do rio Macaé e na Ilha de Santana indicam que, de fato, os primeiros habitantes dessa parte da costa fluminense já reconheciam a importância desses ecossistemas para sua sobrevivência⁸.

Conhecer e documentar cientificamente a composição faunística de peixes do estuário do rio Macaé e do Arquipélago de Santana é fundamental para uma compreensão mais precisa do funcionamento dos ecossistemas da região, bem como das modificações e impactos que vêm sofrendo. Além disso, conhecendo em mais detalhes os peixes que habitam a região por meio da divulgação de listas de espécies, a sociedade macaense pode passar a valorizar ainda mais esse importante patrimônio biológico, desse modo apoiando mais efetivamente ações de conservação. Gestores públicos, empreendedores e órgãos de defesa e proteção ambiental também se beneficiam de listas de espécies, podendo avaliar e monitorar com mais acurácia científica a riqueza e diversidade de peixes da região e compará-las com as de outras áreas similares ao longo da costa brasileira. Dessa forma, partindo do pressuposto de que o conhecimento é uma forma efetiva de planejar e implementar o desenvolvimento social, econômico e ambientalmente sustentável, este capítulo tem como objetivo central apresentar os resultados das pesquisas com peixes iniciadas há cinco anos no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana.

⁵ ELLIOTT, M.; WHITFIELD, A. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. **Estuarine, Coastal & Shelf Science**, v.94, p. 306–314, 2011.

⁶ COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253–260, 1997.

⁷ LOPES, M.S. et al. The path towards endangered species: prehistoric fisheries in Southeastern Brazil. **PLoS ONE**, v.11, n.6, e0154476, 2016. DOI:10.1371/journal.pone.0154476.

⁸ LIMA, T.A.; SILVA, R.C.P. Zoo-arqueologia: alguns resultados para a pré-história da Ilha de Santana. **Revista de Arqueologia**, Belém, v.2, p.10–40, 1984.

A fauna de peixes do estuário do Rio Macaé e do Arquipélago de Santana

Até recentemente, o conhecimento da composição das espécies de peixes que ocorrem no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana era limitado a alguns poucos registros em coleções científicas e registros informais de espécies mais frequentemente capturadas na pesca, além de fotografias de algumas espécies emblemáticas e de ocorrência inusitada na região. Entre julho de 2011 e março de 2015, expedições regulares foram realizadas no estuário do rio Macaé e Arquipélago de Santana. No estuário, foram amostrados cinco trechos, um com maior influência marinha, na praia do Pontal, até o trecho com maior influência de água doce, junto à ponte da BR 101, a 16 km a montante da foz. No Arquipélago de Santana, por sua vez, as coletas foram realizadas nas praias, costões rochosos e no fundo arenoso adjacente das ilhas. A **Figura 1** indica a localização dos trechos amostrados nas pesquisas no estuário e no Arquipélago. Durante as amostragens, foram utilizadas redes de espera, arrastos de praia, arrastos de fundo, arpões, puçás e peneiras. Dadas as condições de visibilidade subaquática no Arquipélago, câmeras fotográficas em caixas estanques também foram utilizadas para a obtenção de registro de imagens de espécies de difícil captura ou ameaçadas de extinção. Considerando-se o somatório não sobreposto das espécies encontradas em ambos os locais, o total de 27 dias de trabalho de campo e a posterior identificação das espécies em laboratório resultou na compilação de 223 espécies de peixes (**Tabela 1**) com ocorrência confirmada no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana^{9,10}. Exemplares testemunho de todas as espécies coletadas encontram-se depositados na Coleção de Peixes do Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé, que pode ser acessada por meio da plataforma *online* speciesLink (<http://splink.cria.org.br>).

⁹ BAUER, A.B. et al. Marine fishes (Elasmobranchii and Teleostei) from the Santana Archipelago, a Marine Protected Area in the southwestern Atlantic., *op. cit.*

¹⁰ CATELANI, P.A. et al. Fish composition (Teleostei) of the estuarine region of the Macaé River, southeastern Brazil. **Check List**, v.10, p. 927-935, 2014.

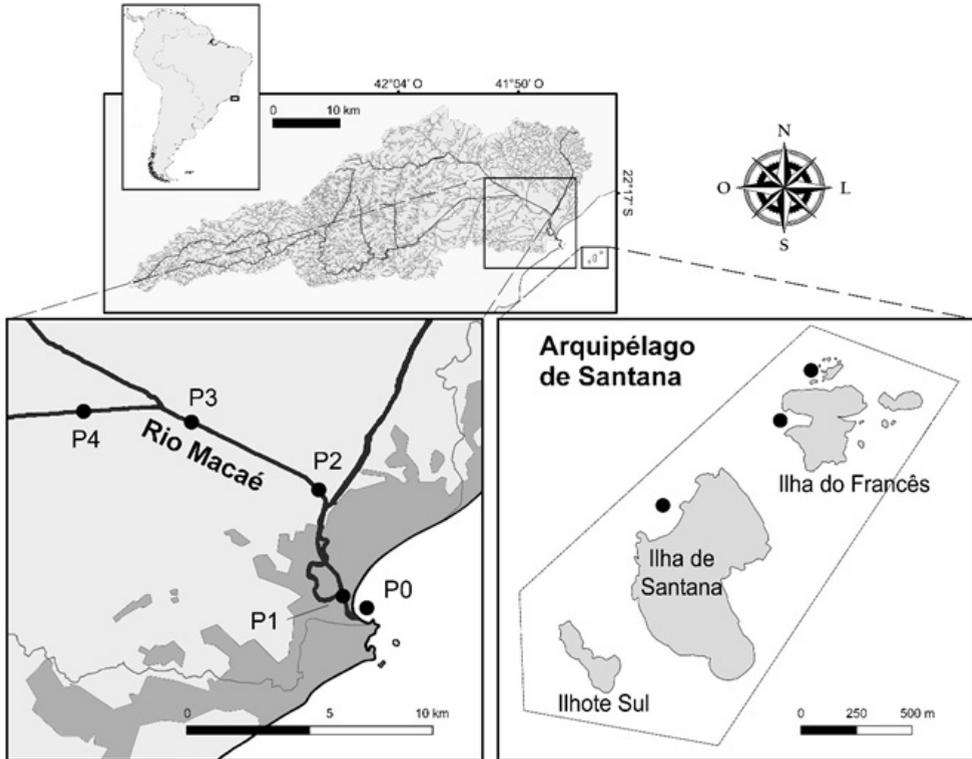


Figura 1 - Mapas indicando os pontos amostrados (círculos pretos) durante o estudo para a fauna de peixes no estuário do rio Macaé (abaixo, esquerda) e no Arquipélago de Santana (abaixo, direita)

Fonte: adaptado de Bauer et al. (2017) e Catelani et al. (2014).

Apesar do relativamente elevado número de espécies registradas nos dois locais, a maioria delas não ocorre em toda a área compreendida entre o estuário e o Arquipélago. Um dos motivos é que a salinidade influencia na distribuição de muitas espécies de peixes. Existem espécies que só ocorrem em água doce, outras somente em salinidade similar à dos oceanos, algumas são típicas do ambiente de transição dos estuários, e também existem algumas que podem transitar entre esses ambientes. Naturalmente, existe um gradiente crescente de salinidade da água entre o trecho com pouca ou nenhuma influência da salinidade, que fica mais a montante do estuário, até o Arquipélago, onde a salinidade é elevada. Além disso, nesse trecho também existe uma grande variedade de ambientes aquáticos, como rios e canais afluentes, manguezais, praias, fundos rochosos e recifais. Esses fatores explicam porque apenas 14% do total de espécies registradas (33 das 223 espécies) são comuns ao estuário do rio Macaé e ao Arquipélago de Santana. Dentre essas, destaca-se o xerelete, *Caranx latus* (família Carangidae) (Figura 2), que foi capturado no trecho mais a montante do estuário do rio

Macaé, a 16 km da foz. Apesar de serem geralmente associados ao ambiente marinho, xereletes, quando jovens, podem ser encontrados em praias arenosas e sobre fundos lodosos, podendo também adentrar estuários e atingir trechos do rio com pouca ou nenhuma salinidade. Quando são adultos, xereletes vivem em áreas oceânicas mais distantes da costa e ambientes recifais^{11,12,13}.

Um total de 109 espécies foi registrado no estuário do rio Macaé, sendo 76 delas encontradas exclusivamente nesse sistema quando comparado com o Arquipélago de Santana. Esse número difere um pouco do total de 110 espécies reportado previamente por Catelani et al.¹⁴ para o mesmo estuário, e essa diferença explica-se por um maior refinamento na identificação de alguns exemplares coletados após a publicação daquele artigo. Dentre essas 109 espécies, 17 são consideradas como Primárias de água doce¹⁵, desse modo possuindo baixa tolerância aos valores mais altos de salinidade. Tendo em vista suas baixas tolerâncias à salinidade, essas espécies são mais abundantes na parte superior do estuário, tornando-se mais raras quanto mais próximo da foz. Também foram registradas cinco espécies Secundárias de água doce¹⁶. Essas espécies tipicamente possuem uma maior tolerância à salinidade quando comparadas com espécies continentais Primárias, possuindo uma ampla distribuição no estuário, incluindo os trechos mais próximos à foz. O acará, *Geophagus brasiliensis*, e o barrigudinho, *Poecilia vivipara*, são bons exemplos de espécie Secundárias encontradas na região (**Figura 2**). No trecho médio do estuário, onde a salinidade varia amplamente ao longo do dia em função da oscilação da maré, a riqueza de espécies é baixa, pois são relativamente poucas as espécies que possuem adaptações para tolerar mudanças rápidas e extremas da salinidade. Nessa área, a espécie mais abundante é o bagre-branco, *Genidens genidens* (família Ariidae) (**Figura 2**). A elevada dominância dos bagres no estuário do rio Macaé é conspícua e histórica, sendo que, em registros do século XIX, esse rio era conhecido como “rio dos bagres”¹⁷. Considerando-se também outros estuários brasileiros, os bagres da família Ariidae representam elementos importantes nas comunidades de peixes nas regiões Norte¹⁸, Nordeste¹⁹, Sudeste²⁰ e Sul²¹. Alguns dos principais fatores que podem explicar a distribuição ampla e abundância das espécies dessa família em estuários subtropicais e tropicais são: a alta tolerância aos gradientes térmicos e de salinidade, a estratégia de cuidado parental que diminui a mortalidade

¹¹ SMITH-VANIZ, W.F. Carangidae. In: WHITEHEAD, P.J.P. et al. (eds.). Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. Paris: UNESCO, 1986. v. 2, p. 815-844.

¹² CERVIGÓN, F. Los peces marinos de Venezuela. Caracas, Venezuela: Fundación Científica Los Roques, 1993. v.2, 497 p.

¹³ LIESKE, E.; MYERS, R. **Coral reef fishes: Indo-Pacific & Caribbean including the Red Sea**. Harper Collins Publishers, 1994. 400 p. (Collins Pocket Guide).

¹⁴ CATELANI, P.A. et al. Fish composition (Teleostei) of the estuarine region of the Macaé River, southeastern Brazil., op. cit.

¹⁵ MYERS, G.S. Fresh-water fishes and West Indian zoogeography. **Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution**, v.92, p. 339-364, 1938.

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ SOFIATI, A. Macaé em quatro tempos. In: CORREA, H.S. (org). **Oficina sobre Impactos Sociais, Ambientais e Urbanos das Atividades Petrolíferas: o caso de Macaé (RJ)**: Niterói: UFF, 2010. Capítulo 2, p. 130-148.

¹⁸ BARLETTA, M. et al. Seasonal changes in density, biomass and diversity of estuarine fishes in tidal mangrove creeks of the lower Caeté Estuary (Northern Brazilian coast, East Amazon). **Marine Ecology Progress Series**, v.256, p. 217-228, 2003.

¹⁹ BATISTA, V.S.; RÉGO, F.N. Análise de associações de peixes em igarapés do estuário do rio Tibiri, Maranhão. **Revista Brasileira de Biologia**, v.56, p.163-176, 1996.

²⁰ AZEVEDO, M.C.C. et al. Co-occurrence of demersal fishes in a tropical bay in southeastern Brazil: a null model analysis. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.66, p.315-322, 2002.

²¹ CHAO, L.H.; PEREIRA, L.E.; VIEIRA, J.P. Estuarine fish community of the dos Patos Lagoon, Brazil. A baseline study. In: YANEZ-ARANCIBIA, A. (ed.). **Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration**. México City: UNAM Press, 1985. p. 429-445.

natural, a presença de barbilhões sensoriais que permitem localizar alimento em águas turvas e a presença do aparelho de Weber, um conjunto de pequenos ossos envolvidos na transmissão de sons captados na bexiga natatória até o ouvido interno, aumentando a percepção do ambiente, especialmente em águas com menor visibilidade²².

Na região do baixo estuário do rio Macaé, com maior influência da salinidade, foi registrada uma predominância de peixes marinhos. Em sua maioria, esses peixes podem ser considerados como visitantes ocasionais do estuário. Apesar disso, esses peixes são importantes na determinação da riqueza de espécies do estuário, visto que peixes residentes, como o bagre-branco, *Genidens genidens*, geralmente perfazem menos de 13% da riqueza de espécies desses ambientes²³. Como esperado, tendo em vista os valores similares de salinidade e características ambientais, é nessa área que ocorre o maior compartilhamento de espécies entre o estuário e o Arquipélago, com um total de 33 espécies em comum.

Foram registradas 147 espécies de peixes no Arquipélago de Santana, o que representa aproximadamente 16,7% do total de 880 espécies de peixes marinhos reportados para a Bacia de Campos²⁴. Dessas, apenas nove fazem parte de Elasmobranchii, o grupo que inclui os tubarões e as raias. Os tubarões registrados no Arquipélago durante o estudo são a mangona, *Carcharias taurus*, e o tubarão-baleia, *Rhincodon typus*, mas outras espécies, de menor porte, certamente também ocorrem na região. A despeito de seus portes avantajados, ambos não representam risco de acidentes para os banhistas, além de estarem atualmente ameaçados de extinção no Brasil²⁵. Entre as raias, destacam-se as raias-elétricas, *Narcine brasiliensis* e *Torpedo* sp., que, a despeito de seus nomes populares, também são inofensivas. Das nove espécies de Elasmobranchii registradas no Arquipélago de Santana, seis estão categorizadas como ameaçadas de extinção em nível nacional: além do tubarão-mangona e do tubarão-baleia, citados acima, a raia-viola, *Zapteryx brevirostris* (**Figuras 2 e 3**), é reconhecida como “Vulnerável (VU)”, ao passo que as raias *Rioraja agassizii* e *Sympterygia acuta* são reconhecidas em um grau ainda maior de ameaça de extinção, “Em Perigo (EN)”. Por último, a raia-borboleta, *Gymnura altavela*, está atualmente categorizada no nível mais alto de ameaça de extinção em nível Federal, “Criticamente em Perigo (CR)”.

²² CERVIGÓN, F. La Octiofauna de las Aguas Costeiras Estuarinas del Delta del Rio Orinoco en la Costa Atlántica Occidental, Caribe. In: YANEZ-ARANCIBIA, A. (ed.). **Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration**. México City: UNAM Press, 1985. p. 57–78.

²³ JR., J.W. et al. **Estuarine Ecology**. New York: Wiley, 1989. 558 p.

²⁴ MINCARONE, M.M. et al. Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo de Bacia Marítima de Campos. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 84 p.

²⁵ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete do Ministro. Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece as espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 dez. 2014, Seção 1, p. 126-130. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=126&data=18/12/2014>.

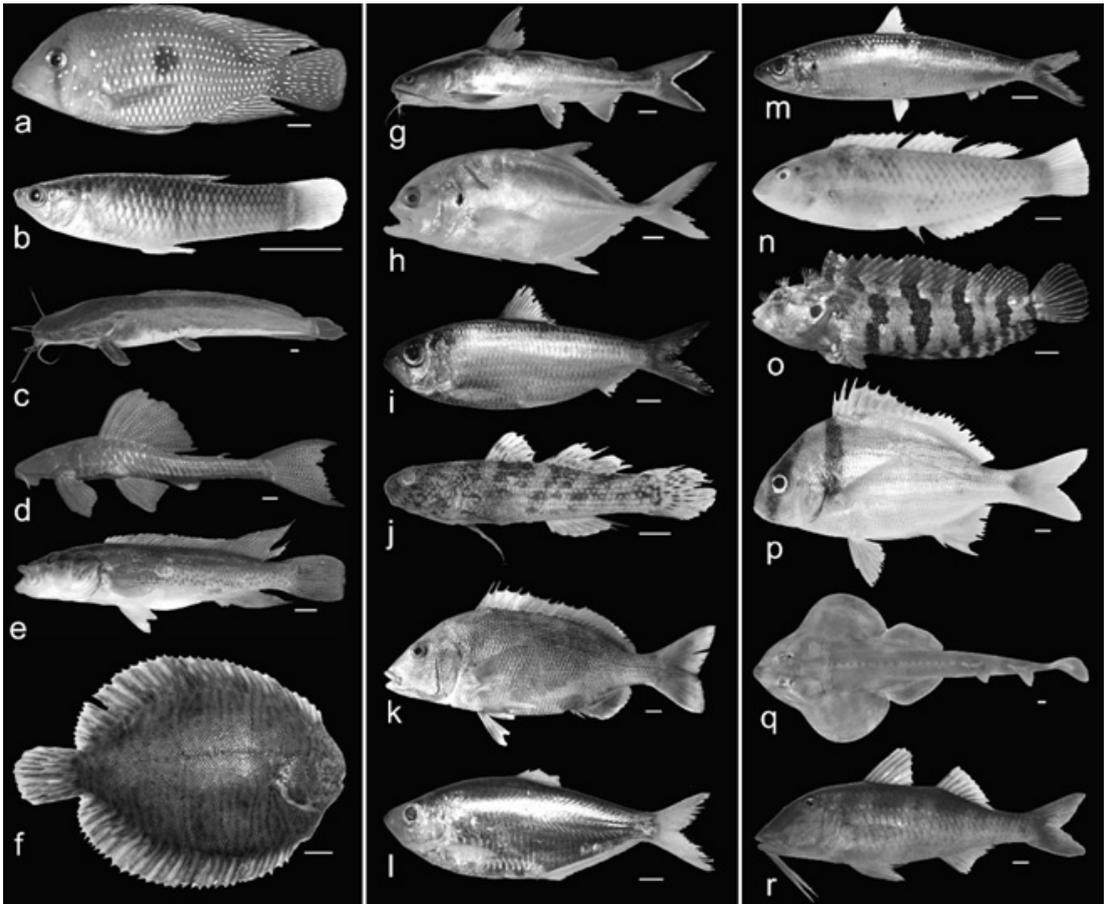


Figura 2 - Exemplos de espécies típicas de cada ambiente coletado. Espécies coletadas exclusivamente no estuário do rio Macaé: a: acará, *Geophagus brasiliensis*; b: barrigudinho, *Poecilia vivipara*; c: bagre-africano, *Clarias gariepinus*; d: cascudo, *Hypostomus affinis*; e: jacundá, *Crenicichla lacustris*; f: linguado, *Catathyridium garmani*; g, bagre-branco, *Genidens genidens*. Espécies coletadas no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana: h: xerelete, *Caranx latus*; i: sardinha-cascuda, *Harengula cf. clupeola*; j: maria-da-toca, *Bathygobius soporator*; k: corcoroca, *Orthopristis ruber*; l: sardinha mole, *Pellona harroweri*. Espécies coletadas exclusivamente no Arquipélago de Santana: m: sardinha-verdadeira, *Sardinella cf. aurita*; n: budião, *Halichoeres poeyi*; o: maria-da-toca, *Labrisomus cricota*; p: salema, *Anisotremus virginicus*; q: raia-viola, *Zapteryx brevirostris*; r: trilha, *Pseudupeneus maculatus*. As escalas indicam 1 cm

Fotos: Arthur B. Bauer, Vagner L. M. dos Santos e Luciano G. Fischer

Todas as outras 138 espécies de peixes registradas no Arquipélago fazem parte de Actinopterygii, o grupo que inclui a maioria dos animais conhecidos como peixes ósseos. Um total de 71 espécies foi registrado apenas nos costões rochosos e poças de marés, que representam ambientes de fundo consolidado. Esses peixes compõem uma fauna bastante peculiar e diversificada em cores e formas, tipicamente encontradas em ambientes recifais, como é o caso do paru, *Pomacanthus paru* (**Figura 3**), e do peixe-anjo, *Holocanthus ciliaris*, ambos da família Pomacanthidae. Os ambientes de poças de marés também são caracterizados por uma rica fauna de pequenos peixes das famílias Blenniidae, Gobiidae e Clinidae, que juntas totalizaram nove espécies registradas no Arquipélago. O pequeno peixe-sapo, *Gobiesox barbatulus* (família Gobiesocidae), uma espécie de difícil registro no sudeste e sul do Brasil, também foi coletado durante a maré baixa em um costão exposto (fora da água) em formações rochosas associadas à ilha do Francês. Foram também registradas cinco espécies de baiacus (famílias Diodontidae e Tetraodontidae) em associação aos costões rochosos, além do peixe-cofre, *Acanthostracion quadricornis* (Ostraciidae). O peixe-lua, *Mola mola*, também foi registrado no Arquipélago por meio de fotos. A despeito do parentesco com baiacus e peixes-cofres, o peixe-lua é um organismo pelágico inofensivo e um dos maiores vertebrados do mundo, atingindo até cerca de três metros de comprimento, quatro metros de altura e mais de duas toneladas de peso²⁶. Nas praias da ilha do Francês e da ilha de Santana, por sua vez, foram registradas 20 espécies, sendo a maior parte delas representadas por juvenis. Isso acontece porque praias arenosas são ambientes favoráveis aos jovens de muitas espécies, fornecendo alimento e abrigo contra predadores, por exemplo. Muitas dessas espécies possuem importância na pesca, seja artesanal (pequena escala) seja comercial. Esse é o caso da sardinha-verdadeira, *Sardinella cf. aurita* (**Figura 2**), cujos juvenis foram abundantemente coletados durante o estudo nas praias do Arquipélago. Outras espécies de grande importância comercial para a pesca, e que foram registradas no fundo arenoso do entorno do Arquipélago, são o goete, *Cynoscion jamaicensis*, o pargo-rosa, *Pagrus pagrus*, a corvina, *Micropogonias furnieri*, e o peixe-espada, *Trichiurus lepturus*. Em nível Federal, seis espécies de peixes ósseos registradas no Arquipélago estão ameaçadas de extinção: a garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus*, e o badejo-quadrado, *Mycteroperca bonaci* (Serranidae), os cavalos-marinhos, *Hippocampus erectus* e *Hippocampus cf. patagonicus*, e os budiões, *Sparisoma axillare* e *S. frondosum*, todos na categoria “Vulnerável (VU)”. O budião-azul, *Scarus trispinosus*, por sua vez, encontra-se em um grau ainda maior de ameaça, na categoria “Em Perigo (EN)”²⁷.

²⁶ ROACH, J. World's heaviest bony fish discovered? **National Geographic News**, 13 May 2003.

²⁷ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete do Ministro. Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece as espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção, *op. cit.*

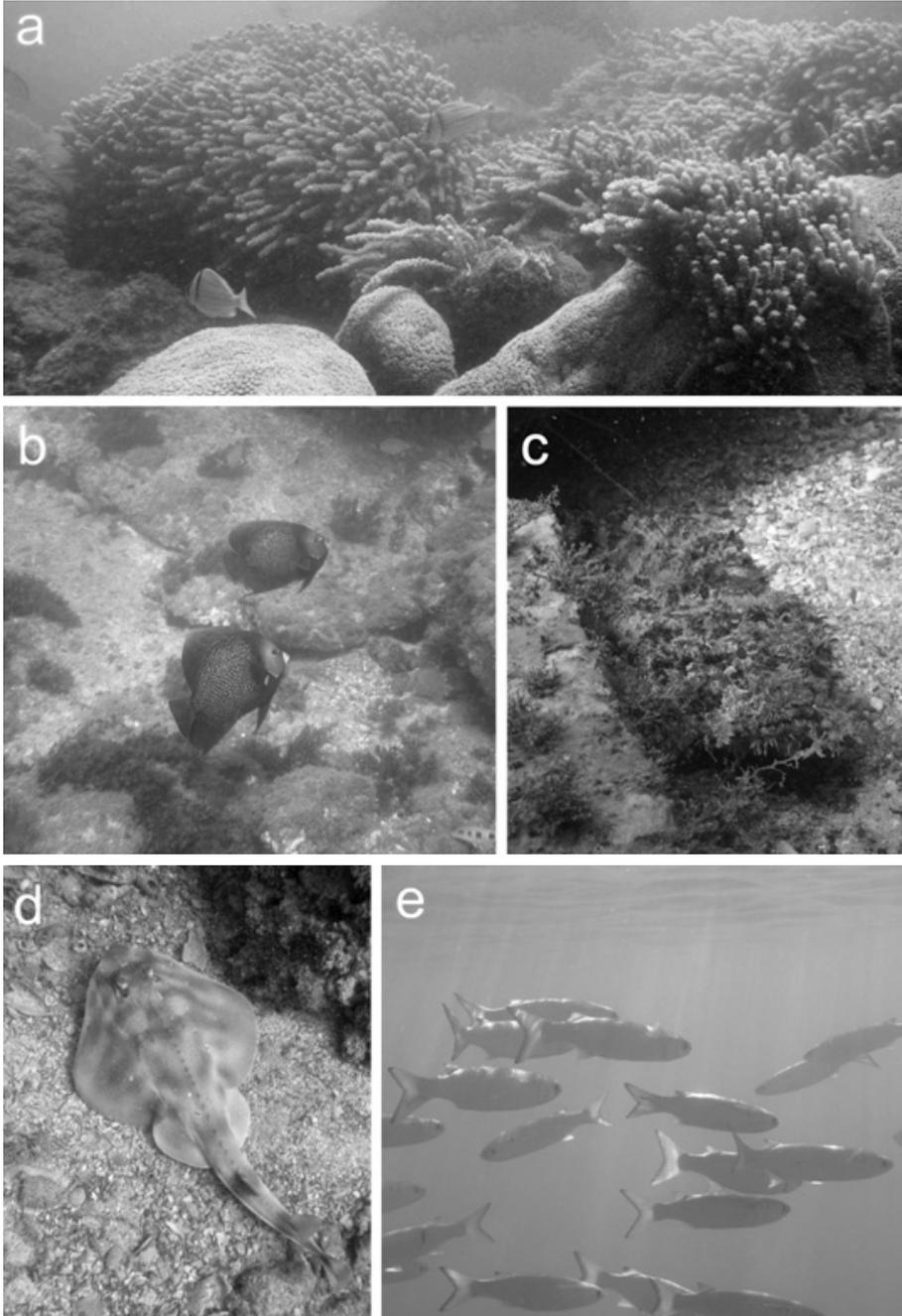


Figura 3 - Fotos subaquáticas de peixes no Arquipélago de Santana. a: salema, *Anisotremus virginicus*, nadando sobre fundo recoberto por algas (*Caulerpa*) e coral mole (*Palythoa*); b: dois peixes-frade ou parus, *Pomacanthus paru*; c: peixe-pedra do gênero *Scorpaena*, provavelmente *S. isthmensis*, camuflado em fundo rochoso; d: raia-viola, *Zapteryx brevirostris*; e: cardume de tainhas do gênero *Mugil*, provavelmente *M. curema*

Espécies introduzidas no estuário do rio Macaé

Foram registradas duas espécies introduzidas no estuário do rio Macaé, a tilápia, *Oreochromis niloticus*, e o bagre-africano, *Clarias gariepinus* (Figura 2). Ambas são originárias da África e foram introduzidas no Brasil para fins de aquicultura. A tilápia se destaca por sua ampla capacidade de adaptação a ambientes distintos, por sua abundância quando populações estão estabelecidas, pelo cuidado parental, que maximiza a sobrevivência dos filhotes e facilita um crescimento populacional acelerado, e por uma alta capacidade competitiva em diversas condições ambientais. Além disso, a tilápia é uma espécie generalista em termos de dieta, o que amplifica ainda mais sua capacidade de sobrevivência em condições variadas. O bagre-africano também é uma espécie capaz de viver em uma vasta gama de *habitat*, incluindo rios, pântanos, lagos naturais e reservatórios artificiais^{28,29,30}, aclimatando-se facilmente a novos ambientes onde é introduzido³¹. No estudo realizado, o bagre-africano se destacou por ser uma espécie importante na região do estuário que é caracterizada por uma maior influência da água doce, onde a riqueza e a abundância das espécies nativas são baixas³². Vários estudos indicam que, em adição ao seu comportamento predatório agressivo, o bagre-africano é altamente competitivo e tem a capacidade de alterar cadeias alimentares, representando assim uma ameaça à biota nativa das áreas onde é introduzido^{33,34,35}.

A ocorrência dessas espécies altamente resilientes no estuário do rio Macaé representa uma ameaça adicional para a ictiofauna nativa desse trecho do rio. A introdução de espécies não nativas é a segunda maior ameaça à diversidade global, sendo a primeira a eliminação de *habitat*^{36,37}. Assim, juntamente com a perda e fragmentação do *habitat*, alterações hidrológicas e climáticas, exploração excessiva e poluição, as espécies de peixes invasoras são cada vez mais reconhecidas como ameaças à fauna original em ambientes de água doce^{38,39,40}. Os impactos decorrentes da introdução de espécies podem ser diretos, quando essa promove a exclusão das espécies nativas pela competição ou predação, ou indiretos, quando a espécie introduzida afeta as interações interespecíficas da comunidade, com alteração da abundância relativa das outras espécies, nas vias e na intensidade do fluxo de energia do sistema⁴¹. As consequências

²⁸ TEUGELS, G.G. A systematic revision of the African species of the genus *Clarias* (Pisces; Clariidae). **Annales Musée Royal de l'Afrique Centrale**, Sciences Zoologiques, v. 247, 199 p., 1986.

²⁹ DE GRAAF, G.; JANSSEN, H. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus*. In: **Sub-Saharan Africa: a handbook**. Rome: FAO, 1996. (FAO Fisheries Technical Paper, v. 362).

³⁰ WEYL, O.L.F. et al. A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa. **Journal of Fish Biology**, v.89, n.1, p. 386-402, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12958>

³¹ BRUTON, M.N. Systematics and biology of clariid catfish. In: HECHT, T.; UYS, W.; BRITZ, P.J. (eds.). The culture of sharp-toothed catfish *Clarias gariepinus* in southern Africa. **South African National Scientific Program Report**, n.153, p. 1-10, 1988.

³² CATELANI, P.A. **A influência do gradiente ambiental do estuário do rio Macaé, RJ, na composição da ictiofauna: uma abordagem das guildas ecológicas**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, UFRJ, Macaé, 2013.

³³ LAL, K.K. et al. Genetic make up of exotic catfish *Clarias gariepinus* in India. **Asian Fisheries Science**, v.16, p. 229-234, 2003.

³⁴ KHAN, M.F.; PANIKKAR, P. Assessment of impacts of invasive fishes on the food web structure and ecosystem properties of a tropical reservoir in India. **Ecology Model**, v.220, p. 2281-2290, 2009.

³⁵ O.L.F. et al. A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa., *op. cit.*

³⁶ MACK, R.N. et al. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological Applications**, v.10, n.3, p. 689-710, 2000.

³⁷ SIMBERLOFF, D. Confronting introduced species: a form of xenophobia? **Biological Invasions**, v. 5, n. 3, p. 179-192, 2003.

³⁸ DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v.81, p. 163-182, 2006.

³⁹ WEYL, O.L.F. et al. A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa., *op. cit.*

⁴⁰ KELLER, R.P. et al. **Bioeconomics of invasive species: integrating ecology, economics, policy, and management**. London: Oxford University Press, 2009. 315 p.

⁴¹ FULLER, P.L.; NICO, L.G.; WILLIAMS, J.D. Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States. Bethesda, EEUU: American Fisheries Society, 1999. 613 p. (Special Publication, 27).

negativas das invasões biológicas podem ser potencializadas ou mediadas por modificações ambientais como, por exemplo, a retificação da calha do rio Macaé. Esses impactos representam um risco adicional às cinco espécies ameaçadas de extinção registradas no estuário do rio Macaé (**Tabela 1**), como por exemplo, o grumatã, *Prochilodus vimbooides*, categorizado como Vulnerável em nível Federal^{42,43}.

As intervenções humanas no estuário e arquipélago

As alterações de origem antrópica mais relevantes na fisionomia da paisagem costeira de Macaé, no contexto deste capítulo, relacionam-se às intervenções realizadas no baixo curso do rio Macaé e no uso do Arquipélago de Santana como área de pesca e atracadouro de embarcações desde o início da exploração petrolífera na Bacia de Campos, a partir da década de 1960 (**Figura 4 a-v**).

Entre 1960 e 1970, as obras realizadas no curso do rio faziam parte de um conjunto articulado de ações em nível federal que visavam aumentar a vazão dos rios costeiros, para dessa forma drenar as áreas alagáveis, consideradas como criadouros de insetos transmissores de doenças e limitadoras da expansão das atividades agropecuárias, em franco crescimento na região. No rio Macaé, essas intervenções provocaram a eliminação quase completa das várzeas cobertas de vegetação natural (**Figura 4 t**), a conversão de lagoas marginais em brejos e a completa desconexão hidrológica dessas áreas marginais com a calha do rio⁴⁴. Dessa forma, organismos aquáticos tiveram suas áreas potenciais de ocupação ao longo da vida reduzidas drasticamente. Esse impacto foi mais severo principalmente nos organismos que dependem de águas rasas e vegetadas, como lagoas marginais, pelo menos em um estágio de seu ciclo de vida. No caso dos peixes, a perda da capacidade de expansão marginal do rio e a supressão das áreas planas alagáveis na baixada impossibilitou que ovos e alevinos fossem carregados pelas cheias anuais para as lagoas marginais, que eram até então os principais locais de crescimento e engorda associados ao estuário. Uma das consequências mais drásticas desse processo de retificação foi a redução gradual da quantidade de peixes pescados no rio⁴⁵.

A instalação na região de empresas da cadeia de exploração do petróleo, a partir da década de 1970, ocasionou um intenso crescimento populacional e das atividades econômicas, gerando uma forte pressão sobre os recursos naturais e alterações nas condições ambientais, principalmente na região do baixo curso do rio Macaé⁴⁶. A prospecção e produção de petróleo e gás natural são atividades particularmente importantes no estado do Rio de Janeiro. Entre 2009 e 2015, uma média de 74,3% e 40,5% do total de petróleo e gás natural produzidos no país, respectivamente, foi extraída de poços marítimos no estado do Rio de Janeiro⁴⁷.

⁴² BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete do Ministro. Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece as espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção, *op. cit.*

⁴³ SOUZA, G. et al. Early development and allometric growth patterns of the grumatã (*Prochilodus vimbooides* Kner, 1859). *Zygote*, v.24, p. 428–441, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0967199415000350>

⁴⁴ MARÇAL, M.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil., *op. cit.*

⁴⁵ JARAMILLO-VILLA, U. **Efeito da retificação de rios sobre as taxocenoses de peixes**: estudo em rios costeiros de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

⁴⁶ COSTA, R.N.; FERREIRA, M.I.P. **A conferência da Terra**: Aquecimento global, sociedade e biodiversidade. O impacto secundário da atividade petrolífera na cidade de Macaé com base na fotointerpretação de imagens aéreas., *op. cit.*

⁴⁷ ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2017**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 4 mar. 2017.

A partir do início da década de 1980, a proximidade com o porto de Macaé e as águas protegidas na porção voltada ao continente do Arquipélago de Santana estimularam a utilização dessa área para a manutenção de embarcações e plataformas de petróleo da frota crescente relacionada com a exploração de petróleo *offshore* (**Figura 4 a-f, r-s**). Além disso, a pesca recreativa e comercial são realizadas de forma desordenada e com pouca fiscalização no Arquipélago (**Figura 4 i-p**), mesmo estando o Arquipélago inserido em duas Unidades de Conservação Municipais: a “Área de Proteção Ambiental Municipal Arquipélago de Santana (APA-AS)” e o “Parque Natural Municipal do Arquipélago de Santana (PNM-AS)” (**Figura 1**). Durante as expedições científicas realizadas no Arquipélago, em diversas ocasiões foram avistadas atividades de pesca com redes de emalhe e arrasto (**Figura 4 i**), pesca subaquática (**Figura 4 j**) e pesca esportiva com vara e linha dentro do PNM-AS (**Figura 4 k, l, p**). A pesca subaquática também exerce pressão sobre alguns peixes que vivem no Arquipélago, como nos casos da garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus*, e do budião-batata, *Sparisoma axillare*. A pesca artesanal na região costeira macaense também pode impactar espécies recifais, mas atualmente ainda existem poucas informações sobre possível sobrepesca em ambientes recifais brasileiros, de um modo geral⁴⁸. Apesar da inexistência de estudos visando avaliar os impactos da pesca no Arquipélago de Santana, essa situação de pesca sem fiscalização e manejo é preocupante, pois tanto a pesca artesanal quanto a esportiva podem impactar o tamanho e a estrutura populacional de espécies de peixes recifais^{49,50,51,52}. A coleta de espécies recifais para fins ornamentais também tem efeitos negativos claros na diversidade e abundância de muitas espécies brasileiras, levando a mudanças significativas na estrutura das comunidades locais em algumas regiões do país^{53,54,55}. Embora não existam informações sobre os efeitos dessas atividades no Arquipélago de Santana, presume-se que algumas espécies como o budião, *Halichoeres poeyi* (**Figura 2**), a donzelinha, *Stegastes variabilis*, e os cavalos-marinhos, *Hippocampus erectus* e *H. cf patagonicus*, possam ser alvo de coletas indevidas, ao menos esporadicamente, por serem espécies de interesse para aquarofilia. Além disso, a maioria dos sistemas recifais do Brasil são costeiros, assim como o Arquipélago de Santana, estando sujeitos aos impactos associados ao crescimento populacional no continente⁵⁶. Outra fonte de impacto potencialmente importante é a presença de redes-fantasma (**Figura 4 o**), encontradas durante os mergulhos em águas claras no Arquipélago.

⁴⁸ FLOETER, S.R.; FERREIRA, C.E.L.; GASPARI, J.L. Os Efeitos da Pesca e da Proteção através de UC's Marinhas: Três Estudos de Caso e Implicações para os Grupos Funcionais de Peixes Recifais no Brasil. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Aquáticas Protegidas como Instrumento de Gestão Pesqueira**. Brasília: MMA, 2007. v.4, p.183-199. (Série Áreas Protegidas do Brasil).

⁴⁹ GASPARI, J.L. et al. Marine ornamental trade in Brazil. Biodiversity and Conservation, v.14, p. 2883-2899, 2005.

⁵⁰ FERREIRA, C.E.L.; GONÇALVES, J.E.A. The unique Abrolhos reef formation (Brazil): need for specific management strategies. **Coral Reefs**, v.18, p. 352, 1999.

⁵¹ FERREIRA, C.E.L. The Status of Target Reef Fishes. In: DUTRA, G.F. et al. (org.). **A Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil**. Washington, DC: Conservation International, 2005. v. 38, p. 56-66.

⁵² FRÉDOU, T.; FERREIRA, B.P.; LETOUNEUR, Y. A univariate and multivariate study of reef fisheries in the Northeast Brazil. **ICES Journal of Marine Science**, v.63, p. 883-896, 2006.

⁵³ COSTA, P.A.S.; BRAGA, A.C.; ROCHA, L.O.F. Reef fisheries in Porto Seguro, eastern Brazilian coast. **Fisheries Research**, v.60, p. 577-583, 2003.

⁵⁴ GASPARI, J.L. et al. Marine ornamental trade in Brazil, *op. cit.*

⁵⁵ FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil**. Situação Atual e Perspectivas. Brasília: MMA, 2006. v. 1, 120 p.

⁵⁶ FLOETER, S.R.; FERREIRA, C.E.L.; GASPARI, J.L. Os Efeitos da Pesca e da Proteção através de UC's Marinhas: Três Estudos de Caso e Implicações para os Grupos Funcionais de Peixes Recifais no Brasil., *op. cit.*

As redes-fantasma são redes perdidas ou abandonadas por pescadores, em que peixes e tartarugas emalham-se por acaso e morrem por serem impossibilitados de nadar e respirar. No caso específico do Arquipélago de Santana, provavelmente trata-se de petrechos de pesca descartados, visto que diversas embarcações de pesca utilizam suas águas rasas e tranquilas para realizar manutenção das embarcações e redes de pesca (**Figura 4 q**).

Em resumo, as intervenções diretas que acarretaram a perda das características estruturais dos ecossistemas abordados neste capítulo foram intensas no estuário do rio Macaé. No Arquipélago de Santana, esses impactos foram menos contundentes nas últimas décadas devido a uma conjunção de fatores, entre eles a ação restritiva de acesso à ilha de Santana pela Marinha Brasileira, em função da existência de um Farol naquela ilha, e a mobilização da sociedade macaense, que resultou na criação das Unidades de Conservação nas quais o Arquipélago está inserido. Entretanto, outras fontes de impacto, conhecidas como *non-point source* (NPS), foram intensificadas com o crescimento populacional e econômico de Macaé, tendo se mantido até os dias de hoje como alguns dos principais impactos em sistemas da região^{57,58,59}. Exemplos de NPS relevantes no estuário do rio Macaé e Arquipélago de Santana são a emissão esgoto *in natura*, óleo de veículos e embarcações e agrotóxicos pelo descarte na água e escoamento superficial. As NPS são reconhecidas como as principais fontes poluidoras em corpos hídricos em todo o planeta, e a efetividade de seu controle e redução é limitada por seu caráter difuso no espaço. Em outras palavras, não existe um trecho ou ponto poluidor no estuário do rio Macaé ou no Arquipélago de Santana que possa ser identificado e remediado em função das NPS. A bacia do rio Macaé, em particular, é impactada diretamente pela agricultura e pecuária, que abrangem 21,57% e 40,98% do total de sua área, respectivamente⁶⁰. Além disso, foi estimado que cerca de 50% da área de florestas da bacia do rio Macaé foi convertida em campos agrícolas e pastos. Apenas no período entre 1979 e 2008, ocorreu uma retração de 28% nas áreas florestadas, em oposição à expansão de 27% nas áreas de pastagem⁶¹.

⁵⁷ COSTA, R.N. **Ecotoxicologia como ferramenta para análise da qualidade ambiental do estuário do rio Macaé, Macaé, RJ**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2010.

⁵⁸ MOLISANI, M.M. et al. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do Rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, São Paulo, v.36, n.1, p. 27-33, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000100006>

⁵⁹ SANTIAGO, I. et al. Hydrocarbons and trace metals in mussels in the Macaé coast: Preliminary assessment for a coastal zone under influence of offshore oil field exploration in southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.103, p. 349-353, 2016.

⁶⁰ SOUZA, P.A. et al. A caracterização do uso da terra na bacia do rio Macaé (RJ). Caracterização do uso da terra na bacia do rio Macaé, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Anais** [...]. p. 80.

⁶¹ ESTEVES, F.A. et al. Carta das águas de Macaé: contribuição do NUPEM/UFRJ para a governança dos recursos hídricos de Macaé. **Cadernos NUPEM**, v.6, p.1-37, 2015.

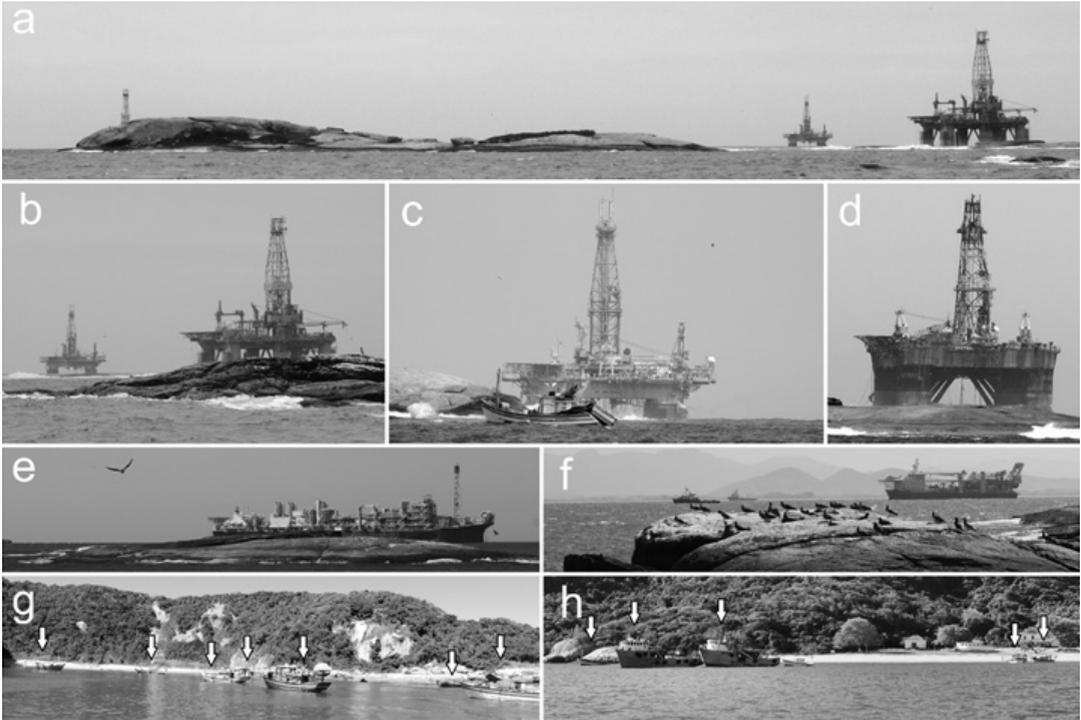


Figura 4 - Exemplos de impactos antrópicos registrados no Arquipélago de Santana e no estuário do rio Macaé, relacionados à ictiofauna. a-d: Diversas plataformas de petróleo fundeadas nas proximidades do Parque Natural Municipal do Arquipélago de Santana PNM-AS; e-f: Navios de apoio à indústria de petróleo navegando ou fundeados na proximidade do PNM-AS; g-h: Diversos barcos fundeados dentro do PNM-AS (setas); i: barco de pesca realizando arrasto de fundo no entorno do PNM-AS; j: pesca subaquática nos costões rochosos, dentro do PNM-AS; k-l: pescadores esportivos de vara e linha acampam com frequência na Ilha do Francês, dentro do PNM-AS; m: pneus, cabos, e tonéis são encontrados em águas no PNM-AS; n: descarte da pesca artesanal (carcaças de diferentes espécies de peixes) é lançado em águas rasas dentro do PNM-AS; o: redes-fantasma no PNM-AS, provenientes de descarte inadequado ou perda pelos pescadores; p: pescador esportivo (vara e linha) com barco atracado dentro do PNM-AS; q: barco de pesca artesanal efetuando reparo de redes; r: barcos atracados no Porto de Imbetiba, na foz do rio Macaé; s: barcos de apoio à indústria de petróleo fundeados em frente à costa de Macaé; t: início do aterramento de áreas de várzea na Linha Azul no ano de 2011, eliminando as áreas naturais de extravasamento do rio Macaé, que reduziam o impacto de cheias e enchentes intensas na área urbana a jusante; u: agregação de urubus, garças e gaivotas junto a acúmulo de carcaças de peixes e lixo na barra da foz do rio Macaé; v: acúmulo de carcaças de peixes descartados e lixo flutuante no cais do Mercado Municipal de Peixes de Macaé, ao lado da foz do rio Macaé continua

Fotos: Ana C. Petry (t), Bruna Pagliani (e, f, i-k), Fabio Di Dario (m-o) e Luciano G. Fischer (a-d, g-h, i, p-s, u-v).

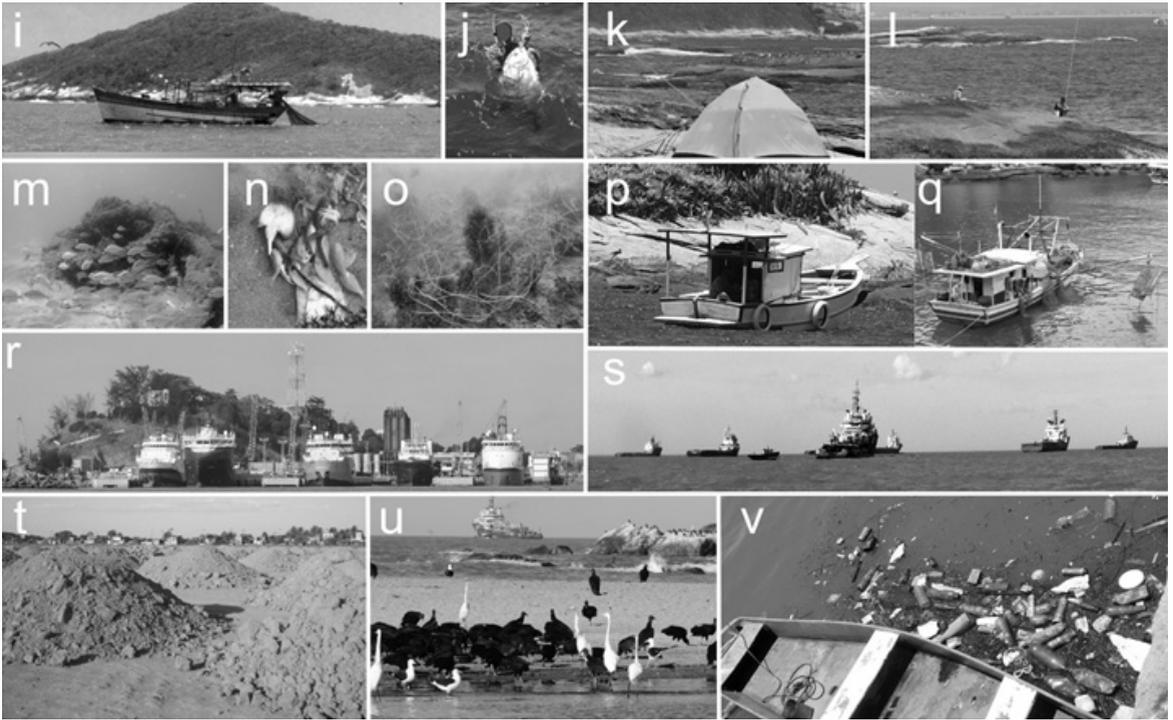


Figura 4 - Exemplos de impactos antrópicos registrados no Arquipélago de Santana e no estuário do rio Macaé, relacionados à ictiofauna. a-d: Diversas plataformas de petróleo fundeadas nas proximidades do Parque Natural Municipal do Arquipélago de Santana PNM-AS; e-f: Navios de apoio à indústria de petróleo navegando ou fundeados na proximidade do PNM-AS; g-h: Diversos barcos fundeados dentro do PNM-AS (setas); i: barco de pesca realizando arrasto de fundo no entorno do PNM-AS; j: pesca subaquática nos costões rochosos, dentro do PNM-AS; k-l: pescadores esportivos de vara e linha acampam com frequência na Ilha do Francês, dentro do PNM-AS; m: pneus, cabos, e tonéis são encontrados em águas no PNM-AS; n: descarte da pesca artesanal (carcaças de diferentes espécies de peixes) é lançado em águas rasas dentro do PNM-AS; o: redes-fantasma no PNM-AS, provenientes de descarte inadequado ou perda pelos pescadores; p: pescador esportivo (vara e linha) com barco atracado dentro do PNM-AS; q: barco de pesca artesanal efetuando reparo de redes; r: barcos atracados no Porto de Imbetiba, na foz do rio Macaé; s: barcos de apoio à indústria de petróleo fundeados em frente à costa de Macaé; t: início do aterramento de áreas de várzea na Linha Azul no ano de 2011, eliminando as áreas naturais de extravasamento do rio Macaé, que reduzem o impacto de cheias e enchentes intensas na área urbana a jusante; u: agregação de urubus, garças e gaivotas junto a acúmulo de carcaças de peixes e lixo na barra da foz do rio Macaé; v: acúmulo de carcaças de peixes descartados e lixo flutuante no cais do Mercado Municipal de Peixes de Macaé, ao lado da foz do rio Macaé conclusão

Fotos: Ana C. Petry (t), Bruna Pagliani (e, f, i-k), Fabio Di Dario (m-o) e Luciano G. Fischer (a-d, g-h, i, p-s, u-v).

As implicações para a conservação do estuário do rio Macaé e Arquipélago de Santana

Ao longo do tempo, as áreas marinhas protegidas tornaram-se um componente chave das estratégias de conservação dos oceanos em nível global⁶². As áreas de proteção podem, com devido manejo, restaurar a biomassa e densidade de espécies, aumentar a diversidade de aglomerações, melhorar a produtividade da pesca e manter os serviços ecossistêmicos essenciais para a humanidade^{63,64}. No Brasil, os estuários são áreas protegidas pela legislação ambiental desde 1965, com a criação do Código Florestal. Nas últimas cinco décadas, outras iniciativas federais, estaduais e municipais foram tomadas com o propósito de proteção das regiões estuarinas. Em Macaé, a Lei Municipal Nº 3.146/2008 determinou a criação do “Parque Municipal Estuário do Rio Macaé (PMRM)”, com uma área de 1.278.224,00 m², com o objetivo principal de manter e recuperar esse patrimônio ambiental. Segundo o artigo sétimo dessa Lei, o plano de manejo do PMRM deveria ser desenvolvido no prazo de até um ano após sua publicação. Entretanto, até hoje, essa determinação não foi cumprida. A ausência de plano de manejo se estende à “Área de Proteção Ambiental Municipal Arquipélago de Santana (APA-AS)”, criada em 1989 a partir de um decreto municipal de Macaé, cuja área de 473,2 km² é delimitada por uma circunferência de 16 km de raio, sendo a coordenada central 22°24’33”S, 41°42’08”O. Dentro dos limites da APA-AS, o “Parque Natural Municipal do Arquipélago de Santana”, com apenas 7 km² de área, está delimitado por um polígono que inclui as três ilhas do Arquipélago (Figura 1).

Ambientes fisicamente e ecologicamente separados podem ser considerados como interligados através do ciclo de vida de organismos que os utilizam em épocas distintas de suas vidas. Estuários, por exemplo, são ambientes fundamentais para juvenis de muitas espécies de peixes costeiros e recifais. A conectividade entre esses ambientes para certas espécies é tão relevante que se sabe que a própria distância entre estuários e ambientes recifais pode influenciar na abundância e riqueza de peixes que habitam uma determinada área⁶⁵. O registro de mais de duzentas espécies de peixes em uma extensão de costa que linearmente não ultrapassa 30 km indica que, apesar de historicamente sujeita a uma forte pressão antrópica, a região costeira de Macaé ainda preserva as condições ambientais básicas para a sobrevivência de um conjunto expressivo de espécies de peixes, sejam eles residentes ou visitantes esporádicos em uma determinada época do ano ou de suas vidas. Do total de 223 espécies registradas, 14% ocorrem no estuário e no Arquipélago, indicando que, apesar das diferenças marcantes na salinidade da água e nos tipos de ambientes, esses sistemas são conectados biologicamente. Essa

⁶² VILAR, C.C. et al. Setting priorities for the conservation of marine vertebrates in Brazilian waters. **Ocean & Coastal Management**, v.107, p. 28-36, 2015.

⁶³ FLOETER, S.R.; HALPERN, B.S.; FERREIRA, C.E.L. Effects of fishing and protection on Brazilian reef fishes. **Biological Conservation**, v.128, p. 391-402, 2006.

⁶⁴ FIGGIS, P. et al. (eds). Valuing Nature: Protected Areas and Ecosystem Services. Sydney: Australian Committee for IUCN, 2015. 140 p.

⁶⁵ MUMBY, P.J. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. **Biological Conservation**, v.128, p. 215-222, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.042>

situação é particularmente relevante, pois os estuários são os ambientes não recifais que possuem o maior número de espécies de peixes recifais ameaçadas de extinção⁶⁶. Além disso, a perda de habitat não recifais é uma das razões atribuídas ao declínio de peixes que habitam recifes, levando inclusive a extinções locais⁶⁷.

A conectividade entre o estuário do rio Macaé e o Arquipélago de Santana é, portanto, importante para o funcionamento pleno dos ecossistemas marinhos costeiros da região, proporcionando não apenas a manutenção das populações de peixes, mas também processos ecológicos autorreguladores que conferem resiliência aos impactos antrópicos^{68,69}. Esse cenário de conectividade biológica proporcionada por um número expressivo de espécies de peixes reforça a necessidade de medidas de conservação conjuntas que envolvam tanto o estuário do rio Macaé quanto o Arquipélago de Santana. Ações integradas de conservação envolvendo esses dois ambientes, associadas à elaboração de seus planos de manejo de forma a assegurar o uso sustentável, o zoneamento e a recuperação desses sistemas, são necessárias para a manutenção de populações viáveis de diversas espécies costeiras de peixes, incluindo algumas importantes para a pesca. O estuário do rio Macaé e o Arquipélago de Santana são ambientes biologicamente complementares e importantes para Macaé, tanto historicamente quanto nos dias de hoje. Ações efetivas e integradas de conservação e manejo são necessárias para proporcionar a manutenção das espécies e os serviços ecossistêmicos prestados por esses ambientes, indispensáveis para a viabilidade e bem-estar das gerações de futuros habitantes na região.

Agradecimentos

Este estudo representa parte das Dissertações de Mestrado de Paula Araujo Catelani e Arthur de Barros Bauer no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação (PPG-CiAC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Bolsas de estudo a ambos durante o Mestrado foram outorgadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação Educacional de Macaé (FUNEMAC). Os autores agradecem às diversas pessoas que auxiliaram nos trabalhos de campo e em laboratório, entre elas Allan Pozzobon, Bruna Pagliani, Bruno Felice, Caroline Leite, Evelyn Silva, Fábio da Silva, Gabriella Franco, Hudson Lemos, Lais Correia, Lorena Agostinho, Matheus Pereira, Mike Mincarone, Nicholas Passos, Odara Araújo, Rayane dos Santos, Thayná Sarinho, Vagner dos Santos, Victória Mantuan e Patrícia Mancini. Agradecemos especialmente a João Marcelo S. de Souza (NUPEM/

⁶⁶ VILA-NOVA, D.A. et al. The Use of Non-reef Habitats by Brazilian Reef Fish Species: Considerations for the Design of Marine Protected Areas. *Natureza & Conservação*, v.9, n.1, p.1-8, 2011.

⁶⁷ MUMBY, P.J. et al. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, v. 427, p. 533-536, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02286>

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ MUMBY, P.J. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales., *op. cit.*

UFRJ) e aos pescadores locais Paulo Sérgio Moraes e José J. Barcelos (“Zezinho”), que além de auxiliarem em campo, também forneceram fotografias valiosas de espécimes registrados no estudo. Vicente Klonowski e a Secretaria de Ambiente de Macaé - SEMA forneceram apoio logístico fundamental para o início das pesquisas no Arquipélago. Também agradecemos a Vicente pelo imenso entusiasmo com os estudos ambientais realizados na região, e pela dedicação contagiante com a qual ele encarou as pesquisas desde o início do projeto. Também agradecemos a Raphael Macieira (UVV), a João Luiz Gasparini (UFES) e a Mariana Bender (UFMS) por informações adicionais sobre a identificação de peixes do Arquipélago e pela revisão do estudo de Mestrado de A. Bauer. Suporte financeiro foi fornecido pela FINEP/PETROBRAS e FAPERJ.

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continua)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
ORECTOLOBIFORMES								
Rhincodontidae								
Rhincodon typus Smith, 1828	tubarão-baleia	VU	X					
CARCHARHINIFORMES								
Carcharhinidae								
Carcharias taurus Rafinesque, 1810	mangona	CR	X					
RHINOBATIFORMES								
Rhinobatidae								
Zapteryx brevirostris (Müller & Henle, 1841)	raia-viola	VU	X					
TORPEDINIFORMES								
Narcinidae								
Narcine brasiliensis (Olfers, 1831)	treme-treme	DD	X					
Torpedinidae								
Torpedo sp.	raia-torpedo	NA	X					
RAJIFORMES								
Rajidae								

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Rioraja agassizii (Müller & Henle, 1841)	raia	EN	X					
Sympterygia acuta Garman, 1877	raia	EN	X					
MYLIOBATIFORMES								
Dasyatidae								
Dasyatis hypostigma Santos & Carvalho, 2004	raia-manteiga	DD	X					
Gymnuridae								
Gymnura altavela (Linnaeus, 1758)	raia-borboleta	CR	X					
ELOPIFORMES								
Elopidae								
Elops cf. smithi McBride, Rocha, Ruiz-Carus & Bowen, 2010	ubarana	LC		X				
ALBULIFORMES								
Albulidae								
Albula vulpes (Linnaeus, 1758)	peixe-rato	DD	X					
ANGUILLIFORMES								
Muraenidae								
Gymnothorax funebris Ranzani, 1839	moreia-verde	DD	X					
Gymnothorax moringa (Cuvier, 1829)	moreia	DD	X					
Gymnothorax ocellatus Agassiz, 1831	moreia	DD	X					
Gymnothorax vicinus (Castelnau, 1855)	moreia	LC	X					
CLUPEIFORMES								
Clupeidae								

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Harengula cf. clupeiola (Cuvier, 1829)	sardinha-cascuda	LC	X	X	X			
Opisthonema oglinum (Lesueur, 1818)	savelha	LC		X				
Sardinella cf. aurita Valenciennes, 1847	sardinha-verdadeira	DD	X					
Pristigasteridae								
Chirocentrodon bleekermanus (Poey, 1867)		LC	X					
Odontognathus mucronatus Lacepède, 1800				X				
Pellona harroweri (Fowler, 1917)		LC	X	X	X			
Engraulidae								
Anchoa januaria (Steindachner, 1879)	manjuba	LC		X	X			
Anchoa lyolepis (Evermann & Marsh, 1900)	manjuba	LC	X		X			
Anchoa marinii Hildebrand, 1943	manjuba	LC		X				
Anchoa tricolor (Spix & Agassiz, 1829)	manjuba	LC		X	X			
Anchovia clupeioides (Swainson, 1839)	manjuba	LC		X	X			
Anchoviella lepidentostole (Fowler, 1911)	manjuba	LC		X	X			
Cetengraulis edentulus (Cuvier, 1829)	sardinha boca-torta	LC		X	X			
Engraulis anchoita Hubbs & Marini, 1935	manjuba	LC	X		X			
Lycengraulis grossidens (Spix & Agassiz, 1829)	manjubão	LC		X	X	X	X	

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
GYMNOTIFORMES								
Hypopomidae								
Brachyhypopomus janeiroensis (Costa & Campos-da-Paz 1992)	sarapó					X	X	
CHARACIFORMES								
Anostomidae								
Leporinus copelandii Steindachner, 1875	piauí					X	X	
Characidae								
Astyanax aff. bimaculatus (Linnaeus, 1758)	lambari					X	X	X
Astyanax giton Eigenmann, 1908	lambari						X	X
Astyanax cf. taeniatus (Jenyns, 1842)	lambari						X	X
Hyphessobrycon luetkenii (Boulenger, 1887)	lambari					X	X	X
Oligosarcus hepsetus (Cuvier, 1829)	lambari-cachorra					X	X	X
Curimatidae								
Cyphocharax gilbert (Quoy & Gaimard, 1824)	sairu					X		X
Erythrinidae								
Hoplias aff. malabaricus (Bloch, 1794)	traíra						X	X
Prochilodontidae								
Prochilodus vimboides Kner, 1859 (VU)	grumatã					X	X	X
SILURIFORMES								
Ariidae								
Aspistor luniscutis (Valenciennes, 1840)	bagre-cangatã				X			

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Bagre bagre (Linnaeus, 1766)	bagre-bandeira			X	X			
Bagre marinus (Mitchill, 1815)	bagre-bandeira			X				
Cathorops spixii (Agassiz, 1829)	bagre-amarelo			X	X			
Genidens barbatus (Lacepède, 1803) (EN)	bagre-do-mar	EN		X				
Genidens genidens (Cuvier, 1829)	bagre-branco	LC		X	X	X		
Genidens machadoi (Miranda Ribeiro, 1918)	bagre-do-mar			X	X			
Auchenipteridae								
Trachelyopterus striatulus (Steindachner, 1877)	cumbaca					X	X	
Clariidae								
Clarias gariepinus (Burchell, 1822)*	bagre-africano					X	X	X
Heptapteridae								
Pimelodella lateristriga (Lichtenstein, 1823)	mandi					X	X	X
Rhamdia quelen (Quoy & Gaimard, 1824)	jundiá					X	X	X
Loricariidae								
Hypostomus affinis (Steindachner, 1877)	casquito						X	X
Hypostomus sp.							X	X
Schizolecis guntheri (Miranda Ribeiro, 1918)						X		X
AULOPIFORMES								
Synodontidae								
Synodus foetens (Linnaeus, 1766)	peixe-lagarto	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Synodus synodus</i> (Linnaeus, 1758)	peixe-lagarto	LC	X					
HOLOCENTRIFORMES								
Holocentridae								
<i>Holocentrus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	jaguareçá	LC	X					
BATRACHOIDIFORMES								
Batrachoididae								
<i>Porichthys porosissimus</i> (Cuvier, 1829)	moreia	LC	X	X	X			
GOBIIFORMES								
Eleotridae								
<i>Dormitator maculatus</i> (Bloch, 1792) (NT)						X		
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1789)						X		X
Gobiidae								
<i>Awaous tajasica</i> (Lichtenstein, 1822)	amboré				X	X	X	X
<i>Bathygobius aff. geminatus</i> Tornabene, Baldwin & Pezold, 2010	amboré	LC	X					
<i>Bathygobius soporator</i> (Valenciennes, 1837)	amboré	LC	X	X	X	X		
<i>Coryphopterus glaucofraenum</i> Gill, 1863	amboré-vidro	LC	X					
<i>Ctenogobius saepepallens</i> (Gilbert & Randall, 1968)	amboré	LC	X					
<i>Gobionellus oceanicus</i> (Pallas, 1770)	amboré				X			
SYNGNATHIFORMES								
Fistulariidae								
<i>Fistularia petimba</i> Lacepède, 1803	peixe-trombeta	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Syngnathidae								
Halicampus crinitus (Jenyns, 1842)	peixe-cachimbo	LC	X					
Hippocampus erectus Perry, 1810	cavalo-marinho	VU	X					
Hippocampus cf. patagonicus Piacentino & Luzzatto, 2004	cavalo-marinho	VU	X					
Microphis lineatus (Kaup, 1856)	peixe-cachimbo			X	X	X		
Pseudophallus mindi (Meek & Hildebrand, 1923)	peixe-cachimbo						X	
Syngnathus folletti Herald 1942	peixe-cachimbo				X			
Dactylopteridae								
Dactylopterus volitans (Linnaeus, 1758)	coió, falso-voador	LC	X		X			
Mullidae								
Mullus argentinae Hubbs & Marini, 1933	trilha	LC	X					
Pseudupeneus maculatus (Bloch, 1793)	trilha	LC	X					
Upeneus parvus Poey, 1852	trilha	LC	X					
SCOMBRIFORMES								
Pomatomidae								
Pomatomus saltatrix (Linnaeus, 1766)	anchova	NT		X				
Scombridae								
Euthynnus alletteratus (Rafinesque, 1810)	serra	LC	X					
Scomberomorus cavalla (Cuvier, 1829)	cavala	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Scomberomorus regalis</i> (Bloch, 1793)	cavala			X				
Stromateidae								
<i>Peprilus xanthurus</i>	gordinho			X				
<i>Peprilus crenulatus</i> (Cuvier, 1829)	gordinho	LC	X	X				
Trichiuridae								
<i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus, 1758	peixe-espada	LC	X	X	X			
CARANGIARIA incertae sedis								
Centropomidae								
<i>Centropomus parallelus</i> Poey, 1860	robalo-peva	LC			X	X	X	X
Polynemidae								
<i>Polydactylus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	parati-barbudo	LC		X	X			
CARANGIFORMES								
Carangidae								
<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	xerelete-amarelo	LC		X				
<i>Caranx ruber</i> (Bloch, 1793)	xerelete-azul	LC	X					
<i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815)	graçainha	LC	X					
<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	xerelete	LC	X	X	X			X
<i>Chloroscombrus chrysurus</i> (Linnaeus, 1766)	palombeta	LC	X	X	X			
<i>Oligoplites saliens</i> (Bloch, 1793)	solteira	LC		X	X			
<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch, 1793)	galo-de-penacho	LC	X					
<i>Selene vomer</i> (Linnaeus 1758)	peixe-galo	LC	X	X	X			

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Trachinotus carolinus</i> (Linnaeus, 1766)	pampo	LC	X	X	X			
<i>Trachinotus falcatus</i> (Linnaeus, 1758)	pampo-galhudo	LC	X	X				
<i>Trachinotus goodei</i> Jordan & Evermann, 1896	pampo	LC	X					
PLEURONECTIFORMES								
Achiridae								
<i>Achirus lineatus</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	linguado	LC			X			
<i>Catathyridium garmani</i> (Jordan, 1889)	linguado					X		
<i>Trinectes microphthalmus</i> (Chabanaud, 1928)	linguado				X			
<i>Trinectes paulistanus</i> (Miranda Ribeiro, 1915)	linguado			X	X	X	X	
Paralichthyidae								
<i>Citharichthys arenaceus</i> Evermann & Marsh, 1900	linguado	LC		X	X	X		
<i>Citharichthys macrops</i> Dresel, 1885	linguado	LC	X		X			
<i>Etropus crossotus</i> Jordan & Gilbert, 1882	linguado	LC		X				
<i>Paralichthys brasiliensis</i> (Ranzani, 1842)	linguado	LC			X			
<i>Paralichthys orbignyanus</i> (Valenciennes, 1839)	linguado	DD	X					
<i>Syacium micrurum</i> Ranzani, 1842	linguado	LC	X					
<i>Syacium papillosum</i> (Linnaeus, 1758)	linguado	LC	X					
Bothidae								
<i>Bothus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)	linguado	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Bothus robinsi Topp & Hoff, 1972	linguado	LC	X					
Cynoglossidae								
Symphurus jenynsi Evermann & Kendall, 1906	língua-de-sogra	LC	X					
Symphurus tessellatus (Quoy & Gaimard, 1824)	língua-de-sogra	LC		X	X			
OVALENTARIA incertae sedis								
Pomacentridae								
Abudefduf saxatilis (Linnaeus, 1758)	sargento	LC	X					
Chromis multilineata (Guichenot, 1853)	tesoura	LC	X					
Stegastes fuscus (Cuvier, 1830)	donzelinha	LC	X					
Stegastes pictus (Castelnau, 1855)	donzelinha	LC	X					
Stegastes variabilis (Castelnau, 1855)	donzelinha	LC	X					
ATHERINIFORMES								
Atherinopsidae								
Atherinella brasiliensis (Quoy & Gaimard, 1825)	peixe-rei	LC	X	X	X			
BELONIFORMES								
Belonidae								
Strongylura marina (Walbaum, 1792)	agulha				X			
Strongylura timucu (Walbaum, 1792)	agulha	LC	X					
Hemiramphidae								
Hemiramphus brasiliensis (Linnaeus, 1758)	agulha	LC	X	X				
Hyporhamphus unifasciatus (Ranzani, 1841)	agulha	NT	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
CYPRINODONTIFORMES								
Poeciliidae								
Phalloceros harpagos Lucinda, 2008	barrigudinho							X
Poecilia vivipara Bloch & Schneider, 1801	barrigudinho					X	X	X
MUGILIFORMES								
Mugilidae								
Mugil curema Valenciennes, 1836	tainha	DD	X	X	X	X	X	
Mugil liza Valenciennes, 1836 (NT)	tainha	NT		X	X	X		
BLENNIIFORMES								
Blenniidae								
Hypleurochilus fissicornis (Quoy & Gaimard, 1824)	maria-da-toca	LC	X					
Parablennius marmoreus (Poey, 1876)	maria-da-toca	LC	X					
Parablennius pilicornis (Cuvier, 1829)	maria-da-toca	LC	X					
Scartella cristata (Linnaeus, 1758)	maria-da-toca	LC	X					
Clinidae								
Ribeiroclinus eigenmanni (Jordan, 1888)	maria-da-toca	LC	X					
Dactyloscopidae								
Dactyloscopus crossotus Starks, 1913		LC	X					
Gobiesocidae								
Gobiesox barbatulus Starks, 1913	peixe-pregador	LC	X					
Labrisomidae								
Labrisomus cricota Sazima, Gasparini & Moura, 2002	maria-da-toca	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Labrisomus nuchipinnis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	maria-da-toca	LC	X					
<i>Malacoctenus delalandii</i> (Valenciennes, 1836)	maria-da-toca	LC	X					
<i>Malacoctenus</i> sp.	maria-da-toca	NA	X					
<i>EUPERCARIA incertae sedis</i>								
Gerreidae								
<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird & Girard, 1855	carapeba	LC	X					
<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	carapeba	LC	X					
<i>Eucinostomus lefroyi</i> (Goode, 1874)	carapeba	LC	X					
<i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)	carapeba	LC		X	X			
<i>Eugerres brasiliensis</i> (Cuvier, 1830)	caratinga	LC	X	X	X	X		
Haemulidae								
<i>Anisotremus surinamensis</i> (Bloch, 1791)	sargo-de-beiço	DD	X					
<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	salema	LC	X					
<i>Boridia grossidens</i> Cuvier, 1830	roncador	LC		X				
<i>Conodon nobilis</i> (Linnaeus, 1758)	coró	LC		X	X			
<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	corcoroca	LC	X					
<i>Haemulon plumieri</i> (Lacepède, 1801)	corcoroca	DD	X					
<i>Haemulon steindachneri</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	corcoroca	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Orthopristis ruber</i> (Cuvier, 1830)	corcoroca	LC	X	X				
<i>Pomadasys ramosus</i> (Poey, 1860)				X	X		X	
Lutjanidae								
<i>Ocyurus chrysurus</i> (Bloch, 1791)	guaiúba	NT	X					
Pomacanthidae								
<i>Holacanthus ciliaris</i> (Linnaeus, 1758)	peixe-anjo	DD	X					
<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	paru, frade	DD	X					
Priacanthidae								
<i>Priacanthus arenatus</i> Cuvier, 1829	olho-de-cão, vermelho	LC	X					
Sciaenidae								
<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i> (Metzelaar, 1919)	cangauá	LC	X					
<i>Cynoscion acoupa</i> (Lacepède, 1801)	pescada	NT	X					
<i>Cynoscion guatucupa</i> (Cuvier, 1830)	goete-maria-mole	LC	X					
<i>Cynoscion jamaicensis</i> (Vaillant & Bocourt, 1883)	goete-verdadeiro	LC	X					
<i>Cynoscion microlepidotus</i> (Cuvier, 1830)	pescada	LC	X					
<i>Cynoscion virescens</i> (Cuvier, 1830)	pescada-branca	LC	X					
<i>Isopisthus parvipinnis</i> (Cuvier, 1830)	pescada	LC	X	X				
<i>Larimus breviceps</i> Cuvier, 1830	canguaguá, cascuda			X				
<i>Macrodon cf. atricauda</i> (Günther, 1880)	pescada-verdadeira	LC	X	X				

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
<i>Menticirrhus americanus</i> (Linnaeus, 1758)	papa-terra	DD		X				
<i>Menticirrhus littoralis</i> (Holbrook, 1847)	papa-terra	DD	X	X				
<i>Micropogonias furnieri</i> (Desmarest, 1823)	corvina	LC	X	X	X	X		
<i>Nebris microps</i> Cuvier, 1830	pescada-banana	LC	X	X				
<i>Odontoscion dentex</i> (Cuvier, 1830)	pescada-de-recife	LC	X		X			
<i>Ophioscion punctatissimus</i> Meek & Hildebrand, 1925	canguá	LC		X				
<i>Paralonchurus brasiliensis</i> (Steindachner, 1875)	maria-luíza	LC	X	X				
<i>Pareques acuminatus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	maria-nagô	DD	X					
<i>Stellifer brasiliensis</i> (Schultz, 1945)	canganguá, cascuda	LC	X	X				
<i>Stellifer rastrifer</i> (Jordan, 1889)	canganguá, cascuda	LC	X	X	X			
<i>Stellifer stellifer</i> (Bloch, 1790)	canganguá, cascuda			X	X			
<i>Sellifer</i> sp.	canganguá, cascuda			X				
<i>Umbrina coroides</i> Cuvier, 1830	castanha	LC	X	X				
LABRIFORMES								
Labridae								
<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	budião	LC	X					
<i>Doratonotus megalepis</i> Günther, 1862	budião	LC	X					
<i>Halichoeres brasiliensis</i> (Bloch, 1791)	budião, sabonete	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Halichoeres poeyi (Steindachner, 1867)	budião, sabonete	LC	X					
Nicholsina usta (Valenciennes, 1840)	budião	LC	X					
Scarus trispinosus Valenciennes, 1840	budião-azul	EN	X					
Sparisoma axillare (Steindachner, 1878)	budião-batata	VU	X					
Sparisoma frondosum (Agassiz, 1831)	budião	VU	X					
Cichlidae								
Crenicichla lacustris (Castelnau, 1855)	jacundá					X	X	X
Geophagus brasiliensis (Quoy & Gaimard, 1824)	acará				X	X	X	X
Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) *	tilápia				X	X		
EPHIPPIFORMES								
Ephippidae								
Chaetodipterus faber (Broussonet, 1782)	enxada, paru-branco	LC	X					
SPARIFORMES								
Sparidae								
Archosargus probatocephalus (Walbaum, 1792)	sargo-de-dente	DD	X	X				
Calamus penna (Valenciennes, 1830)	peixe-pena	LC	X					
Diplodus argenteus (Valenciennes, 1830)	marimbá	LC	X					
Pagrus pagrus (Linnaeus, 1758)	pargo-rosa	NT	X					
CHAETODONTIFORMES								
Chaetodontidae								

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Chaetodon sedentarius Poey, 1860	peixe-borboleta	LC	X					
Chaetodon striatus Linnaeus, 1758	peixe-borboleta	LC	X					
LOPHIIFORMES								
Ogcocephalidae								
Ogcocephalus vespertilio (Linnaeus, 1758)	peixe-morcego	LC	X					
TETRAODONTIFORMES								
Balistidae								
Balistes capriscus Gmelin, 1789	peroá, peixe-porco	DD	X					
Diodontidae								
Chilomycterus reticulatus (Linnaeus, 1758)	baiacu-de-espinhos	LC	X					
Chilomycterus spinosus (Linnaeus, 1758)	baiacu-de-espinhos	LC	X	X	X			
Monacanthidae								
Cantherhines pullus (Ranzani, 1842)	peixe-porco	LC	X					
Stephanolepis hispidus (Linnaeus, 1766)	peixe-porco	LC	X					
Ostraciidae								
Acanthostracion quadricornis (Linnaeus, 1758)	peixe-cofre	LC	X					
Tetraodontidae								
Canthigaster figueiredoi Moura & Castro, 2002	baiacu-de-recife	LC	X					
Lagocephalus laevigatus (Linnaeus, 1766)	baiacu-arara	LC	X					
Lagocephalus lagocephalus (Linnaeus, 1758)	baiacu-arara	LC		X	X			

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (continuação)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Sphoeroides pachygaster (Müller & Troschel, 1848)	baiacu-mirim	LC		X				
Sphoeroides spengleri (Bloch, 1785)	baiacu-mirim	LC	X		X			
Sphoeroides testudineus (Linnaeus, 1758)	baiacu-mirim				X			
Molidae								
Mola mola (Linnaeus, 1758)	peixe-lua	LC	X					
ACANTHURIFORMES								
Acanthuridae								
Acanthurus bahianus Castelnau, 1855	cirurgião	LC	X					
Acanthurus chirurgus (Bloch, 1787)	cirurgião	LC	X					
Acanthurus coeruleus Bloch & Schneider, 1801	cirurgião-azul	LC	X					
PEMPHERIFORMES								
Pempherididae								
Pempheris schomburgkii Müller & Troschel, 1848	piaba-do-mar	LC	X					
CENTRARCHIFORMES								
Kyphosidae								
Kyphosus sp.	pirajica	NA	X					
PERCIFORMES								
Serranidae								
Diplectrum formosum (Linnaeus, 1766)	michole-da-areia	LC	X					
Dules auriga Cuvier, 1829	mariquita-de-penacho	LC	X					
Epinephelus marginatus (Lowe, 1834)	garoupa-verdadeira	VU	X					
Mycteroperca bonaci (Poey, 1860)	badejo-quadrado	VU	X					
Serranus baldwini (Evermann & Marsh, 1899)	badejo-lanterna	LC	X					

Tabela 1 - Lista das 223 espécies registradas nos cinco pontos amostrados no estuário do rio Macaé e no Arquipélago de Santana entre julho de 2011 e março de 2015 (conclusão)

Taxa	Nome comum	Categoria de Ameaça*	Arq. de Santana	Estuário do rio Macaé				
				P0	P1	P2	P3	P4
Scorpaenidae								
Scorpaena brasiliensis Cuvier, 1829	peixe-pedra	LC	X					
Scorpaena isthmensis Meek & Hildebrand, 1928	peixe-pedra	LC	X					
Triglidae								
Prionotus nudigula Ginsburg, 1950	cabrinha	LC	X					
Prionotus punctatus (Bloch, 1793)	cabrinha	LC		X				

São apresentadas na tabela a ordem e família a que as espécies pertencem, assim como o nome popular e seu estado de conservação em nível Nacional de acordo com a seguinte classificação (ICMBio/MMA): LC: Menos Preocupante; NT: Quase Ameaçada; EN: Em Perigo; VU: Vulnerável; CR: Criticamente em Perigo; DD: Dados Insuficientes. Os pontos de coleta no Arquipélago de Santana e ao longo do estuário do rio Macaé (Po a P4) estão indicados na Figura 1.

EFEITO PROTETOR DAS ESTERASES EM TILÁPIAS DO NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) EXPOSTAS AO ORGANOFOSFORADO MASOTEN®

Eduardo Santos Silva (UERJ) · Carlucio Rocha dos Santos (UFRJ) · Rojane Oliveira Paiva (UFRRJ)
Marcos Massao Murata (UERJ) · Artur Pedro do Carmo Moes (UERJ) · Rodolpho Rocha da Silva (IFFluminense)
Juliana Nogueira Berenger (IFFluminense) · Elimayra Carvalho Pacheco Figueiredo (IFFluminense)
Victor Barbosa Saraiva (IFFluminense) · Vicente de Paulo Santos de Oliveira (IFFluminense)
Manildo Marcião de Oliveira (IFFluminense)

Introdução

A aquicultura no Brasil é uma atividade que vem crescendo visando a uma alternativa alimentícia e à contenção da pesca predatória. Portanto, diversas espécies de peixes ganharam importância econômica, como a tilápia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), que representa em torno de 40% da produção total de pescado de cativeiro. Esses animais, no entanto, possuem uma fauna parasitária específica que inclui numerosas espécies de diferentes grupos taxonômicos, tais como crustáceos, fungos, protozoários e helmintos, que podem reduzir a qualidade e produção do pescado (Figura 1). Como consequência, diversas classes de biocidas são usadas pela aquicultura para o combate a esses parasitas. Contudo, além do controle de parasitos, esses compostos também podem gerar efeitos nos peixes cultivados e em grupos não alvo (vida livre) quando a água usada nos tanques de cultivo é devolvida aos cursos d'água¹. Dessa forma, os biocidas passaram a ser alvo de diversos estudos de ecotoxicologia aquática.^{2,3,4}

¹ MAXIMIANO, A.A. *et al.* Utilização de drogas veterinárias, agrotóxicos e afins em ambientes hídricos: demandas, regulamentação e considerações sobre riscos à saúde humana e ambiental. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 483-491, Apr. 2005.

² VENTURINI, F. P. *et al.* Metabolic effects of trichlorfon (Masoten®) on the neotropical freshwater fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish Physiol Biochem**, v. 41, p. 299-309, 2015.

³ CAMPOS, B. G. *et al.* Avaliação ecotoxicológica em piscicultura no parque estadual da Serra do Mar-SP, Núcleo Itariru. **O mundo da Saúde**, v. 38, n.1, p.98-104, 2014.

⁴ CRUZ, C.; MACHADO-NETO, J. G.; MENEZES, M. L. Toxicidade aguda do inseticida paration metílico e do biopesticida azadiractina de folhas de neem (*Azadirachta indica*) para alevino e juvenil de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 14, jan./dez. 2004.

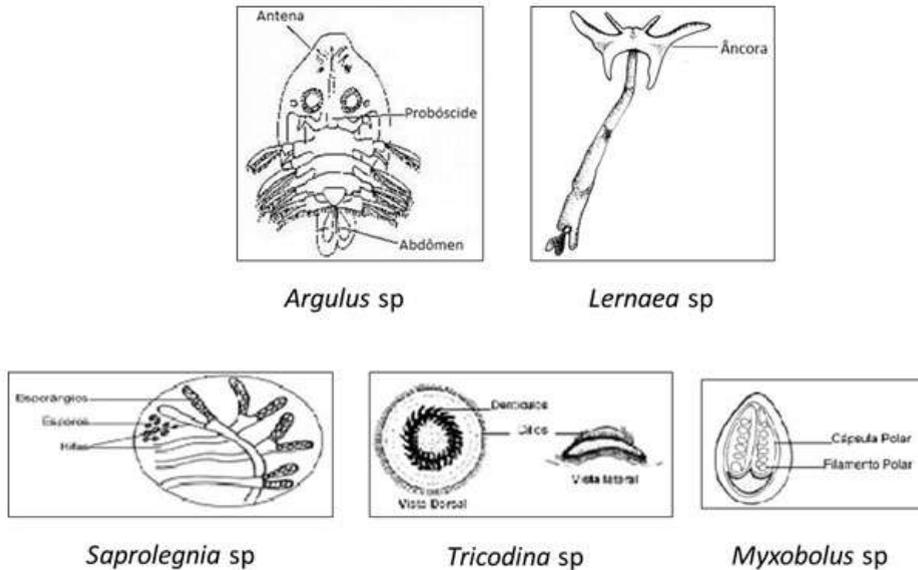


Figura 1: Exemplos de agentes etiológicos e grupos taxonômicos de ictioparasitoses: *Argulus* sp e *Lernaea* sp (crustáceos), *Saprolegnia* sp (fungo), *Tricodina* sp (protozoário) e *Myxobolus* sp (helminto)

Fontes: <http://petbh.com.br/guppy/html/guppy/parasitas.html>; Kumar (1992)⁵ Kubitza. [2000]⁶

Os compostos organofosforados estão entre uma das principais classes de biocidas utilizadas no combate à argulose e lerneose, ectoparasitoses provocadas por crustáceos (*Argulus* sp – piolho-de-peixe e *Lernaea* sp – verme-âncora, respectivamente), com destaque para o paration metílico e o trichlorfon (Figura 2)^{7,8}. O trichlorfon (o,o-dimetil-(1-idroxi-2,2,2-tricloroetil)-fosfonato) é um biocida não sistêmico com ação de contato e ingestão, inibidor de colinesterases como a acetilcolinesterase (AChE) e enquadrado como altamente tóxico (classe I)⁹.

⁵ KUMAR, D. **Fish culture in undrainable ponds: A manual for extension.** Rome: FAO, 1992. 239 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 325).

⁶ KUBITZA, F. **Principais Parasitoses e Doenças em Tilápias.** Disponível em: <http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/revistas/60/doencas.asp>. Acesso em: 11 abr. 2017.

⁷ LUQUE, J. L. Biologia, epidemiologia e controle de parasitos de peixes. **Rev. Bras. Parasitol. Vet.**, v. 13, supl. 1, p. 161-165, 2004.

⁸ LUVIZOTTO-SANTOS, R. et al. O uso de praguicidas nas pisciculturas e pesqueiros situados na bacia do rio Mogi-Guaçu. **B. Inst. Pesca.** v. 35, n.3, p.343-358, 2009.

⁹ ARAUCO, L. R.R.; CRUZ, C.; MACHADO-NETO, J.G. Efeito da presença de sedimento na toxicidade aguda do sulfato de cobre e do trichlorfon para três espécies de *Daphnia*. **Pesticidas: Rev. Ecotoxicol. e Meio Ambiente.** v. 15, p. 55-64, 2005.

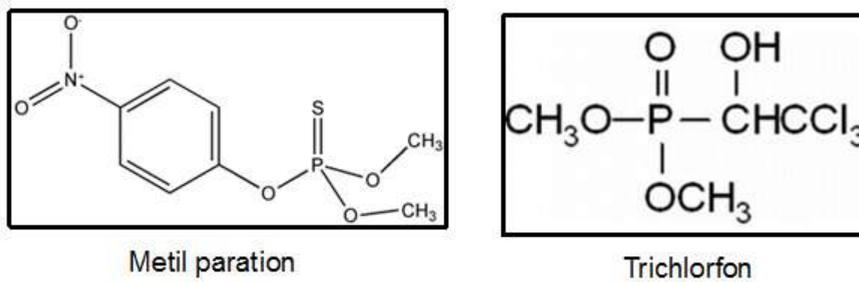


Figura 2: Estruturas de dois organofosforados utilizados em piscicultura

Fontes: Kegley et al. (2016)¹⁰, http://www.pesticideinfo.org/Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=PC35110¹⁰, Insecticide,Herbicide Manufacturer,Eastchem Agricultural Chemical Eco-friendly (<http://www.insecticidechina.com/1-21-trichlorfon.html>)¹²

As esterases são uma importante família de enzimas envolvidas nos processos toxicológicos de organofosforados. Esterases são hidrolases que reagem sobre ésteres, podendo ser classificadas em quatro grupos, usando o critério de inibição: acetilesterase, arilesterase, carboxilesterase e colinesterase (figura 2)¹³.

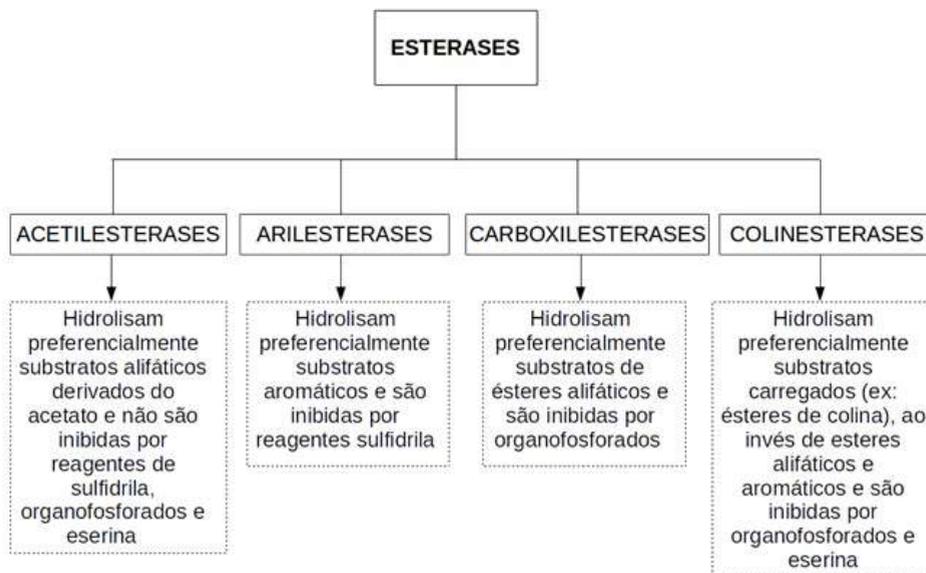


Figura 3 - Classificação de esterases, usando critério de inibidores

Fonte: Adaptado de Montella et al. (2012)

¹⁰ KEGLEY, S.E. et al. **PAN Pesticide Database**. Oakland, CA: Pesticide Action Network, North America, 2016. Disponível em: <http://www.pesticideinfo.org>. Acesso em: 9 set. 2017.

¹¹ *Ibid.*

¹² INSECTICIDE, HERBICIDE MANUFACTURER, EASTCHEM AGRICULTURAL CHEMICAL ECO-FRIENDLY. Disponível em: <http://www.insecticidechina.com/1-21-trichlorfon.html>. Acesso em: 9 set. 2017.

¹³ MONTELLA, I.R.; SCHAMA, R.; VALLE, D. The classification of esterases: an important gene family involved in insecticide resistance: A review. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 107, n.4, p. 437-449, Jun. 2012.

As enzimas colinesterases são esterases capazes de hidrolisar preferencialmente ésteres de colina, sendo encontradas em diversas espécies. Vertebrados apresentam dois tipos de colinesterases: a acetilcolinesterase (AChE - EC¹⁴ 3.1.1.7) e a butirilcolinesterase (BChE - EC 3.1.1.8). A AChE participa das sinapses neuronais e neuromusculares, sendo importante na transmissão do impulso nervoso. A inibição da atividade da AChE é comumente utilizada como biomarcador de efeito de organofosforados e carbamatos no ambiente¹⁵. A BChE é outra classe de colinesterase que, embora não possua atuação fisiológica conhecida, também é usada como biomarcador de efeito dos organofosforados e carbamatos^{16,17}. A carboxilesterase (CarbE EC 3.1.1.1) também é outra esterase pertencente à família da serina-hidrolases e, junto com a BChE, é produzida no fígado e posteriormente liberada no plasma sanguíneo, onde desempenha importante papel na desintoxicação dos organofosforados ao hidrolisar e servir de alvo para a ação desses compostos, impedindo, dessa forma, a inibição da AChE^{18,19}.

Além da inibição enzimática, uma alteração como o aumento da glicemia é também considerada uma das respostas fisiológicas secundárias ao estresse causado por xenobióticos como organofosforados^{20,21}.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar as atividades enzimáticas das esterases e a glicemia em tilápia (*Oreochromis niloticus*), após uma exposição *in vivo* ao biocida trichlorfon, e comparar *in vitro* a inibição da AChE cerebral de *O. niloticus* com a inibição em outras duas espécies de peixe de cultivo (*Astyanax bimaculatus* e *Prochilodus lineatus*) na presença desse mesmo composto.

Metodologia

Todos os procedimentos foram realizados em conformidade com os princípios éticos vigentes, e o presente trabalho foi submetido e aprovado pela Comissão de ética no uso de animais do IFFluminense (protocolo n° 10/2015).

¹⁴ A sigla EC (enzyme commission) é atribuída às enzimas segundo a *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUBMB) de acordo com o tipo de reação que catalisam. E os quatro dígitos que acompanham a sigla referem-se respectivamente a: 1. classe; 2. subclasse dentro da classe; 3. grupos químicos específicos que participam da reação; 4. a enzima, propriamente dita. Ex: AChE, EC 3.1.1.7, sendo: 3- hidrolase. 1- esterase, 1- hidrolases de ésteres carboxílicos, 7- acetilcolinesterase. Disponível em: <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>. Acesso em: 9 set. 2017.

¹⁵ VAN DICK, J. S.; PLETSCHKE, B. Review on the use of enzymes for the detection of organochlorine, organophosphate and carbamate pesticides in the environment. **Chemosphere**, v. 82, p. 291-307, 2011.

¹⁶ MASSON, P.; LOCKRIDGE, O. Butyrylcholinesterase for protection from organophosphorus Poisons; catalytic complexities and hysteretic behavior. **Arch Biochem Biophys**, v. 494, n 2, p. 107, 2010.

¹⁷ SALLES J. B et al. A novel butyrylcholinesterase from serum of *Leporinus macrocephalus*, a Neotropical fish. **Biochimie**, v. 88, n. 1, p. 59-68, 2006.

¹⁸ XING, H. et al. Effects of atrazine and chlorpyrifos on acetylcholinesterase and carboxylesterase in brain and muscle of common carp. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 30, p. 26-30, 2010.

¹⁹ KÜSTER, E. Cholin- and carboxylesterase activities in developing zebrafish embryos (*Danio rerio*) and their potential use for insecticide hazard assessment. **Aquatic Toxicology**, v. 75, n.1, p. 76-85, 2005.

²⁰ NARRA, M. R. et al. The role of vitamin C as antioxidant in protection of biochemical and haematological stress induced by chlorpyrifos in freshwater fish *Clarias batrachus*. **Chemosphere**, v. 132, p. 172-178.

²¹ MAZEAUD, M.M.; MAZEAUD, F.; DONALDSON, E.M. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 106, p. 201-212, 1977.

Desenho experimental

Espécimes de tilápia foram obtidos de aquicultores locais instalados na proximidade do *Campus* Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense). Os animais foram distribuídos em dois tanques de 1.000 L contendo água filtrada por filtro biológico e aerada. Após 15 dias de aclimação, os animais foram distribuídos em quatro reservatórios de 20 L (dois animais em cada), enquanto os quatro animais restantes foram usados como controle e mantidos no tanque de 1000 L. Outro *pool* de tilápias (5 espécimes) foi sacrificado para obtenção de tecido cerebral para ensaio *in vitro* e análise de concentração inibidora de 50% da atividade enzimática (IC₅₀) da acetilcolinesterase em presença de trichlorfon.

Amostras de *Astyanax bimaculatus* (lambari) e *Prochilodus lineatus* (curimatã), fornecidas por aquicultores locais e obtidas em *pool* de 5 espécimes, foram utilizadas para os ensaios *in vitro*.

Exposição ao Masoten® e obtenção dos tecidos

Na água dos reservatórios de ensaio foi adicionado trichlorfon, na formulação comercial Masoten da aquicultura Bayer® (80% de trichlorfon), na concentração de 0,4 mg.L⁻¹. Após 16 horas de exposição ao trichlorfon, os espécimes foram retirados dos reservatórios de ensaio e do tanque controle, anestesiados para a coleta do sangue (em seringas contendo EDTA como anticoagulante), sacrificados por seção da coluna vertebral, medidos, pesados, e uma amostra de músculo foi retirada e congelada em freezer (-20°C).

Processamento do sangue

Após a retirada do sangue de um total de 12 tilápias, as amostras permaneceram por 10 minutos à temperatura ambiente, facilitando a coleta de plasma sanguíneo. Em seguida, foram centrifugadas a 3500 RPM, em centrífuga clínica, por 5 min. O plasma (sobrenadante) foi coletado, armazenado em microtubos de plástico (eppendorff) e armazenados a -20°C até a hora do uso.

Ensaio no sangue e plasma sanguíneo

A concentração sanguínea de glicose foi obtida com o uso de um glicosímetro comercial da marca Accu-Chek Active (Roche®). O ensaio de butirilcolinesterase (BChE) foi realizado usando 50 µL do plasma sanguíneo de tilápia, ácido ditionitrobenzóico (DTNB) concentração final de 0,32 mM, tampão fosfato de sódio 0,1 M pH 7,5 e butiriltiocolina iodeto 1,875 mM. O ensaio foi conduzido em espectrofotômetro em 412 nm (Coeficiente de Extinção Molar 14.150 M⁻¹. cm⁻¹)²². Uma unidade (U) enzimática é definida como quantidade de produto ácido tionitrobenzóico em µmol.min.

²² ELLMAN, G. L. et al. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical Pharmacology**, v. 7, p. 88-95, 1961.

O ensaio da carboxilesterase (CarbE) foi realizado de acordo com Morgan e colaboradores²³. Em solução tampão fosfato de sódio 0,1 mol/L pH 7,7 a 25 °C, foi adicionado o plasma e o substrato p-nitrofenilacetato (p-NPA) em concentração final de 5 mmol/L. O ensaio foi conduzido em espectrofotômetro com leitura da absorvância do p-nitrofenol a 400 nm. O coeficiente de absorvidade molar utilizado foi 13000 mol/L⁻¹. cm⁻¹ para o p-nitrofenol. Uma unidade (U) enzimática é definida como a quantidade de produto p-nitrofenol em µmol.min.

Processamento do músculo e ensaio enzimático

As amostras de músculos foram descongeladas e homogeneizadas com tampão fosfato de sódio 0,1M pH 7,5 na proporção de 1 g de músculo para 19 mL de tampão em aparelho Potter-Elvehjem²⁴. O homogeneizado obtido foi usado no ensaio de colinesterase adaptado do método de Ellman²⁵, 100 µL (diluídos 1:10) de homogeneizado de músculo, ácido ditionitrobenzóico (DTNB) concentração final de 0,32 mM, tampão fosfato de sódio 0,1 M pH 7,5 e acetiltiocolina iodeto 1,875 mM. O ensaio foi conduzido em espectrofotômetro em 412 nm (Coeficiente de Extinção Molar 14.150 mol/L⁻¹. cm⁻¹). Uma unidade enzimática é definida como quantidade ácido tionitrobenzóico (TNB) em µmol.min.

Parâmetros cinéticos e de inibição *in vitro* da acetilcolinesterase cerebral (K_m aparente; V_{Max} , IC50)

Após anestesia e sacrifício, os cérebros foram retirados e armazenados a -20°C. No laboratório, os tecidos foram descongelados e processados com tampão fosfato 0,1 mol/L pH 7,5 acrescido de Triton X-100 0,1% na proporção de 1 grama de tecido úmido por 10 mL de tampão em aparelho do tipo Potter-Elvehjem. O homogeneizado foi centrifugado a 9000.g por 30 min a 4°C, e o sobrenadante foi recolhido para os ensaios cinéticos e de inibição. Para a determinação da Constante de Michaelis-Mentem (K_m) e velocidade máxima (V_{max}), foram usadas concentrações de substrato entre 0,015-15 (0,015; 0,062; 0,12; 0,23; 0,47; 0,94; 1,87; 2,81; 3,75; 7,5; 15,0) mmol/L. Para o ensaio de inibição com trichlorfon, foram usadas as concentrações entre 0,8-80 (0,8; 1,6; 3,2; 6,4; 12,8; 25,6; 51,2; 80) mg.L⁻¹ com período de 60 minutos de incubação. O ensaio enzimático da acetilcolinesterase foi conduzido de acordo com o método descrito para AChE muscular.

Análise estatística

As tabelas foram construídas com o uso do programa Microsoft Excel® para os resultados cinéticos e de inibição *in vitro*. A análise dos resultados e a construção dos gráficos foram feitas com o uso do programa GraphPad Prism 5 (GraphPad Software, San Diego, USA) no experimento *in vivo*. Todos os testes foram realizados com nível de significância de 0,05.

²³ MORGAN, E. et al. Purification and characterization of two rat liver microsomal carboxylesterases (hydrolase A and B). *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 315, p. 495-512, 1994.

²⁴ POTTER V. R. Tissue Homogenates. In: COLOWICK, S. P.; KAPLAN, N. O. (eds.). *Methods Enzymol*, v.1, p. 10-15, 1955.

²⁵ ELLMAN, op. cit., p.6.

Resultados e discussão

Biometria e glicemia

Não foram observadas diferenças significativas de peso e comprimento entre as médias de animais controle e ensaio (Tabela 1). Os níveis sanguíneos de glicose foram mantidos nos dois grupos (controle e ensaio), com maior coeficiente de variação nos animais expostos ao trichlorfon.

Tabela 1 – Biometria e níveis de glicose sanguínea nos espécimes de tilápia (*Oreochromis niloticus*) expostos por 16 horas a 0,4 mg.L⁻¹ de trichlorfon

Experimento	Comprimento (cm)	Peso (g)	Glicose (mg/dL)
Controle	17,13 ± 1,55 (4)	92,75 ± 20,71 (4)	73,25 ± 17,27 (4)
Ensaio	17,43 ± 2,37 (8)	105,38 ± 42,28 (8)	77,88 ± 27,24 (8)

Legenda - média ± desvio padrão; Parênteses = número de indivíduos; Comprimento (cm) = Comprimento total em centímetros; Peso (g) = Peso em gramas; Glicose (mg/dL) = Concentração de glicose por decilitro de sangue

A concentração de 0,4 mg.L⁻¹ é uma concentração acima da recomendação do fornecedor, que é de 0,25 mg.L⁻¹. Contudo, podemos considerá-la ainda como subletal, pois, ao longo de 16 horas de exposição, nenhum animal apresentou sinais comportamentais evidentes de intoxicação, como alteração no comportamento de natação, aumento do movimento opercular e letargia²⁶. A dosagem de glicose realizada nos peixes do experimento demonstrou que a exposição ao trichlorfon não desencadeou um quadro de hiperglicemia como uma resposta secundária ao estresse fisiológico²⁷. A glicemia alterada para o estado hiperglicêmico é um indicativo de estresse fisiológico desencadeado normalmente pela liberação de cortisol no sangue, que é caracterizada como a resposta primária ao estresse^{28,29}. Em experimentos de exposição aguda como o realizado por Langiano³⁰ em *Prochilodus lineatus* (curimatás), ocorreu hiperglicemia após diferentes tempos de exposição a 10 mg.L⁻¹ de glifosato (Roundup). Em contrapartida, concentrações crônicas (1,58 mg.L⁻¹) do mesmo herbicida em *Leporinus macrocephalus* (piavaçu) não promoveram alteração na glicemia³¹. Assim, é possível que a concentração do organofosforado usada em nosso trabalho não tenha sido suficiente para desencadear um quadro de hiperglicemia, podendo esse tipo de estresse ocorrer em concentrações mais altas.

²⁶ DEB, N.; DAS, S. Chlorpyrifos toxicity in fish: A Review. **Curr World Environ.**, v. 8, n.1, p. 77-84, 2013.

²⁷ MARTÍNEZ-PORCHAS, M.; MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R.; RAMOS-ENRIQUEZ, R. Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress? **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 4, n. 2, p. 158-178, 2009.

²⁸ *Ibid.*

²⁹ WAGNER, E.J.; DRISCOLL, D.M. Physiological stress responses of cutthroat trout to loading by fish pump, conveyor, or dip net. **Journal of applied Aquaculture**, v. 4, n.1, p. 19-27, 1994.

³⁰ LANGIANO, V.C. **Toxicidade do Roundup e seus efeitos para o peixe neotropical *Prochilodus lineatus***. 62f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2006.

³¹ ALBINATI, A.C.L. et al. Biomarcadores histológicos - toxicidade crônica pelo Roundup em piavaçu (*Leporinus macrocephalus*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 61, n.3, p. 621-627, 2009.

Esterases plasmáticas

Observamos inibição significativa de esterases plasmáticas de tilápias após 16 horas de exposição ao trichlorfon em comparação com animais controle. A enzima butirilcolinesterase (ChE) apresentou uma média de inibição de 90,7% (Figura 4).

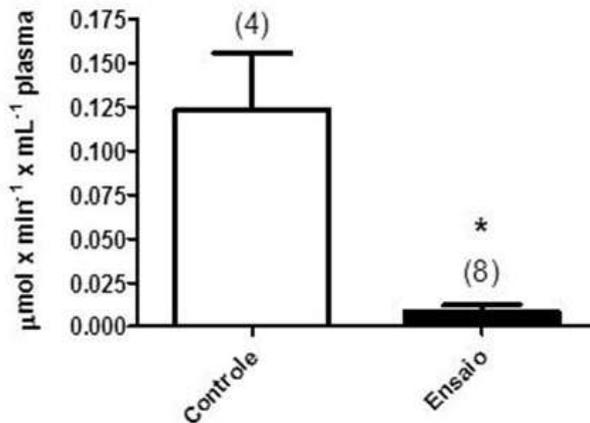


Figura 4 - Atividade da butirilcolinesterase plasmática em tilápias expostas a 0,4 mg.L⁻¹ de trichlorfon (Masoten®) por 16 horas. *Indica diferença significativa entre as médias segundo teste T de Student (p<0,05)

Os números entre parênteses indicam o número de indivíduos que tiveram suas atividades de BChE plasmática determinadas.

A enzima butirilcolinesterase é uma colinesterase inibida por um amplo espectro de organofosforados e carbamatos sintéticos ou naturais, provocando um efeito de proteção para a acetilcolinesterase. O fato de estar ausente ou em baixas concentrações em alguns indivíduos diminui a tolerância à intoxicação por estas neurotoxinas, sendo por este motivo considerada como uma enzima com função desintoxicadora e, portanto, uma enzima biomarcadora de exposição de organofosforados, mesmo em baixas concentrações desse xenobiótico^{32,33}. De fato, a espécie *Leporinus macrocephalus* (piavuçu) possui uma alta atividade dessa enzima no plasma sanguíneo, o que lhe confere importante proteção diante da exposição a organofosforados³⁴. Em nosso experimento, apesar da baixa atividade apresentada pelas tilápias para essa enzima, a alta inibição da butirilcolinesterase plasmática demonstrou que houve absorção do trichlorfon e evidenciou a sensibilidade dessa enzima a esse organofosforado. A atividade butirilcolinesterase, de músculo de tilápias, também é inibida quando elas são expostas a outros poluentes anticolinérgicos no ambiente³⁵.

³² MASSON, P.; LOCKRIDGE, O. Butyrylcholinesterase for protection from organophosphorus Poisons; catalytic complexities and hysteretic behavior. **Arch Biochem Biophys**, v. 494, n. 2, p. 107, 2010.

³³ DUYSEN, E.G. et al. Sensitivity of butyrylcholinesterase knockout mice to (-)-huperzine A and donepezil suggests humans with butyrylcholinesterase deficiency may not tolerate these Alzheimer's disease drugs and indicates butyrylcholinesterase function in neurotransmission. **Toxicology**, v. 233, n.1-3, p.60-69, 2007.

³⁴ SALLES et al., 2006, *op. cit.*, p.4.

³⁵ GOLD-BOUCHOT, G. et al. Biomarkers and pollutants in the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in four lakes from San Miguel, Chiapas, Mexico. **International Journal Environmental and Pollution**, v. 26, n. 1/2/3, 2006.

A carboxilesterase apresentou menor grau de inibição (45,8%) após a exposição ao trichlorfon (Figura 5).

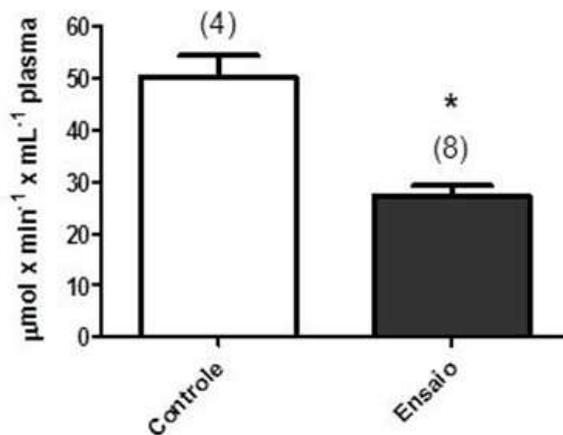


Figura 5: Atividade da carboxilesterase plasmática em tilápias expostas a 0,4 mg.L⁻¹ de trichlorfon (Masoten®) por 16 horas

*Indica diferença significativa entre as médias segundo teste T de Student ($p < 0,05$). Os números entre parênteses indicam o número de indivíduos que tiveram suas atividades de carboxilesterase plasmática determinadas.

A carboxilesterase é outra enzima que também possui um importante papel na biomarcação de exposição a organofosforados^{36,37}, atuando na desintoxicação dos organofosforados por meio do sequestro desse xenobiótico³⁸ e, dessa forma, protegendo a acetilcolinesterase³⁹. Isoenzimas de carboxilesterase também foram estudadas em muco de pele de *Cirrhinus mrigala* (Mrigal), como biomarcador de exposição a organofosforado (Nuvan®, 76% de dichlorvos) em concentrações entre 5-15 mg.L⁻¹⁴⁰. Além disso, a inibição da atividade de carboxilesterase em cérebros de carpa também pode ser usada como biomarcador secundário contra exposição a organofosforados⁴¹. Neste estudo atual, a carboxilesterase plasmática foi inibida pelo trichlorfon, confirmando sua eficácia como biomarcador. Resultados semelhantes também foram encontrados por Pathiratne e George⁴² em carboxilesterases de fígados de tilápias expostas a 3 ppm do organofosforado malation durante 24 horas. Deve ser ressaltado que a atividade de

³⁶ XU, Y. et al. Regulations of xenobiotics and endobiotics on carboxylesterases: A Comprehensive Review. **European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics**, p. 1-10, 2016.

³⁷ SATOH, T.; HOSOKAWA, M. The mammalian carboxylesterases: from molecules to functions. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 38, p. 257-288, 1998.

³⁸ Xenobióticos (do grego, xenos = estranho) são compostos químicos estranhos a um organismo ou sistema biológico. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Xenobi%C3%B3tico>. Acesso em: 9 set. 2017.

³⁹ ABBAS, R.; HAYTON, W.L. A physiologically based pharmacokinetic and pharmacodynamic model for paraoxon in Rainbow trout. **Toxicol. Applied Pharmacol.**, San Diego, v. 145, p. 192-201, 1997.

⁴⁰ NIGAM, A. K. et al. Characterization of carboxylesterase in skin muçus of *Cirrhinus mrigala* and its assessment as biomarker of organophosphate exposure. **Fish Physiol Biochem**, v. 40, p. 635-644, 2014.

⁴¹ XING, H. et al. Effects of atrazine and chlorpyrifos on acetylcholinesterase and carboxylesterase in brain and muscle of common carp. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 30, p. 26-30, 2010.

⁴² PATHIRATNE, A.; GEORGE, S. G. Toxicity of malathion to nile tilapia, *Oreochromis niloticus* and modulation by other environmental contaminants. **Aquatic Toxicology**, v. 43, p. 261-271, 1998.

carboxilesterase no plasma das tilápias deste trabalho foi cerca de 500 vezes maior do que a de butirilcolinesterase, sendo assim mais importante na desintoxicação de xenobióticos nessa matriz. No entanto, isso pode variar de acordo com a espécie estudada. De fato, Abass⁴³, ao estudar esterases de *Coturnix coturnix japonica*, observou que a atividade de butirilcolinesterase no plasma é cerca de 10 vezes maior do que a de CarbE. O perfil de inibição de esterases frente ao trichlorfon, porém, é semelhante ao encontrado nas tilápias, em que as BChE são mais sensíveis do que as CarbE.

Colinesterase muscular

A atividade de Colinesterase muscular teve uma porcentagem de 73% de inibição após 16 horas de exposição a Masoten (Figura 6).

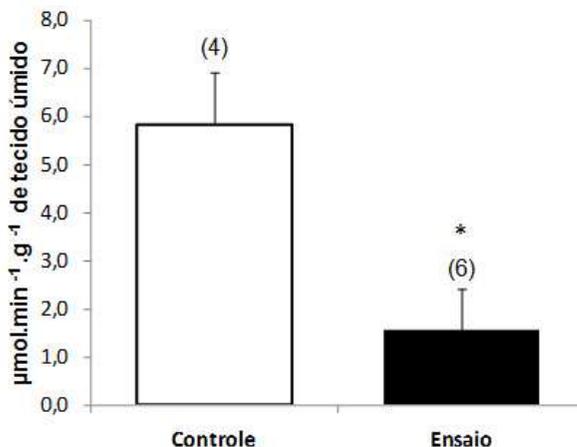


Figura 6 - Atividade da colinesterase muscular em tilápias expostas a 0,4 mg.L⁻¹ de trichlorfon (Masoten®) por 16 horas

*indica diferença significativa entre as médias segundo teste T de Student ($p < 0,05$). Os números entre parênteses indicam o número de indivíduos que tiveram suas atividades de carboxilesterase plasmática determinadas.

A acetilcolinesterase em músculo é normalmente utilizada como um dos principais biomarcadores de exposição a organofosforados^{44,45}. Entretanto, aqui chamaremos as colinesterases encontradas no músculo apenas de colinesterases, pois recentemente observou-se que, com a tilápia, a atividade colinesterásica realizada por diferentes substratos de cadeia alquílica de tamanho variável (acetiltiocolina, propioniltiocolina e butiriltiocolina) não evidenciou prevalência na reação de hidrólise a

⁴³ ABASS, K. S. A Method for Fast Assessment of OP/CB Exposure in the Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*) Using Combined Esterases Enzyme Activity as Biomarkers. **Enzyme Research**, v. 201, p. 1-15, 2014.

⁴⁴ ALVES, L. M. et al. The potential of cholinesterases as tools for biomonitoring studies with sharks: Biochemical characterization in brain and muscle tissues. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 465, p. 49-55, 2015.

⁴⁵ XING et al., op. cit., p.5.

nenhum dos substratos testados em enzimas solubilizadas com NaCl e detergente não iônico⁴⁶. Lopes e colaboradores⁴⁷ ressaltam a importância dos métodos de extração da acetilcolinesterase da placa motora, indicando que, sem utilização de detergentes e força iônica adequados, não é possível afirmar que as colinesterases tenham sido extraídas, e muito provavelmente o resultado obtido pode ser apenas de esterases solúveis.

Guimarães e colaboradores⁴⁸, expondo *Oreochromis niloticus* por até 96 horas a uma concentração de 0,25 mg.L⁻¹ de trichlorfon, observaram uma inibição acima de 20% de acetilcolinesterase muscular quando comparado aos animais controle, sendo também observadas alterações histológicas nas brânquias. Em outro estudo, indivíduos de *Piaractus mesopotamicus* (Pacu) submetidos a uma concentração subletal de trichlorfon (8,4 µg.L⁻¹), durante o intervalo de 96 horas, não apresentaram inibição da acetilcolinesterase muscular durante a exposição, sendo, contudo, observada uma inibição de até 31% durante o período de recuperação⁴⁹. Em nosso estudo, a colinesterase muscular foi inibida acima de 50%, após a exposição de 16 horas, sem que os animais morressem. Uma explicação para a resistência de peixes a organofosforados, quando comparados com outros vertebrados, envolve a constante bimolecular (k_i), que em geral é menor em peixes quando eles são comparados a outros vertebrados, indicando menor sensibilidade^{50,51}.

Os parâmetros cinéticos obtidos *in vitro* para a acetilcolinesterase cerebral de três espécies de água doce mostrou uma discrepância de valores de constante de Michaelis-Menten ($K_{M\text{aparente}}$) e sensibilidade (IC₅₀) entre a *O. niloticus* e o *P. lineatus* (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros cinéticos *in vitro* de acetilcolinesterase cerebral de tilápia comparada com a de lambari e curimatá

Espécies	$K_{M\text{ap}}$ (µmol.L ⁻¹)	$V_{M\text{ax}}$ (mU.mL ⁻¹)	IC ₅₀ (mg.L ⁻¹)
Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	0,044 ± 0,015	4,03 ± 0,58	1,85 ± 0,12
Lambari (<i>Astyanax bimaculatus</i>)	0,045 ± 0,026	3,529 ± 1,222	0,99
Curimatá (<i>Prochilodus lineatus</i>)	0,259 ± 0,099	6,320 ± 2,568	0,028

Legenda: $K_{M\text{ap}}$: Constante de Michaelis-Menten aparente de acetilcolinesterase representa a concentração de substrato na qual a atividade enzimática atingiu metade da velocidade máxima; $V_{M\text{ax}}$: Velocidade máxima de acetilcolinesterase representa a maior atividade enzimática que a enzima atinge e depende da concentração da enzima no tecido considerado; IC₅₀: Concentração de trichlorfon necessária para inibir 50% da atividade *in vitro* de acetilcolinesterase.

⁴⁶ LOPES, R.M. et al. Cholinesterase activity of muscle tissue from freshwater fishes: Characterization and sensitivity analysis to the organophosphate methyl-paraoxon. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.33, n.6, p.1331-1336, 2014.

⁴⁷ LOPES et al., *op. cit.*, p. 12.

⁴⁸ GUIMARÃES, A.T.B.; SILVA DE ASSIS, H.C.; BOEGERA, W. The effect of trichlorfon on acetylcholinesterase activity and histopathology of cultivated fish *Oreochromis niloticus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 57-62, 2007.

⁴⁹ VENTURINI, F. P. et al. Metabolic effects of trichlorfon (Masoten®) on the neotropical freshwater fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish Physiol Biochem.**, v. 41, p. 299-309, 2015.

⁵⁰ CARR, R. L.; CHAMBERS, J. E. Kinetic Analysis of their VitroInhibition, Aging, and Reactivation of Brain Acetylcholinesterase from Rat and Channel Catfish by Paraoxon and Chlorpyrifos-oxon. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 139, p. 365-373, 1996.

⁵¹ KEMP, J. R.; WALLACE, K. B. Molecular determinants of the species-selective inhibition of brain acetylcholinesterase. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v.104, n. 2, p. 246-258, 1990.

Silva Filho e colaboradores⁵² compararam k_i e IC₅₀ para o metil paraoxon, outro organofosforado, em acetilcolinesterase cerebral de espécies de peixes neotropicais (por exemplo, *Piaractus mesopotamicus* IC₅₀ - 3108 nM) encontrados no Brasil e constatou que todos os peixes analisados são mais resistentes que galinhas (IC₅₀ - 37 nM) e ratos (IC₅₀ - 29 nM). Contudo, mesmo entre as espécies de peixes analisadas, existem variações de sensibilidade que podem chegar a uma ordem de grandeza^{53,54}.

Para verificar se realmente poderemos encontrar diferenças importantes de sensibilidades de colinesterases a organofosforados em peixes, compararam-se à tilápia outras duas espécies de peixes de água doce comuns em rios brasileiros: *Astyanax bimaculatus* e *Prochilodus lineatus*. No estudo comparativo *in vitro* das acetilcolinesterases cerebrais de *O. niloticus*, *A. bimaculatus* e *P. lineatus*, o resultado foi semelhante ao encontrado por Silva Filho e colaboradores⁵⁵. Os valores de IC₅₀ de acetilcolinesterase cerebral de *O. niloticus* após exposição ao trichlorfon foi maior quando comparado com as outras duas espécies analisadas, chegando a duas ordens de grandeza em comparação com *P. lineatus*, indicando que a tilápia é menos sensível a esse organofosforado. Ainda observamos o mesmo padrão com os resultados K_M aparente. O valor dessa constante é menor *O. niloticus*, o que pode estar relacionado com a velocidade de dissociação durante a formação do complexo enzima inibidor (EI). Em recente trabalho *in vitro* relata-se que quando a acetilcolinesterase cerebral de *O. niloticus* (tilápia), *Arapaima gigas* (pirarucu) e *Rachycentron canadum* (cobia) foi exposta a organofosforados e carbamatos, também foram encontrados valores de IC₅₀ semelhantes ao do nosso estudo para dois organofosforados (Dichlorvos - 5,4 $\mu\text{mol.L}^{-1}$; Clorpirifos - 26,78 $\mu\text{mol.L}^{-1}$)⁵⁶. Ressalta-se que, após longos períodos, mesmo baixas concentrações de trichlorfon podem se converter em dichlorvós, mantendo o efeito tóxico por mais tempo⁵⁷.

Em conjunto, nossos dados indicam cautela no uso de trichlorfon na dosagem indicada pelo fornecedor (0,25 mg.L^{-1}), em especial para espécies mais sensíveis como *P. lineatus*, podendo resultar em efeitos tóxicos e até mesmo morte de animais em cultivo. Ressalta-se ainda que o uso desse composto para o controle de ectoparasitas em tilápias, embora visualmente inócuo para essa espécie, pode resultar em impacto ambiental, uma vez que sua lixiviação e/ou escape para outros compartimentos aquáticos pode afetar outras espécies.

Conclusões

As espécies de peixes cultivadas no Brasil apresentam diferentes sensibilidades a organofosforados. Com relação ao trichlorfon, componente do produto comercial Masoten®, usado como ectoparasiticida, observamos que a espécie *Oreochromis*

⁵² SILVA FILHO, M. V. et al. Methyl-paraoxon comparative inhibition kinetics for acetylcholinesterases from brain of neotropical fishes. **Toxicology Letters**, v. 153, p. 247-254, 2004.

⁵³ ASSIS, C. R. D. et al. Comparative effect of pesticides on brain acetylcholinesterase in tropical fish. **Science of the Total Environment**, v. 441, p. 141-150, 2012.

⁵⁴ OLIVEIRA, M.M. et al. Brain acetylcholinesterase as a marine pesticide biomarker using Brazilian fishes. **Marine Environmental Research**, v. 63, n. 4, p. 303-312, 2007.

⁵⁵ SILVA FILHO et al., *op. cit.*, p.13.

⁵⁶ ASSIS et al., *op. cit.*, p.13.

⁵⁷ GUIMARÃES et al., *op. cit.*, p.12.

niloticus (tilápia-do-nilo) apresentou resistência ao composto. As esterases estudadas no plasma sanguíneo e no músculo foram inibidas em experimento *in vivo* conduzido durante 16 horas. Estudos de parâmetros cinéticos *in vitro* da acetilcolinesterase cerebral confirmaram a maior resistência que a espécie apresenta ao trichlorfon, principalmente quando comparada à espécie *Prochilodus lineatus* (curimatã).

Os resultados alertam que políticas de incentivo à atividade de piscicultura que envolver toda uma cadeia produtiva baseada em espécies exóticas podem estimular o uso de compostos químicos tóxicos em quantidades mais elevadas. Tais práticas favorecem as grandes corporações que comercializam esses produtos, em detrimento do uso manejado que diminui o risco de contaminação ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos servidores do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do IFFluminense pelo apoio logístico para a realização deste trabalho.

LAGOAS COSTEIRAS COMO UM LABORATÓRIO NATURAL PARA O ESTUDO DO METANO: FERRAMENTA PARA O MANEJO ECOSSISTÊMICO DE CORPOS D'ÁGUA

Claudio Cardoso Marinho(UFRJ)

Introdução

Metano e efeito estufa

O metano (CH_4) é um dos mais importantes dos considerados gases de efeito estufa. Essa importância está associada ao aumento da sua concentração e do seu alto poder de absorção da radiação infravermelha. Resultados recentes apontam para um aumento considerável da concentração de metano na atmosfera (Figura 1)¹. Esses resultados se aproximam do pior cenário (sigla RCP8.5 – Figura 1) de emissões do IPCC (Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas). Apesar da origem dessas emissões ainda não ser totalmente clara, em função das incertezas em relação às estimativas, pode-se apontar que: (1) Um dos principais responsáveis pelo aumento da emissão de metano no mundo seria a agricultura; (2) A agricultura é seguida pelos combustíveis fósseis; (3) Na América do Sul, os corpos d'água, incluindo as áreas alagadas, lideram as emissões de metano.

¹ SAUNOIS, M. *et al.* The growing role of methane in anthropogenic climate change. **Environmental Researches Letters**, v. 11, p. 1-5, 2016.

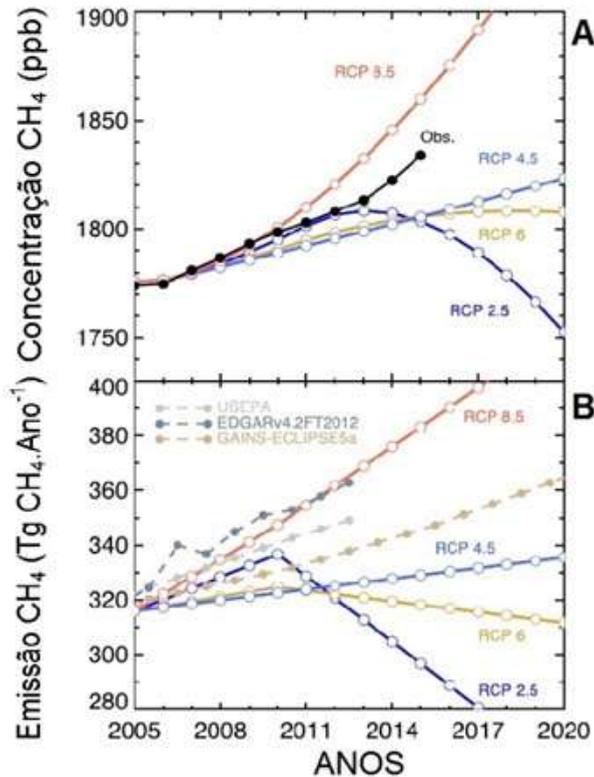


Figura 1 - Projeções da concentração de metano atmosférico (A) em diferentes cenários (RCP) e observados (Obs.). Emissão de metano (B) de origem antropogênica, em quatro cenários (siglas RCP) plotados juntos a partir de três inventários recentes (siglas EDGARv4.2FT2012, USEPA e GAINS-ECLIPSE5a)²

Metano em ecossistemas aquáticos

A produção de metano (metanogênese), realizada por um grupo de microrganismos denominados metanogênicos, é um dos mais importantes processos de degradação da matéria orgânica (MO) em sedimentos aquáticos³. A metanogênese depende fundamentalmente da presença de substrato e de anaerobiose⁴. Nas camadas superficiais do sedimento, cerca de alguns milímetros, ocorrem os processos aeróbicos (Figura 2). Com a extinção do oxigênio, começam a ocorrer os processos anaeróbicos, como a metanogênese. O metano em aerobiose pode ser oxidado a dióxido de carbono (CO₂) por meio da ação de bactérias denominadas metanotróficas. Essas bactérias estão presentes nas camadas superficiais do sedimento ou na coluna d'água, regiões normalmente oxigenadas.

² SCHULZ, S.; CONRAD, R. Effect of algal deposition on acetate and methane concentrations in the profundal sediment of a deep lake (Lake Constance). *FEMS Microbiology Ecology*. v.16, p. 251-260, 1995.

³ ZINDER, S. H.. Physiological ecology of methanogens. In: FERRY, J. G. (ed.). *Methanogenesis*. New York: London: Chapman & Hal, 1993. p. 253-303.

A emissão do metano para a atmosfera, via coluna d'água, pode ocorrer por duas vias: (1) por difusão em meio aquoso; ou (2) através da formação de bolhas. Esta última é significativamente importante quando o metano é encontrado em altas concentrações no sedimento e em ecossistemas aquáticos rasos, diminuindo a possibilidade de ocorrer oxidação na coluna d'água (Figura 3).

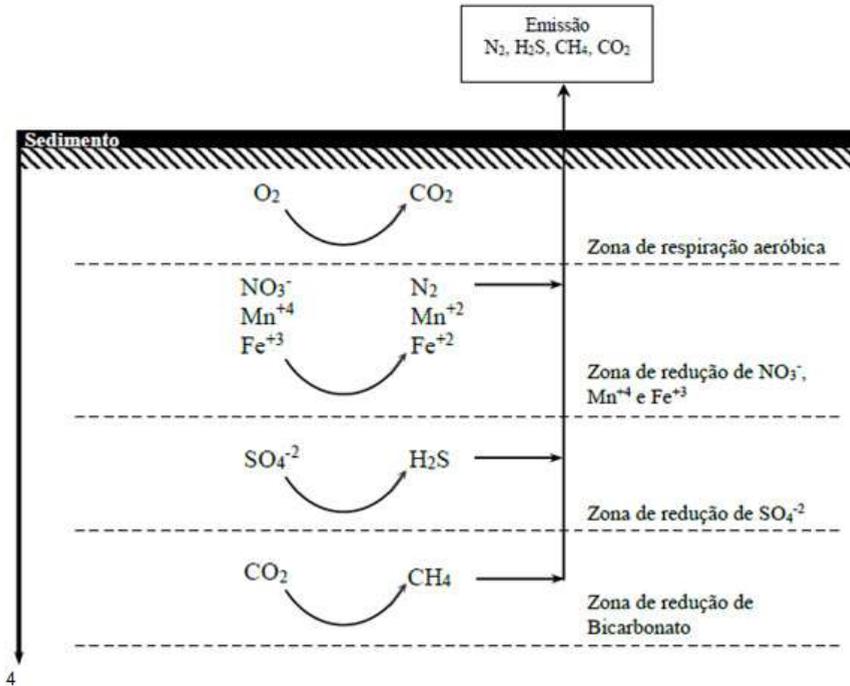


Figura 2 - Estratificação vertical das principais reações realizadas por microrganismos no sedimento de ecossistemas aquáticos

Outro mecanismo de emissão em ambientes aquáticos consiste na liberação do metano para atmosfera através do sistema lacunar das macrófitas aquáticas⁵. A exportação direta do metano via sistema lacunar das macrófitas minimiza o efeito da metanotrofia nas regiões aeróbicas, como as camadas superficiais do sedimento e a coluna d'água. A emissão de metano via macrófitas aquáticas é muito importante, principalmente com relação a macrófitas aquáticas emersas. Essas espécies possibilitam a passagem do metano do sedimento (produção) direto para a atmosfera.

Podemos afirmar que o controle da emissão de metano para atmosfera, nos ecossistemas aquáticos, está associado a fatores como:

⁴ MARINHO, C. C. *et al.* Resultados e perspectivas sobre o estudo do metano nas lagoas costeiras da restinga de Jurubatiba e na Lagoa Imboassica na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: ROCHA, C. F. D.; ESTEVES, F. A.; SCARANO, F. R. (orgs.). **Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba**: ecologia, história natural e conservação. São Carlos: RIMA, 2004. cap. 16, p. 273-294.

⁵ TYLER, S.C. The global methane budget. In: ROGERS, J.E.; WHITMAN (eds.). **Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases**: Methane, Nitrogen Oxides and Halomethanes. Washington, W.B.: American Society for Microbiol., 1991. p 7-38.

- 1) Produção de metano (metanogênese);
- 2) Consumo de metano (metanotrofia);
- 3) Solubilidade desse gás associada a fatores como a salinidade e temperatura;
- 4) Variação do nível da água (pressão hidrostática);
- 5) Ação do vento;
- 6) Presença de macrófitas aquáticas.

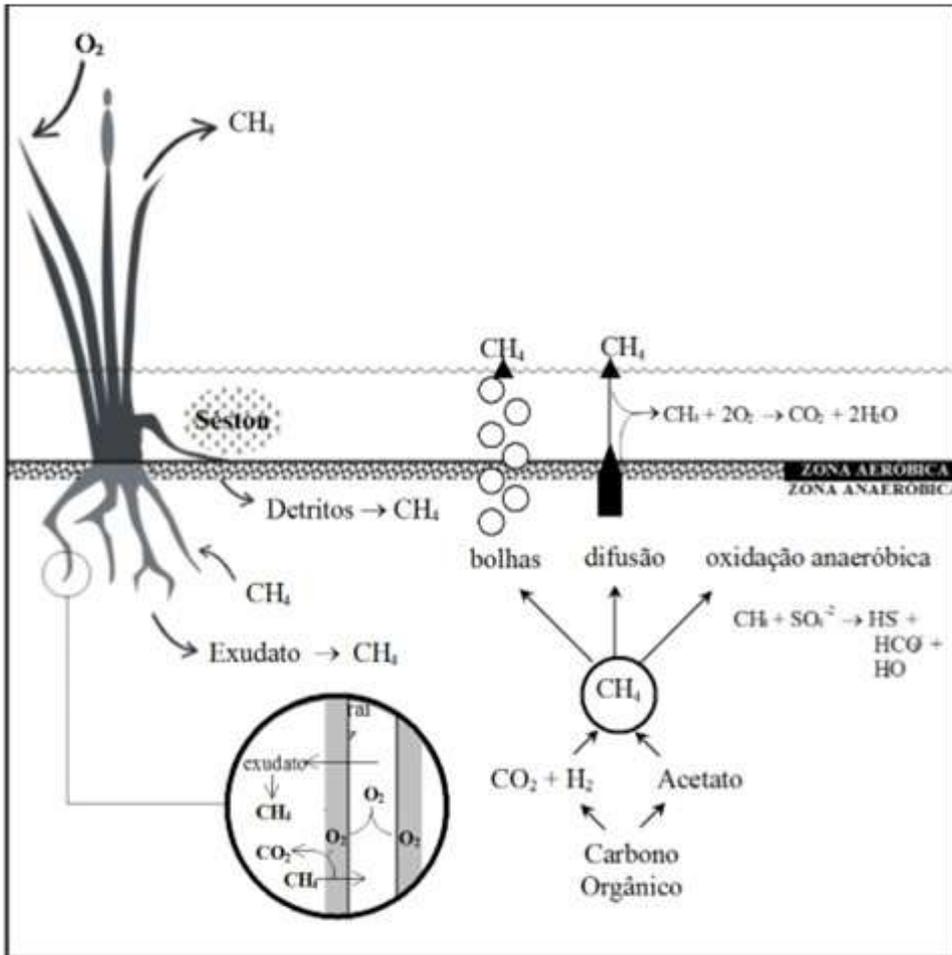


Figura 3 - Esquema dos processos de metano no sedimento e na coluna d'água nos ecossistemas aquáticos continentais. A ilustração em destaque representa os processos ocorrendo na rizosfera e no interior das raízes das macrófitas aquáticas⁶

⁶ MARINHO, C. C. *et al.* Resultados e perspectivas sobre o estudo do metano nas lagoas costeiras da restinga de Jurubatiba e na Lagoa Imboassica na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro, *op. cit.*

Metodologias utilizadas para o estudo do metano nas lagoas costeiras do litoral norte do Rio de Janeiro

Concentração de metano na água

Para determinação da concentração de metano na água, são utilizados seringa e frascos de vidro (**exetainers**), lacrados com septo de borracha (figura 4). Seguem as orientações para coleta do material passo a passo:

- 1) Adicionar previamente uma quantidade equivalente a 20% (p/v) de NaCl nos frascos, fechando com septo ou tampa de plástico com septo de borracha;
- 2) No campo, com auxílio de uma seringa com agulha, retirar previamente ar do **exetainer** para “fazer vácuo”;
- 3) Coletar água com seringa. Após coleta, adaptar agulha na seringa, introduzindo a amostra de água no frasco com NaCl, através do septo de borracha;
- 4) Armazenar o frasco de cabeça para baixo, evitando perda de material;
- 5) No laboratório, retirar uma alíquota da atmosfera interna e injetar num cromatógrafo gasoso para determinação da concentração de metano.

Concentração de metano no sedimento

Coleta-se sedimento, via draga ou coletor tipo Kajak com tubo de acrílico acoplado. No caso desse último equipamento, é possível a obtenção de uma amostra sem misturar as camadas do sedimento. Após a coleta, o material pode ser transportado para o laboratório, ou se pode realizar o devido fracionamento e retirada das alíquotas no campo, de acordo com os seguintes passos (Figura5):

- 1) Adicionar alíquotas de 5g (ou 5ml) de sedimento úmido em frascos de vidro (tipo penicilina) de 25ml;
- 2) Adicionar 5ml de hidróxido de sódio (NaOH 4%) ou solução saturada de NaCl, para inativação da atividade biológica e expulsão de CH_4 ;
- 3) Rapidamente, colocar o septo de borracha e lacre de alumínio;
- 4) Lacrar utilizando alicate apropriado;
- 5) Posteriormente, analisar o material para determinação da concentração de metano por meio de cromatografia gasosa.

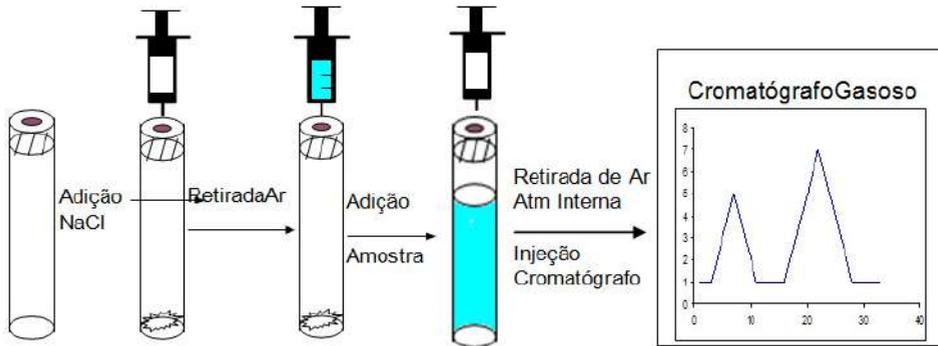


Figura 4 - Esquema representativo das etapas envolvidas na determinação da concentração de metano na água

Produção Potencial de Metano

Para obtenção da produção potencial de metano, determina-se a concentração desse gás na atmosfera interna dos frascos (*headspace*) onde o sedimento foi incubado. Utilizando-se essa técnica, podem ser determinadas taxas potenciais de metano. Esse procedimento segue os seguintes passos (Figura 6):

- 1) Acondicionar alíquotas de 5g de sedimento úmido e 5mL de água da própria lagoa autoclavadas (ou filtradas em filtro 0,2µm) em frascos de vidro de 25mL;
- 2) Após a colocação de septo de borracha, lacrar os frascos com lacre de alumínio;
- 3) Lacrar utilizando alicate apropriado;
- 4) Realizar fluxo de gás nitrogênio (N_2) nos frascos para eliminação de metano residual e obtenção de anaerobiose. Devem ser utilizadas duas agulhas, uma para introdução do gás e outra para saída do excesso, evitando o aumento da pressão interna;
- 5) Manter o material em temperatura controlada (ex.: câmaras de incubação);
- 6) Determinar a concentração de metano na atmosfera interna dos frascos em períodos pré-estabelecidos;
- 7) A determinação da concentração de metano na atmosfera interna dos frascos deve ser realizada, via cromatografia gasosa, até sua estabilização ou tendência a estabilização (Figura7).

Fluxo de metano do sedimento

Esse procedimento é utilizado com o objetivo de avaliar a atividade do sedimento, minimizando os efeitos provocados pela manipulação, tais como:

- 1) Mistura das frações do sedimento;
- 2) Oxigenação das frações que estavam em anaerobiose.

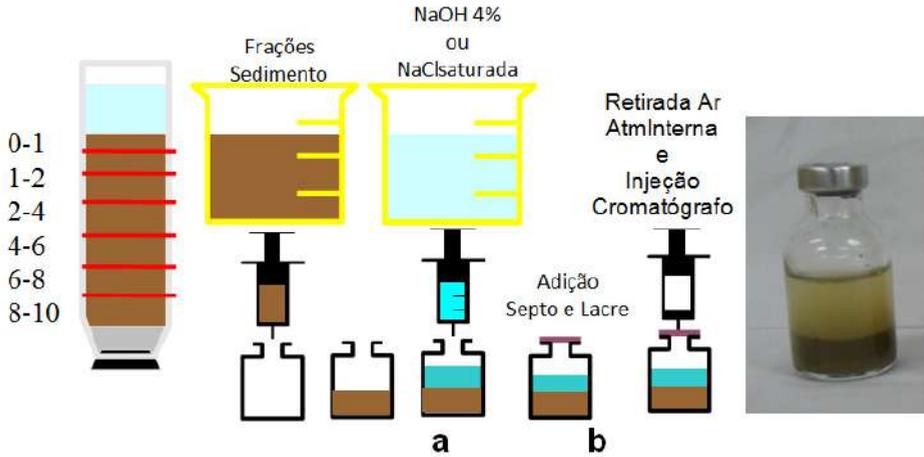


Figura 5 - Esquema representativo das etapas envolvidas na determinação da concentração de metano no sedimento (a) e foto de frasco “tipo penicilina” com amostra (b)

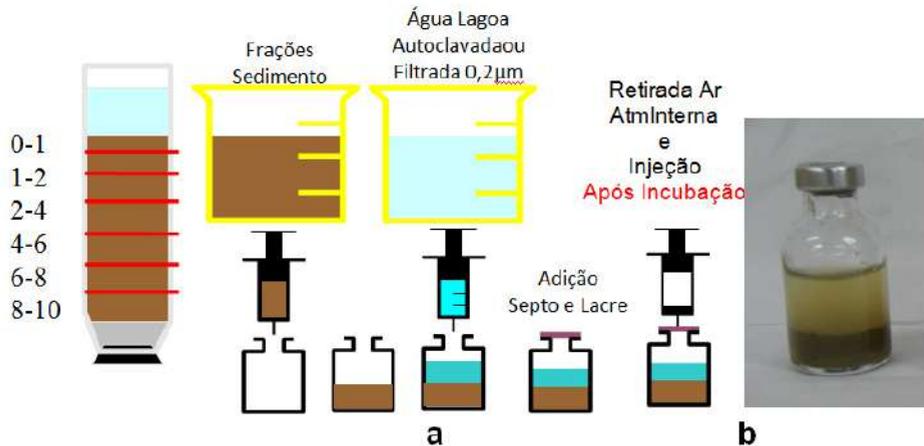


Figura 6 - Esquema representativo das etapas envolvidas na determinação da produção potencial de metano no sedimento (a) e foto de frasco “tipo penicilina” com amostra (b)

Ossedimentos são coletados em tubos de acrílico (testemunhos) de 4cm de diâmetro e 15cm de comprimento e levados para laboratório. Nesses testemunhos (Figura 8), eles são mantidos numa coluna d'água, que pode variar de alguns milímetros ou centímetros (Figura 8a) ou até preencher o restante do tubo (Figura 8b), dependendo da abordagem em questão. Em alguns estudos, é necessária uma atmosfera interna; em outros, utiliza-se a água para determinação não apenas da concentração de metano, mas também de outras substâncias, como amônia, nitrato, fosfato, nitrogênio (total e dissolvido), fósforo (total e dissolvido) e carbono (total e dissolvido). Alguns sistemas apresentam mecanismos para homogeneização da água. O procedimento segue as seguintes etapas:

- 1) Os tubos são mantidos vedados com tampa de acrílico, possuindo um septo (ou dois) de borracha, por onde alíquotas de gás são retiradas para determinação da concentração de metano na atmosfera interna;
- 2) No caso dos tubos sem atmosfera interna, ou seja, completamente preenchidos com sedimento e água, após a incubação, o septo é retirado, e, com auxílio de uma seringa com pequeno tubo, retira-se uma alíquota de água para determinação da concentração de metano como descrito anteriormente;
- 3) No caso de experimentos em anaerobiose, deve-se passar um fluxo de N_2 com uso de duas agulhas, uma para introdução do gás e outra para saída do excesso, evitando o aumento da pressão interna;
- 4) O metano produzido, presente na atmosfera interna do tubo, é então determinado por cromatografia gasosa.

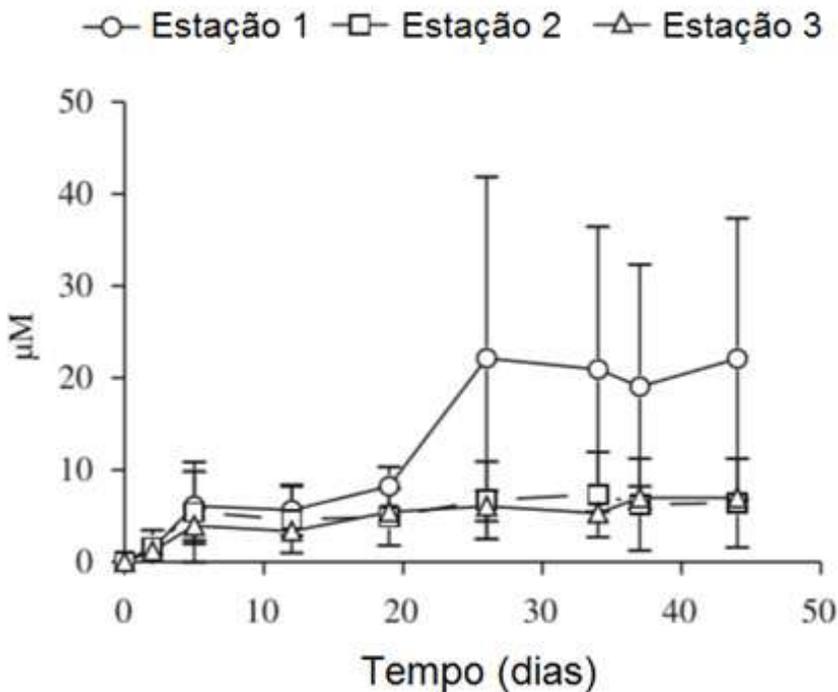


Figura 7 - Variação da concentração de metano na atmosfera interna durante o período de incubação para determinação da produção potencial de metano no sedimento⁷

⁷ MARINHO, C.C. et al. Effect of sediment composition on methane concentration and production in the transition zone of a mangrove (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Braz. J. Biol.*, v. 72, n. 3, p. 429-436, 2012.



Figura 8 - Esquema (a) e Foto (b) dos tubos de acrílico (testemunhos) usados para determinação dos fluxos de metano na interface sedimento-água

Emissão de Metano

A) Meio Difusivo:

Para determinação dos fluxos difusivos de gases na interface água-ar atmosférico, são utilizados métodos indiretos e diretos. O método indireto está baseado em medidas que buscam prever as taxas de emissão, pois são utilizadas equações matemáticas que explicam um modelo para difusão dos gases em que se leva em consideração, além da concentração do gás na coluna d'água, uma série de variáveis como temperatura da água e vento. Esse método, conhecido como da camada limite, pode ser descrito por meio de um modelo no qual a transferência do gás ocorre através de um sistema de duas películas, ou seja, filmes, baseado na Lei de Henry⁸. (Figura 9).

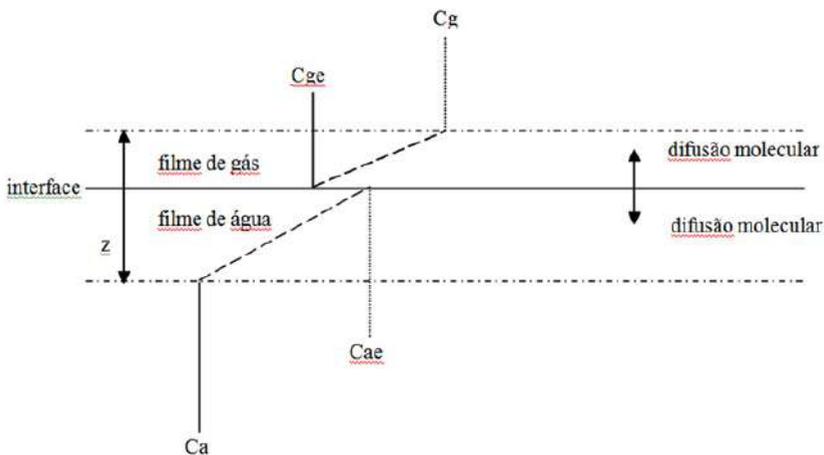


Figura 9 - Esquema modificado do fluxo de gás de acordo com o modelo de duas películas

⁸ LISS, P.S.; SLATER, P.G. Flux of gases across the air-sea interface. *Nature*, v. 247, n. 25, 181-184, 1974.

Esse modelo estabelece que a interface água-ar atmosférico possui três regiões a considerar: (1) fase atmosférica; (2) fase líquida; e (3) camada limite (filme), que separa as duas camadas anteriores. O fluxo difusivo de gás na interface água-ar atmosférico pode ser dado pela equação de Fick,

$$F = D (\Delta [\text{gás}])/z,$$

onde D é o coeficiente de difusão na mistura; $\Delta [\text{gás}]$ é o gradiente de concentração de gás; e z é a espessura da camada limite entre as fases. No entanto, a transferência de gases através de uma mistura heterogênea (como a interface água-ar atmosférico) ocorre em uma camada limite laminar em que o transporte é controlado pela difusão molecular. No modelo mais simples, o coeficiente de difusão é assumido ser constante durante toda a espessura da camada limite. A taxa de transferência de um gás depende de dois fatores principais: (1) gradiente de concentração entre a água e o ar; e (2) o coeficiente de troca gasosa para um determinado gás a uma dada temperatura, que é influenciado pela velocidade do vento.

Assim:

$$F = k ([Ca] - [Ceq])$$

onde F é o fluxo de gás água-ar atmosférico ($\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); k é coeficiente de troca gasosa (m dia^{-1}); [Ca] é a concentração do gás na água (mol m^{-3}); e [Ceq] é a concentração do gás na água quando em equilíbrio com a atmosfera sobrejacente (mol m^{-3}). O valor de k varia de forma previsível de acordo com velocidade do vento, podendo ser estimado por relações empíricas.

Um dos métodos mais utilizados de medida direta é o da câmara flutuante, em que se determina a variação da concentração do metano dentro de uma câmara (Figura 10) na superfície do corpo d'água levando em consideração a equação descrita pelo acúmulo do gás na câmara em função do tempo, segundo inclinação da reta, ou seja, $d C_{\text{CH}_4} / dt$. Para determinação das taxas correspondentes ao fluxo de CH_4 , devem ser corrigidos os valores em função do volume e da área equivalente à seção da câmara pela qual o gás difunde. Esse método permite medir variações espaciais entre diferentes estações num período de tempo relativamente curto, em função da facilidade de transporte das câmaras e da facilidade no uso. Uma das grandes desvantagens é que esse método trabalha num sistema fechado, não levando em consideração a influência da velocidade do vento no fluxo do gás.

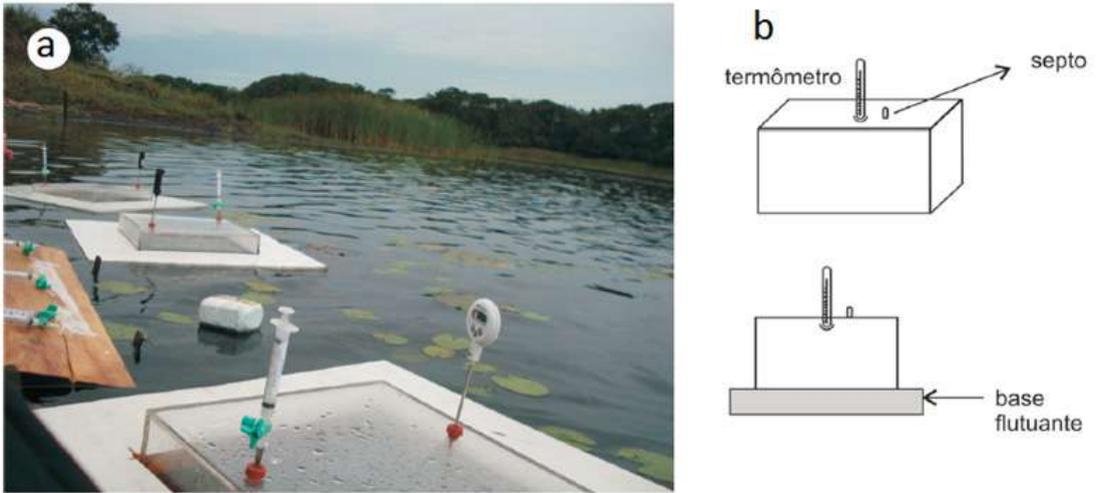


Figura 10 - (a) Foto e (b) esquema de câmaras de difusão de gases⁹

B) Meio Ebuliente

O gás em altas concentrações no sedimento pode produzir bolhas, que, se desprendendo, podem atingir a superfície do ambiente e alcançara atmosfera. O fluxo por bolhas, ou ebulitivo, é determinado através de funis invertidos e submersos (Figura 11), onde o gás liberado sob a forma de bolhas é capturado em um frasco. Normalmente, os funis são deixados no local de coleta por aproximadamente 24 horas, e, então, os frascos são retirados e fechados hermeticamente.

A formação das bolhas no sedimento e seu desprendimento podem ser expressos pela seguinte equação:

$$p \, dV = -V\rho g \, dh$$

onde V é o volume da bolha, ρ é densidade da água, g é aceleração da gravidade e dh é a variação da altura da coluna d'água do ecossistema em estudo¹⁰. Com a variação da altura da coluna d'água, pode ocorrer o desprendimento de bolhas do sedimento, por isso corpos d'água sujeitos a variações significativas de sua profundidade podem apresentar alterações expressivas dos fluxos de gases para a atmosfera através de processos ebulitivos, ou seja, pela emissão por bolhas.

⁹ ESTEVES, F.A.; MARINHO, C.C. Carbono Inorgânico. In: ESTEVES, F.A (ed.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 209-238.

¹⁰ COELHO-PINHEIRO, M.M. Liquid phase mass transfer coefficients for bubbles growing in pressure field a simplified analysis. **CommunHeat Mass**, v. 27, p. 99-108, 2000.

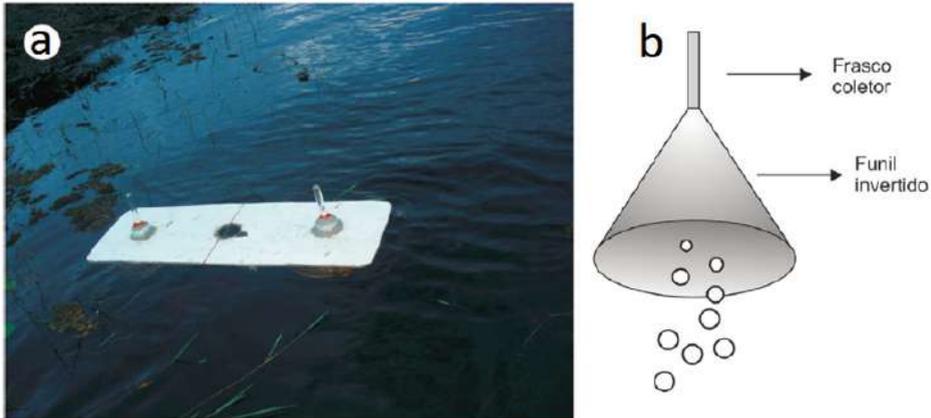


Figura 11 - (a) Foto e (b) esquema de funis invertidos¹¹

C) Via macrófitas aquáticas

Para determinação da contribuição da comunidade de macrófitas aquáticas quanto à emissão de metano, utiliza-se o mecanismo via câmaras estáticas flutuantes, por meio de estruturas de acrílico como visto anteriormente (Figura 10), para espécies de menor porte, como as do tipo de folhas flutuantes, submersas enraizadas ou flutuantes (Figura 12). No caso de macrófitas emersas (Figura 12), são utilizadas estruturas de plástico transparente (Vulcan - 0,6 mm) moldadas por hastes de alumínio (Figura 13a). Pode ser utilizado um sistema de circulação de ar para homogeneização dos gases.

No caso das medidas que utilizam apenas o processo da emissão via tecido das macrófitas, são utilizadas câmaras flutuantes de acrílico, com septo de borracha (Figura 13 b e c). Em cada câmara de incubação é inserida aproximadamente a mesma quantidade de rametes de planta, sendo posteriormente determinada a biomassa e/ou a área foliar dos rametes em laboratório.

Estudo sobre metano nas lagoas costeiras do litoral Norte do Rio de Janeiro

Estrutura, Funcionamento e Impactos Antrópicos

As lagoas costeiras são ecossistemas que apresentam grande importância para o ser humano em função de uma série de serviços proporcionados, entre os quais: lazer, controle de inundações, recepção de esgoto doméstico e rejeito industrial, beleza cênica e harmonia paisagística, podendo valorizar a região geográfica em que se encontram¹². Apesar de serem encontradas em toda costa brasileira, sua presença se destaca nos estados do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul.

¹¹ ESTEVES; MARINHO, *op. cit.*

¹² ESTEVES, F. A. **Lagoas costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo.** In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé, RJ.** Rio de Janeiro: NUPEM; UFRJ, 1998. cap. 2, p. 63-87.

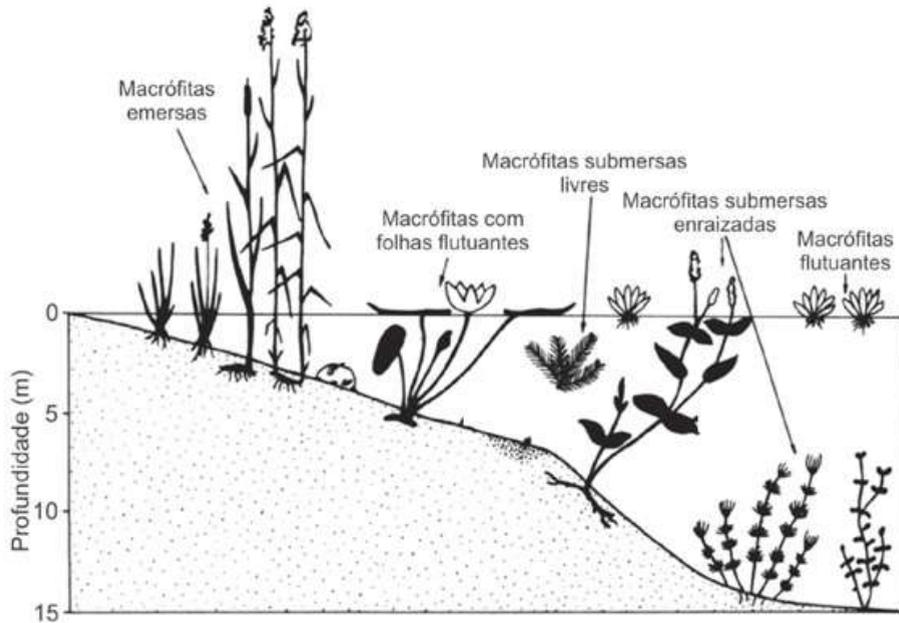


Figura 12 - Principais grupos ecológicos de macrófitas aquáticas¹³

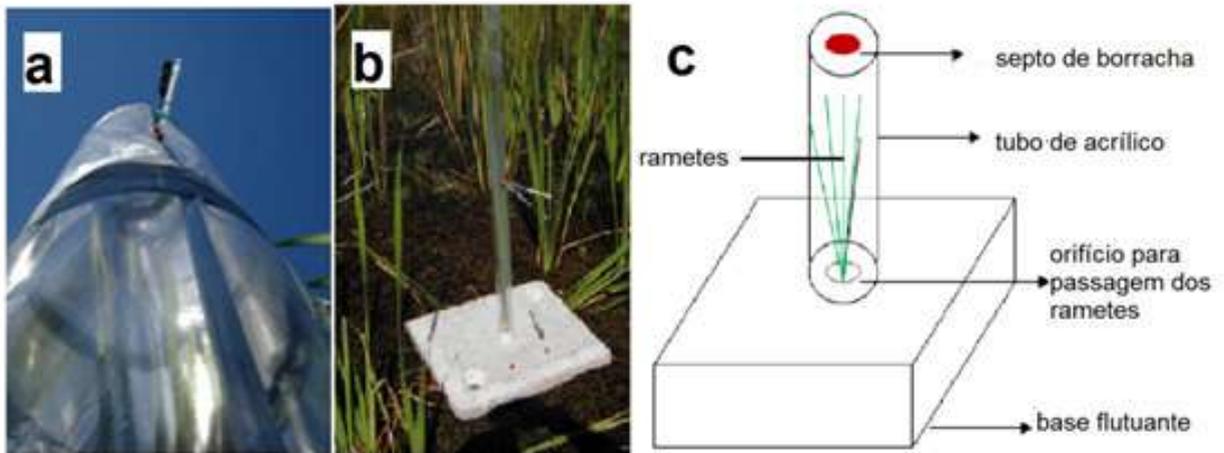


Figura 13 - Foto (a)¹⁴ e esquema (b) de estrutura utilizada para determinação da emissão de metano via tecido de planta

¹³ ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

¹⁴ GRIPP, A.R. **Varição Diária da Emissão de Metano por uma Lagoa Costeira Tropical durante o Verão: Avaliação do Potencial de Emissão pelos Fluxos Ebulitivo, Difusivo e via Macrófitas Aquáticas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Em função de sua localização geográfica, as lagoas costeiras estão sujeitas a uma série de impactos antrópicos, como¹⁵:

- 1) Lançamento de esgoto doméstico e/ou industrial;
- 2) Aterro de suas margens;
- 3) Assoreamento da bacia hidrográfica;
- 4) Retirada de areia e depósitos calcários;
- 5) Degradação da vegetação terrestre no entorno da lagoa costeira ou ao longo de seus tributários;
- 6) Introdução de espécies de peixes exóticos;
- 7) Edificação nas suas margens;
- 8) Aberturas artificiais da barra de areia que separa a lagoa do mar.

Além disso, são ecossistemas extremamente importantes quanto à sua diversidade, com características bastante distintas quanto à dimensão, morfologia, salinidade e coloração da água. Um bom exemplo são as lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro, que apresentam uma elevada heterogeneidade espacial e temporal^{16,17}.

Dependendo da origem da lagoa e do tamanho da barra de areia que a separa do mar, esses ecossistemas estão sujeitos a diferentes aportes de sais. A variação dos valores de salinidade nas lagoas costeiras depende da pluviosidade local, taxa de evaporação, entrada de água do mar pelas ressacas ou pela percolação pela barra de areia e “spray” marinho. Como exemplo desses eventos, podemos destacar as lagoas Cabiúnas (ou Jurubatiba) e Peri peri. A lagoa Cabiúnas possui um afluente (rio Cabiúnas), enquanto a lagoa Peri peri depende exclusivamente da entrada de água do mar ou entrada de água da chuva (figura 14).

Além disso, outra possibilidade de alteração dos valores de salinidade desses ecossistemas ocorre via abertura da barra de areia, fenômeno que ocorre tanto de forma natural como antrópica. No caso de uma ação antrópica, a abertura da barra de areia ocorre para diminuir o seu nível d'água, em função de eventos de enchente nas residências ou vias públicas localizadas às margens das lagoas, ou ainda para possibilitar a entrada de peixes com maior interesse pesqueiro¹⁸.

Em geral, as comunidades de macrófitas aquáticas são encontradas nas lagoas costeiras. Essa ocorrência é justificada, pois as lagoas costeiras são ecossistemas rasos e pequenos, possibilitando a formação de extensas regiões litorâneas, que podem ser colonizadas por diferentes comunidades de macrófitas aquáticas (Figura 12). Nesses ecossistemas, essas plantas encontram condições favoráveis para seu desenvolvimento que tornam a região litorânea o compartimento mais produtivo do ecossistema, podendo influenciar o ambiente lacustre como um todo, além de alterarem de forma significativa a estrutura do sedimento^{19,20,21}. Outro fator importante em relação a essas comunidades

¹⁵ ESTEVES, F. A. Lagoas costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo, *op. cit.*

¹⁶ ENRICH'PRAST, A.; MEIRELES, F.; ESTEVES, F.A. Lagoas Costeiras da Restinga de Jurubatiba. In: ROCHA, C.F.D.; ESTEVES, F.A.; SCARANO, F.R. (eds.) **Pesquisas Ecológicas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba**: Ecologia, História Natural e Conservação. São Paulo: RIMA, 2004. p. 245-254.

¹⁷ CALIMAN, A. et al. Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms. **Braz. J. Biol.**, v. 70, n. 3 supl., p. 803-814, 2010.

¹⁸ ESTEVES, F. A. Lagoas costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo, *op. cit.*

¹⁹ ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, *op.cit.*

²⁰ MARINHO, C. C. et al. Aquatic macrophytes drive sediment stoichiometry and the suspended particulate organic carbon composition of a tropical coastal lagoon. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, n. 2, p. 208-217, 2010.

²¹ MARINHO, C.C. et al. Emergent Macrophytes Alter the Sediment Composition in a Small, Shallow Subtropical Lake: Implications for Methane Emission. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, p. 315-322, 2015.

de plantas é que elas se desenvolvem em uma zona de transição entre o ecossistema terrestre e o aquático, regulando os fluxos de matéria e energia entre esses ambientes²². Além disso, a geomorfologia desses ecossistemas potencializa a influência da região litorânea. Valores do índice de desenvolvimento dessas lagoas, ou seja, relação entre sua área e perímetro, apontam para uma elevada importância de sua região litorânea²³.

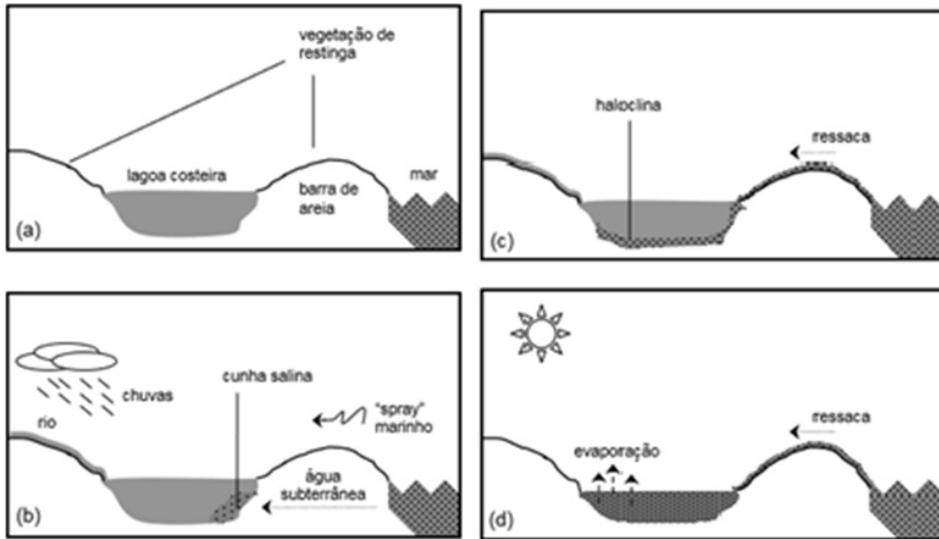


Figura 14 - Esquema representando os principais eventos responsáveis pela alteração nos valores de salinidade nas lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro: (a) estrutura das lagoas costeiras; (b e c) representação de eventos associados a algumas lagoas, geralmente de característica salobra e eventualmente salina (Ex: lagoa Cabiúnas ou Jurubatiba); (d) representação de evento associado a algumas lagoas geralmente de características salinas, eventualmente hipersalinas (Ex: lagoa Peri peri)³³

Dinâmica do Metano nas Lagoas Costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro

A primeira pesquisa sobre metano nas lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro ocorreu em 1996²⁴. Nestes vinte anos de estudos, muitas outras pesquisas foram realizadas, como parte de diversos projetos de pesquisa, teses e dissertações. Essas pesquisas abordaram os processos de produção, oxidação e emissão de metano (Figura15), relacionados a temas como:

²² ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, *op.cit.*

²³ PANOSSO, R.; ESTEVES, F. A. Morfometria das lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: Implicações para seu funcionamento e manejo. In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé, RJ**. Rio de Janeiro: NUPEM,UFRJ, 1998. p. 91-108.

²⁴ FURTADO, A. L. S.; CASPER, P.; ESTEVES, F. A. Methanogenesis in an impacted and two dystrophic coastal lagoons, Macaé, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 195-202, 2002.

Eutrofização^{25,26};
 Macrófitas aquáticas^{27,28};
 Salinidade^{29,30};
 Bioturbação^{31,32,33};
 Competição por substrato^{34,35};
 Herbivoria³⁶;
 Heterogeneidade espacial³⁷.

As principais lagoas pesquisadas quanto à abordagem do estudo do metano estão apresentadas na tabela 1 e figura 16. Essas lagoas estão localizadas no Parque Nacional (PARNA) da Restinga de Jurubatiba, com exceção da lagoa Imboassica, localizada na região metropolitana de Macaé.

Em um artigo de revisão sobre a eutrofização artificial das lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro e os gases de efeito estufa, foi abordada a questão relacionada ao metano³⁸. Este trabalho ressaltou a importância desses estudos, como veremos a seguir. Estudo sobre a metanogênese em dez lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro (Figura 17) observou que as lagoas eutrofizadas apresentaram valores de produção de metano que variaram de intermediários a reduzidos³⁹. Tais resultados podem estar refletindo efeitos antagônicos sobre a metanogênese com relação à abertura artificial da barra de areia e à eutrofização^{40,41}.

- ²⁵ MARINHO, C. C. **Metanogênese regulada por macrófitas aquáticas e pela alteração brusca do nível d'água e salinidade em duas lagoas costeiras da Região Norte Fluminense, Macaé/RJ**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- ²⁶ MARINHO, C.C.; FONSECA, A.L.S.; ESTEVES, F.A. Impactos antrópicos nas lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro: uma revisão sobre a eutrofização artificial e gases de efeito estufa. **RBPG**, Brasília, v.13, n.32, p. 703 - 728, 2016.
- ²⁷ FONSECA, A.L.S.; MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Aquatic Macrophytes Detritus Quality and Sulfate Availability Shape the Methane Production Pattern in a Dystrophic Coastal Lagoon. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p.1675-1684, 2015.
- ²⁸ GRIPP, A.R. **Varição Diária da Emissão de Metano por uma Lagoa Costeira Tropical durante o Verão: Avaliação do Potencial de Emissão pelos Fluxos Ebulitivo, Difusivo e via Macrófitas Aquáticas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- ²⁹ MARINHO, C. C. Metanogênese regulada por macrófitas aquáticas e pela alteração brusca do nível d'água e salinidade em duas lagoas costeiras da Região Norte Fluminense, Macaé, RJ. *op. cit.*
- ³⁰ PETRUZZELLA, A. et al. Magnitude and variability of methane production and concentration in tropical coastal lagoons sediments. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 341-351, 2013.
- ³¹ FIGUEIREDO-BARROS, M. P. et al. Benthic bioturbator enhances CH₄ fluxes among aquatic compartments and atmosphere in experimental microcosms. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 66, p. 1649-1657, 2009.
- ³² CALIMAN, A. et al. Biodiversity effects of benthic ecosystem engineers on the spatial patterns of sediment CH₄ concentration in an urban Neotropical coastal lagoon. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 302-314, 2013.
- ³³ GONÇALVES, F. A. **Efeito do biorrevolvimento por macroinvertebrados bentônicos sobre a concentração de metano (CH₄) na interface sedimento água-atmosfera**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- ³⁴ MINELLO, M. **Metanogênese sob a variação de salinidade em lagoas costeiras do Norte Fluminense: implicações nas condições osmóticas e na competição por substratos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- ³⁵ FONSECA, A.L.S. MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Aquatic Macrophytes Detritus Quality and Sulfate Availability Shape the Methane Production Pattern in a Dystrophic Coastal Lagoon. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p.1675-1684, 2015.
- ³⁶ PETRUZZELLA, A. et al. Herbivore damage increases methane emission from emergent aquatic macrophytes. **Aquatic Botany**, v. 127, p. 6-11, 2015.
- ³⁷ FELIX, R.W. **Fluxos de Metano e Dióxido de Carbono Em Lagoas Costeiras Húmicas: Uma Abordagem Espaço-Temporal**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2014.
- ³⁸ MARINHO, C.C.; FONSECA, A.L.S.; ESTEVES, F.A. Impactos antrópicos nas lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro: uma revisão sobre a eutrofização artificial e gases de efeito estufa. *op. cit.*
- ³⁹ PETRUZZELLA, A. et al. Magnitude and variability of methane production and concentration in tropical coastal lagoons sediments, *op. cit.*
- ⁴⁰ MARINHO, C. C. Metanogênese regulada por macrófitas aquáticas e pela alteração brusca do nível d'água e salinidade em duas lagoas costeiras da Região Norte Fluminense, Macaé, RJ, *op. cit.*
- ⁴¹ MARINHO, C. C. **Dinâmica do metano nas lagoas costeiras do litoral Norte do Rio de Janeiro**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

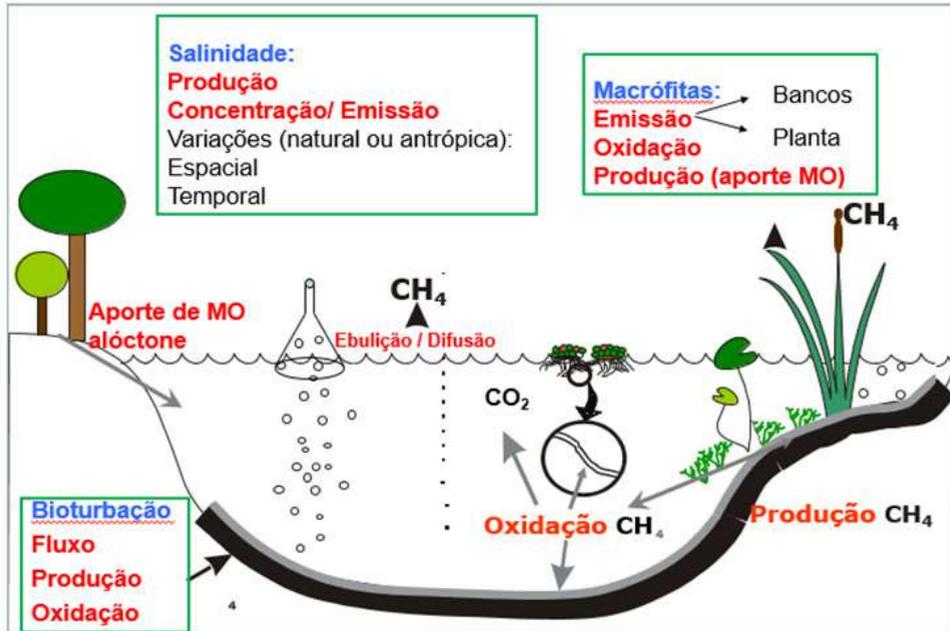


Figura 15 - Esquema apresentando os diversos processos e mecanismos abordados nos estudos sobre o metano nas lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro

Enquanto a eutrofização apresentaria efeito positivo^{42,43}, a salinização provocada pelo aporte da água do mar provocaria um efeito negativo sobre a metanogênese⁴⁴. Mas esse efeito estaria restrito às lagoas doces ou salobras, e não ocorreria com as lagoas hipersalinas, adaptadas à selevadas concentrações de sais⁴⁵. Quanto à metanotrofia, foram observados efeitos negativos com relação à abertura da barra de areia, sendo apontados como prováveis fatores responsáveis: (1) diminuição da concentração de metano, substrato para metanotrofia; e (2) o aumento dos valores de salinidade⁴⁶.

⁴² CASPER, P. Methane production in lakes of different trophic state. *Arch. Hydrobiol. Beth.*, v.37, p.149-154, 1992.

⁴³ NEVES, J. M. C. O. S.; ARAGON, G. T.; SILVA FILHO, E. V. Effects of eutrophication and *Typha domingensis* Pers. on methanogenesis in tropical constructed wetland. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Rio Claro, v. 23, n. 2, p. 145-153, 2011.

⁴⁴ MARINHO, C. C. Metanogênese regulada por macrófitas aquáticas e pela alteração brusca do nível d'água e salinidade em duas lagoas costeiras da Região Norte Fluminense, Macaé, RJ, *op. cit.*

⁴⁵ MINELLO, M. Metanogênese sob a variação de salinidade em lagoas costeiras do Norte Fluminense: implicações nas condições osmóticas e na competição por substratos, *op. cit.*

⁴⁶ *Ibid.*



Figura 16 - Foto aérea das lagoas costeiras estudadas. Localizada no PARNA da Restinga de Jurubatiba, no Litoral Norte do Rio de Janeiro, com exceção da lagoa Imboassica, localizada na região metropolitana de Macaé: (a) Imboassica, (b) Cabiúnas (Jurubatiba), (c) Comprida, (d) Carapebus, (e) Peri peri e (f) Mapa das Lagoas. Fonte: Laboratório de Limnologia/UFRJ

A proximidade das lagoas costeiras com o mar possibilita não apenas a influenciado aporte salino, mas também o aporte de sulfato, encontrado em concentrações elevadas na água do mar. Essa é uma questão relevante nos estudos sobre a metanogênese, em função da competição como sulfato redução por substrato, o que não depende apenas da disponibilidade de sulfato, mas também da quantidade e da qualidade de matéria orgânica disponível⁴⁷. De acordo com a avaliação de uma série de processos anaeróbicos no sedimento das lagoas Imboassica e Comprida (Figura 18), a metanogênese foi o processo predominante na mineralização do carbono⁴⁸. Em experimento de laboratório, através da incubação de sedimento da região limnética da lagoa Cabiúnas sob adição de sulfato, foi observada a inibição de cerca de 95% na produção de metano⁴⁹. Já com

⁴⁷ LYIMO, T.J.; POL, A.; DEN-CAMP, H.J.M.O. Sulfate Reduction and Methanogenesis in Sediments of Mtoni Mangrove Forest, Tanzania. **AMBIO**, v.31, p.614-616, 2002.

⁴⁸ NIELSEN, L.P.; ENRICH-PRAST, A.; ESTEVES, F.A. Pathways of organic matter mineralization and nitrogen regeneration in the sediment of five tropical lakes. **Acta Limnol. Bras.**, v.16, n.2, p.193-202, 2004.

⁴⁹ MINELLO, M. Metanogênese sob a variação de salinidade em lagoas costeiras do Norte Fluminense: implicações nas condições osmóticas e na competição por substratos, *op. cit.*

relação à adição simultânea de sulfato e acetato, o autor observa uma redução parcial da atividade metanogênica. Em estudo sobre a contribuição do aporte de matéria orgânica via banco de macrófitas, foi observado que: (1) a variação na quantidade e qualidade do carbono orgânico é o principal fator que controla a produção de metano; (2) já a disponibilidade de sulfato apresenta, provavelmente, um papel secundário, sendo importante quando a matéria orgânica não é suficiente para a ocorrência da metanogênese e da redução de sulfato simultaneamente⁵⁰.

Tabela 1 - Características gerais das principais lagoas costeiras envolvidas nos estudos sobre metano

Lagoa	Salinidade	pH	Cor	Observação
Imboassica	Salobra	Básica	Clara	<ul style="list-style-type: none"> • influência antrópica • aporte de nutrientes • abertura artificial da barra de areia
Cabiúnas (Jurubatiba)	Doce Salobra	Neutra	Clara escura	<ul style="list-style-type: none"> • bem preservada • densamente colonizada por macrófitas • abertura artificial da barra de areia
Comprida	Doce	Ácida	Escura	<ul style="list-style-type: none"> • bem preservada • alta concentração de substâncias húmicas
Carapebus	Salobra	Básica	Clara Escura	<ul style="list-style-type: none"> • influência antrópica • aporte de nutrientes • abertura artificial da barra de areia
Peri peri	Salina Hipersalina	Básica	Escura Clara	<ul style="list-style-type: none"> • bem preservada • intensa variação de salinidade

311

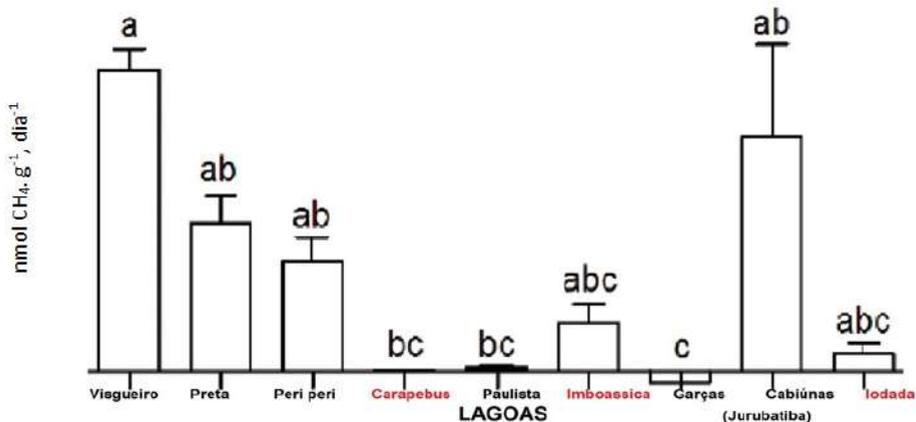


Figura 17 - Produção potencial de metano nas lagoas do Litoral Norte do Rio de Janeiro. Lagoas impactadas via lançamento de esgoto destacadas em vermelho⁵¹

⁵⁰ FONSECA, A.L.S.; MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Aquatic Macrophytes Detritus Quality and Sulfate Availability Shape the Methane Production Pattern in a Dystrophic Coastal Lagoon, *op. cit.*

⁵¹ PETRUZZELLA, A. *et al.* Magnitude and variability of methane production and concentration in tropical coastal lagoons sediments, *op. cit.*

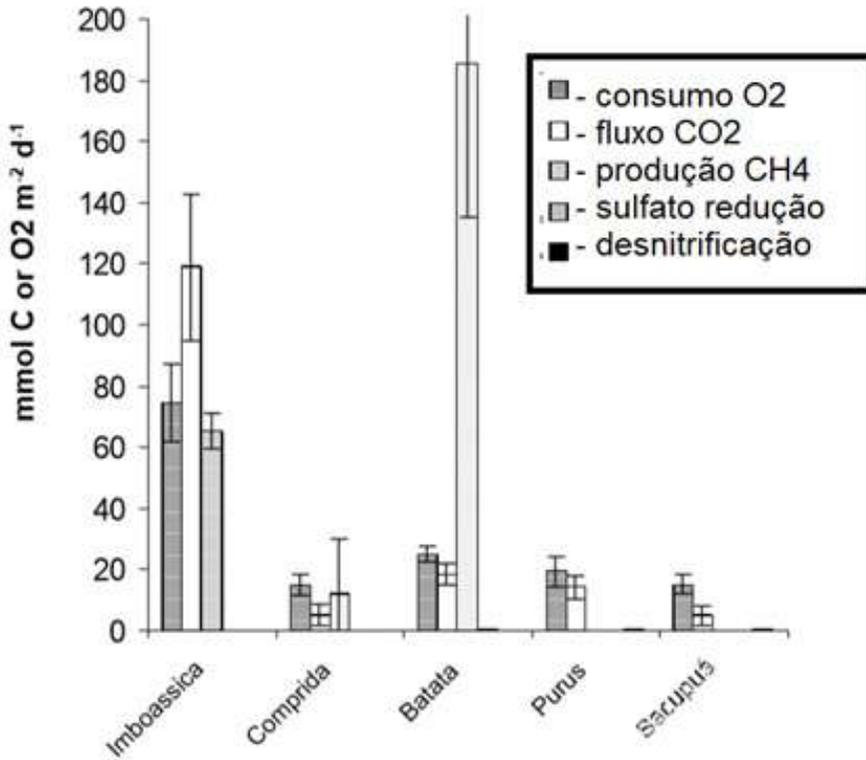


Figura 18 - Taxas de consumo de O₂, fluxo de CO₂, produção de CH₄, sulfato redução e desnitrificação. Todas as taxas de sulfato redução e desnitrificação foram menores do que 1 mmol C m⁻² d⁻¹ (modificado⁵²)

Também fizeram parte de estudos relacionados à dinâmica do metano nas lagoas costeiras duas questões associadas a organismos não diretamente ligados à metanogênese, ou seja: (1) bioturbação no sedimento provocados por organismos bentônicos; (2) herbivoria de macrófitas aquáticas. Com relação à bioturbação, foi observado efeito positivo com relação à concentração de metano na água e na atmosfera de microcosmos em relação ao tratamento controle, em experimentos realizados com sedimento da lagoa Imboassica⁵³. Outro estudo experimental com sedimento da lagoa Imboassica demonstrou a influência da diversidade de organismos bioturbadores bentônicos na concentração de metano no sedimento⁵⁴. Esse estudo demonstrou que a riqueza de espécies dos bioturbadores reduziu de forma significativa a concentração de metano no sedimento.

⁵² NIELSEN, L.P.; ENRICH-PRAST, A.; ESTEVES, F.A. Pathways of organic matter mineralization and nitrogen regeneration in the sediment of five tropical lakes, *op. cit.*

⁵³ FIGUEIREDO-BARROS, M. P. *et al.* Benthic bioturbator enhances CH₄ fluxes among aquatic compartments and atmosphere in experimental microcosms, *op. cit.*

⁵⁴ CALIMAN, A. *et al.* Biodiversity effects of benthic ecosystem engineers on the spatial patterns of sediment CH₄ concentration in an urban Neotropical coastal lagoon, *op. cit.*

Por último, podemos destacar que, em estudo realizado na lagoa Pitanga (próxima à lagoa Cabiúnas), foi observado que, no tratamento com a espécie *Campsurus sp.*, ocorreu a intensificação da concentração de metano na água do mesocosmo, sem acréscimo na atmosfera interna⁵⁵. Já no tratamento com a espécie *Chironomus sp.*, ocorreu redução da concentração de metano no sedimento e acréscimo na atmosfera interna do mesocosmo. Concluiu-se, então, que as espécies de macroinvertebrados bentônicos *Heleobia australis*, *Chironomus sp.*, *Campsurus sp.* e *Laeonereis culveri*, que apresentam diferenciados modos de forrageio do sedimento, alteraram, de maneira diferente, as concentrações de metano na interface sedimento-água-atmosfera.

Em relação ao estudo sobre o efeito de herbivoria na macrófita aquática emersa *Eleocharis equisetoides*, sobre a emissão de metano, realizado em mesocosmos, por meio da simulação de diferentes níveis de dano no culme da macrófita (Figura 19)⁵⁶, foram encontrados resultados que indicaram que o dano físico causado à macrófita afeta o transporte de gás realizado pela planta. Esse efeito promove uma redução na emissão de metano pela planta.

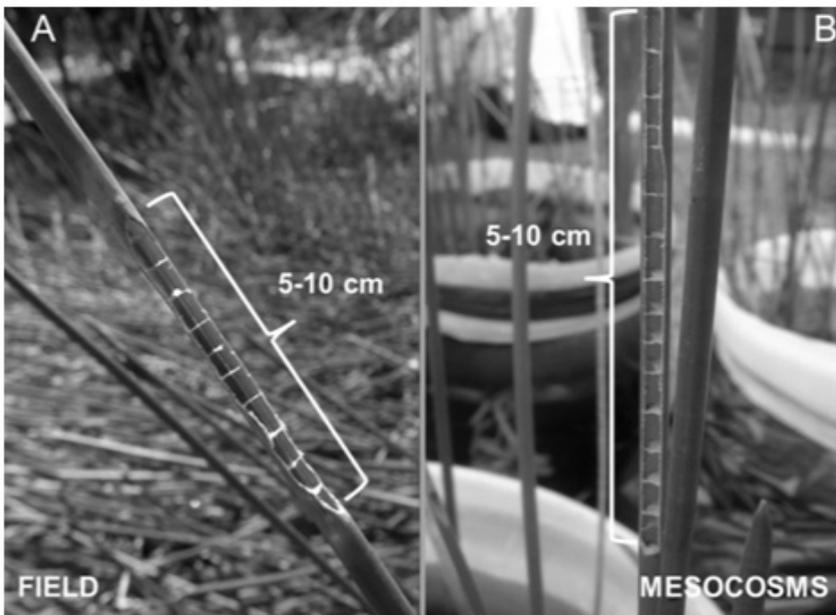


Figura 19 - Fotos do dano provocado por herbivoria (A) e (B) do dano provocado na realização do experimento em mesocosmos⁵⁷

Foto A de Nathan Barros; Foto B da autora.

⁵⁵ GONÇALVES, F. A. Efeito do biorrevolvimento por macroinvertebrados bentônicos sobre a concentração de metano (CH₄) na interface sedimento-água-atmosfera, *op. cit.*

⁵⁶ PETRUZZELLA, A. *et al.* Herbivore damage increases methane emission from emergent aquatic macrophytes, *op. cit.*

⁵⁷ PETRUZZELLA, A. *et al.* Herbivore damage increases methane emission from emergent aquatic macrophytes, *op. cit.*

A comunidade de macrófitas aquáticas desempenha um papel fundamental na dinâmica do metano nas lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro^{58,59,60}. Essa comunidade exerce influência direta ou indireta nos processos de produção, oxidação e emissão do metano. Em geral, podemos destacar a modificação da estrutura e composição do sedimento nos bancos colonizados pelas macrófitas emersas. O acúmulo de detritos das plantas no sedimento da região litorânea, em geral, altera sua estequiometria e qualidade para os decompositores, possuindo proporcionalmente mais carbono do que nitrogênio e fósforo se comparado à região limnética⁶¹. O aporte de matéria orgânica propicia a formação de um sedimento de caráter redutor, ou seja, anaeróbico. Tais condições, além do fornecimento de substratos, como acetato, favorece a produção de metano nessas regiões⁶². A elevada concentração de metano na coluna d'água e, principalmente, no sedimento, além da reduzida profundidade da coluna d'água, favorece a emissão de metano nas regiões colonizadas pelas macrófitas emersas⁶³.

Pesquisa realizada no período de dezembro de 2009 a janeiro de 2010 na lagoa Cabiúnas sobre os mecanismos de emissão de metano em área aberta e nos bancos das macrófitas *Eichhornia azurea* e *Typha domingensis* aponta a seguinte ordem de relevância: (1º) mecanismos de emissão via bolhas; (2º) via macrófitas; (3º) via difusão⁶⁴. O fluxo ebuliente foi responsável pela emissão de mais de 70% de todo o metano que deixou a lagoa, enquanto as macrófitas e a difusão foram responsáveis por menos de 25% e 5% do metano emitido, respectivamente.

Foram realizadas medidas para determinação de emissão de dióxido de carbono e metano via ebuliente, via difusiva e através de macrófitas aquáticas, nas lagoas Comprida e Cabiúnas, no período de 2012 a 2013⁶⁵. Nessa pesquisa, foi observado que as lagoas costeiras agem como fontes de carbono em períodos de ampla senescência desses vegetais. Outra questão relevante levantada pelo autor é que a emissão de carbono nesses ecossistemas é potencializada em evento de chuvas, quando ocorre a elevação abrupta do nível da água no período de verão. Quanto à emissão do metano, foi observada uma elevada variabilidade espacial, com uma contribuição de mais de 90% da região litorânea. No caso da lagoa Comprida, foi observado que a emissão de metano ocorre preferencialmente via macrófitas emersas, enquanto na lagoa Cabiúnas ocorre preferencialmente via processos ebulientes.

⁵⁸ FONSECA, A. L. S. *et al.* Methane concentration in water column and in pore water of a coastal lagoon (Cabiúnas lagoon, Macaé, RJ, Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba**, v. 47, n. 2, p. 301-308, 2004.

⁵⁹ PETRUZZELLA, A. *et al.* Magnitude and variability of methane production and concentration in tropical coastal lagoons sediments, *op. cit.*

⁶⁰ FONSECA, A.L.S.; MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Aquatic Macrophytes Detritus Quality and Sulfate Availability Shape the Methane Production Pattern in a Dystrophic Coastal Lagoon, *op. cit.*

⁶¹ MARINHO, C. C. *et al.* Aquatic macrophytes drive sediment stoichiometry and the suspended particulate organic carbon composition of a tropical coastal lagoon, *op. cit.*

⁶² FONSECA, A.L.S.; MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Aquatic Macrophytes Detritus Quality and Sulfate Availability Shape the Methane Production Pattern in a Dystrophic Coastal Lagoon, *op. cit.*

⁶³ MARINHO, C. C. Dinâmica do metano nas lagoas costeiras do litoral Norte do Rio de Janeiro. *op. cit.*

⁶⁴ GRIPP, A.R. Variação Diária da Emissão de Metano por uma Lagoa Costeira Tropical durante o Verão: Avaliação do Potencial de Emissão pelos Fluxos Ebulitivo, Difusivo e via Macrófitas Aquáticas, *op. cit.*

⁶⁵ FELIX, R. W. **Fluxos de carbono e dióxido de carbono em lagoas costeiras húmicas**: uma abordagem espaço-temporal. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2014.

Mas, além do efeito sobre a produção e emissão de metano, as macrófitas realizam um significativo efeito sobre a oxidação desse gás, tanto no sedimento como na coluna d' água. A oxidação do metano, ou metanotrofia, via macrófitas aquáticas, ocorre através da ação de bactérias metanotróficas presentes na rizosfera (Figura 2). Nessa região, o metano é oxidado em função da areação desse microcosmo. A oxidação do metano é um dos principais processos reguladores da emissão desse gás para a atmosfera, pois já foram observados resultados que apontam para um consumo de até 90% do metano produzido no próprio ecossistema⁶⁶.

Em experimento de laboratório utilizando mesocosmos, foi avaliado o efeito da presença da macrófita flutuante *Salvinia auriculata* Aubl e da macrófita de folhas flutuantes *Eichornea azurea* (Sw.) Kunth sobre a concentração de metano na água do mesocosmo⁶⁷. Foi observada uma diminuição nas concentrações de metano nos tratamentos com as macrófitas em relação ao controle, indicando relevante papel das macrófitas aquáticas flutuantes na dinâmica do metano na coluna de água. Os autores ainda sugerem uma variação diária nos processos de oxidação (via bactérias aderidas na rizofera das macrófitas) e emissão (via estrutura lacunar das macrófitas) de metano, em função das idiferenças observadas nos fluxos de O₂ e CO₂, com relação às condições de luz e escuro.

Duas questões relevantes que devem ser levadas em consideração dizem respeito aos possíveis cenários de mudanças climáticas⁶⁸. Alguns desses cenários apontam para o aumento significativo da temperatura e de alterações no regime pluviométrico. Estudo que possibilitou monitorar mensalmente, durante oito anos, as lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio de Janeiro aponta a temperatura como um dos principais parâmetros reguladores da concentração de metano na coluna d' água, e consequente emissão difusiva desse gás nas lagoas estudadas⁶⁹. Outro estudo, apesar do curto tempo de observação, constatou efeito direto e indireto do regime de precipitação sobre a magnitude dos fluxos de metano nas lagoas Cabiúnas e Comprida⁷⁰.

Considerações e perspectivas

Com intuito de prever impactos futuros, e propor soluções que resolvam ou mitiguem tais impactos, são necessárias pesquisas que forneçam informações relevantes para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos⁷¹. Para o desenvolvimento desses estudos, deve ocorrer a participação de Instituições de Pesquisa. A participação da comunidade científica qualificada possibilita que os gestores

⁶⁶ SEGERS, R. Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes. **Biochemistry**, v. 41, p. 23-51, 1998.

⁶⁷ FONSECA, A.L.S.; MARINHO, C.C.; ESTEVES, F.A. Floating Aquatic Macrophytes Decrease the Methane Concentration in the Water Column of a Tropical Coastal Lagoon: Implications for Methane Oxidation and Emission. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. No prelo. Disponível em: <https://mco4.manuscriptcentral.com/babt-scielo>.

⁶⁸ Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3371. Acesso em: 8 abr. 2017.

⁶⁹ MARINHO, C. C. Dinâmica do metano nas lagoas costeiras do litoral Norte do Rio de Janeiro, *op. cit.*

⁷⁰ FELIX, R. W. Fluxos de carbono e dióxido de carbono em lagoas costeiras húmicas: uma abordagem espaço-temporal, *op. cit.*

⁷¹ MARINHO, CC. **Recursos Hídricos**: Gestão e Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2016. p. 83. (Curso Técnico em Meio Ambiente CEFET/RJ, Módulo III).

de recursos hídricos estejam amparados por aspectos não apenas legais, mas também técnicos. Dentro dessa lógica, poderão ser otimizados os recursos para intervenções que levem em consideração a qualidade no uso dos recursos hídricos, atendendo, dessa forma, a questões sociais e ambientais.

No caso de ecossistemas sujeitos a elevadas pressões antrópicas, como as lagoas costeiras, a pesquisa científica torna-se imprescindível para medidas mitigadoras e preventivas. Além disso, os estudos sobre a dinâmica do metano nesses ecossistemas fornecem informações relevantes que podem ser aplicados em outros sistemas. Dentre essas questões, podemos ressaltar como relevantes:

- 1) Estudos que avaliem as alterações quanto à atividade metanogênica e a metanotrofia em função do aumento de temperatura do planeta por conta das alterações climáticas globais;
- 2) Estudos que avaliem os efeitos, sobre a dinâmica do metano, das diferentes previsões sobre os cenários futuros com relação a mudanças climáticas;
- 3) Busca de um modelo que possibilite estimar a emissão de metano nos bancos de macrófitas aquáticas, principalmente da espécie *Typha domingensis*, avaliando parâmetros como biomassa de planta, temperatura da água, composição do sedimento e profundidade da coluna d'água;
- 4) Estudos de geoprocessamento que busquem acompanhar as alterações dos diferentes compartimentos das lagoas costeiras, relacionando com suas contribuições relativas à emissão de metano;
- 5) Estudos que possibilitem projetar o efeito da eutrofização artificial dessas lagoas sobre a metanogênese e consequente emissão de metano para atmosfera, buscando manejo adequado desses ecossistemas;
- 6) Estudos que possibilitem avaliar o efeito do vento sobre a dinâmica do metano nessas lagoas.

A emissão de metano pelas lagoas costeiras observada nessas pesquisas, tanto difusiva quanto ebulitiva, quando comparadas a outros ecossistemas pelo mundo (tabela 2), não aponta esses ecossistemas como grandes emissores de metano para a atmosfera. Mas é importante ressaltar a necessidade do manejo adequado desses ecossistemas, que estão sujeitos a uma série de impactos antrópicos, como a eutrofização artificial. O processo de eutrofização pode aumentar a deposição de matéria orgânica tanto de origem fitoplanctônica como pelos detritos de macrófitas aquáticas, assim como a grande disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, provocando a diminuição da profundidade e expansão do banco de macrófitas, principalmente as emersas como *Typha domingensis*. Esse cenário pode levar à perda de funções ecológicas desses ecossistemas, além de acelerar o processo de seu desaparecimento, com a diminuição de seu espelho d'água e de sua profundidade. Tais condições podem potencializar a emissão de metano para a atmosfera nesses ecossistemas, aumentando sua contribuição com relação a outros ecossistemas.

Tabela 2 - Emissão de metano, difusiva e ebulitiva, pelas lagoas costeiras deste estudo e vários tipos de ecossistemas de diferentes regiões do mundo

Ecosistema	Clima	Difusivo $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	Totais $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	Ebulitiva $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$
Reservatório ⁷²	Temperado	750±438		30.000
Reservatório ⁷³	Tropical	600±380 -1.470±940		200±680 - 4.060±8.370
Lagoa Costeira (Venbanad) ⁷⁴	Tropical		3.810 - 316.000	
Lagoa Costeira (Nakauami) ⁷⁵	Temperado		0,63 - 15.300	
Campos de Arroz ⁷⁶	Tropical		31 - 38.440	
Pantanal ⁷⁷	Tropical		13.500±12.000	
Estuário ⁷⁸	Tropical		1.560±50	
Lagoas Costeiras ⁷⁹	Tropical	20 - 2403 (78 - 338)		
Lagoa Cabiúnas ⁸⁰	Tropical	-146±300 - 830±706		14.188±10.750- 17.350±21.313
Lagoas Costeiras ⁸¹	Tropical	-196 - 16.275 (108 - 2.095)		0,5 - 1300 (0,48 - 361)

Min - max (médias anuais)

⁷² DELSANTRO, T. *et al.* Extreme Methane Emissions from Swiss Hydropower Reservoir: Contribution from Bubbling Sediments. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 2419-2425, 2010.

⁷³ SANTOS, M.A. *et al.* Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 116-129, 2008.

⁷⁴ VERMA, A.; SUBRAMANIAN, V.; RAMESH, R. Methane emissions from a coastal lagoon: Vembanad Lake, West Coast, India. **Chemosphere**, v. 47, p. 883-889, 2002.

⁷⁵ HIROTA, M. *et al.* Fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in two contrastive fringing zones of coastal lagoon, Lake Nakauami, Japan. **Chemosphere**, v. 68, p. 597-603, 2007.

⁷⁶ PARASHAR, D.C.; MITRA, A.P.; GUPTA, P.K. Methane budget from paddy fields in India. **Chemosphere**, v. 33, n. 4, p. 737-757, 1993.

⁷⁷ BASTVIKEN, D. *et al.* Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: Toward more comprehensive sampling. **Environment Science**, v. 4, p. 5450-5455, 2010.

⁷⁸ KRITHIKA, K.; PURVAJA, R.; RAMESH, R. Fluxes of methane and nitrous oxide from an Indian mangrove. **Current Science**, v. 94, n. 2, p. 218-224, 2008.

⁷⁹ KONE, Y.J.M. *et al.* Seasonal variability of methane in the rivers and lagoons of Ivory Coast (West Africa). **Biogeochemistry**, v. 100, p. 21-37, 2010.

⁸⁰ GRIPP, A.R. Variação Diária da Emissão de Metano por uma Lagoa Costeira Tropical durante o Verão: Avaliação do Potencial de Emissão pelos Fluxos Ebulitivo, Difusivo e via Macrófitas Aquáticas, *op. cit.*

⁸¹ MARINHO, C. C. Dinâmica do metano nas lagoas costeiras do litoral Norte do Rio de Janeiro.

Agradecimentos

Agradeço a valiosa colaboração da direção e do corpo técnico do Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Ambiental de Macaé da Universidade Federal do Rio de Janeiro (NUPEM/UFRJ). Aos companheiros João Marcelo (Pescador), Ignez (Vizinha) e Luiza Helena (Lena). Às agências de Fomento, pela financiamento através de recursos e bolsas de pesquisa: CAPES, CNPq, FAPERJ, FINEP. À Petrobras pelo financiamento de projetos de pesquisas, como o ECOLagoas e o Projeto Carbono. Aos companheiros “metanogênicos” da “primeira hora”, responsáveis pela consolidação dos estudos sobre metano: André Furtado, André Fonseca e Murilo Minello.

DISPONIBILIZAÇÃO DE GEOINFORMAÇÃO UTILIZANDO PLATAFORMAS LIVRES: WEBGIS DO PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA

Saulo de Oliveira Folharini (UNICAMP) • André Luiz dos Santos Furtado (EMBRAPA)
Regina Célia de Oliveira (UNICAMP) • Davi de Oliveira Custódio (EMBRAPA) • Pedro Romildo da Costa (EMBRAPA)

Introdução

Um dos pilares da Geografia é a análise espacial, que utiliza ferramentas provenientes do desenvolvimento tecnológico em estudos sobre o território. Com objetivo de organizar informações espaciais, foram desenvolvidos os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), termo utilizado para sistemas que tratam dados geográficos. Os SIGs são baseados em linguagem matemática e responsáveis por desenvolver ferramentas de análise espacial. A inserção de conceitos geográficos, geodésicos, estatísticos e cartográficos, em um SIG, facilita a integração de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, imagens de satélite e modelos numéricos, oferecendo mecanismos de combinação dessas informações por meio de algoritmos de manipulação, análise e consulta, que resultam na organização de diversas bases. Os SIGs unificam informações e dados espaciais e possibilitam uma análise integrada, mostrando ser uma ferramenta com grande potencial para planejar e gerir o território^{1,2,3,4}.

Os SIGs também possuem bancos de dados, que armazenam dados alfanuméricos e informações geográficas. Essa é a principal diferença entre um banco de dados convencional e um banco de dados geográficos, que podem ser utilizados para consultas espaciais sobre determinados elementos (MOREIRA, 2005).

A partir da década de 1990, com o desenvolvimento da internet, diversas aplicações foram testadas e desenvolvidas com o objetivo de disseminar informações geográficas, e os bancos de dados geográficos passaram a ser compartilhados na internet.

¹ DAVIS, C.; CAMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, R. F. (eds.). **Introdução à ciência da geoinformação**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 345.

² RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: UFC, 2004.

³ VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. **Abordagem sistêmica e geografia**. Geografia, n 28, p. 323-344, 2003.

⁴ MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2005. 320p.

Os WebGIS são sistemas repositórios de dados geoespaciais que utilizam uma interface gráfica e agregam recursos da internet, promovendo o compartilhamento e a difusão de informações georreferenciadas de forma interativa para diferentes tipos de usuários. A principal utilização dos WebGIS está relacionada à gestão do território, tornando-se uma importante ferramenta para o monitoramento e análise dos recursos naturais, possibilitando a integração de informações geoespaciais relevantes em ambiente *web* e sua disponibilização ao público^{5,6,7,8,9}.

Os WebGIS utilizam uma estrutura cliente-servidor, na qual o usuário (cliente) envia comandos por meio de um navegador *web* ao servidor, que, após processá-los, devolve ao cliente os resultados na forma de informações geográficas. Essas informações geográficas, disponibilizadas pelo servidor, podem ter diferentes utilizações, de acordo com os objetivos do usuário.

Com o objetivo de disponibilizar informações sobre as características naturais e sobre o uso e cobertura da terra do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Jurubatiba), foi desenvolvido um WebGIS¹⁰ utilizando plataformas *open source*, que se baseiam no princípio de *Software Livre e Aberto (Free and Open Source Software - FOSS)*. Os *softwares* livres e abertos têm como característica a possibilidade de adaptação, distribuição e melhorias para qualquer propósito em que o usuário tenha interesse¹¹.

O princípio dos *softwares* livres é possibilitar a execução e adaptação, de acordo com necessidades pontuais, programando sua execução de acordo com objetivos específicos e de acordo com padrões internacionais OGC (*Open Geospatial Consortium*) e nacional INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), que definem padrões abertos de qualidade para dados espaciais. A flexibilidade de adaptação às necessidades de cada projeto, conjugada com o baixo custo de implementação, torna a escolha por plataformas *open source* uma opção viável em projetos de disponibilização de dados geoespaciais^{12,13}.

No Brasil, a INDE tem por objetivo catalogar, integrar e harmonizar dados geoespaciais produzidos por instituições governamentais. A Embrapa, empresa pública brasileira de pesquisa agropecuária, integra a rede de instituições governamentais que ajustam sua produção de dados geoespaciais à proposta da INDE, promovendo o armazenamento, o acesso e o compartilhamento dos dados e evitando a sua duplicidade.

⁵ FREHNER, M.; BRABDLI, M. Virtual database: Spatial analysis in a Web-based data management system for distributed ecological data. **Environmental Modelling & Software**, n 21, p. 1544–1554, 2006.

⁶ KELLY, N.M.; TUXEN, K. WebGIS for Monitoring "Sudden Oak Death" in coastal California. **Computers, Environment and Urban Systems**, n 27, 527–547, 2003.

⁷ MARTINS, E.M. **WebGIS aplicado ao gerenciamento costeiro**. 2013. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS, 2013.

⁸ SHI, X. et al. A WebGIS system for relating genetic soil classification of China to soil taxonomy. **Computer Geosciences**, n. 36, 768–775, 2010.320p.

⁹ VICTORIA, D. DE C. et al. (eds.). **Geotecnologias e Geoinformação: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. Brasília: Embrapa, 2014. 248 p.

¹⁰ Disponível em: mapas.cnpm.embrapa.br/peld/

¹¹ WIRKUS, L. An Open Source WebGIS Application for Civic Education on Peace and Conflict. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, n 4, p. 1013–1032, 2015.

¹² CARADONNA, G.; FIGORITO, B.; TARANTINO, E. Sharing Environmental Geospatial Data Through an Open Source WebGIS. In: GERVASI, O. et al. (eds.). **COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS**, ICCSA 2015, 15., INTERNATIONAL CONFERENCE, June 22–25 2015, Banff, AB, Canada. **Proceedings** [...]. Cham: Springer International Publishing, 2015, Part III, p. 556–565.

¹³ WIRKUS, L. An Open Source WebGIS Application for Civic Education on Peace and Conflict, *op. cit.*

Arquitetura do WebGIS

O WebGIS do PARNA da Restinga de Jurubatiba¹⁴ foi baseado em plataformas livres e em normas internacionais de serviços e protocolos de acordo com a OGC¹⁵ (*Open Geospatial Consortium*) e na norma brasileira INDE¹⁶ (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais).

O OGC foi responsável pela organização dos serviços necessários à definição de formatos e padrões para a troca de dados geoespaciais. Entre eles, estão o WMS (Web Mapping Service), que permite visualizar mapas em imagens não georreferenciadas, o WFS (Web Feature Service), que fornece acesso a dados vetoriais, e o WCS (Web Coverage Service), que permite acesso a imagens georreferenciadas¹⁷. No WebGIS do PARNA da Restinga de Jurubatiba, foram utilizados todos os padrões acima citados.

As etapas de estruturação do WebGIS são apresentadas na figura 1 e explicadas nos próximos tópicos de maneira detalhada.

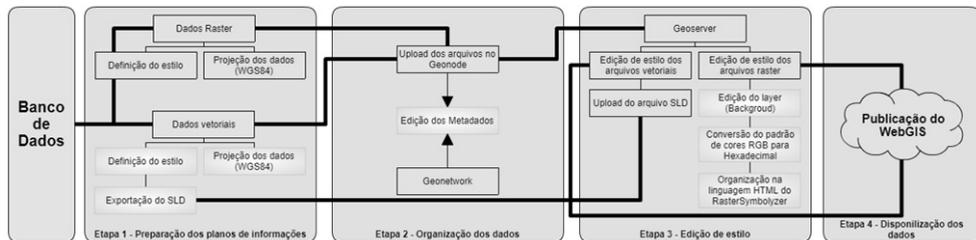


Figura 1: Fluxograma de organização do WebGIS

Fonte: Elaborado pelos autores

Preparação dos planos de informações para upload no servidor Genode

A preparação dos planos de informações foi constituída por três etapas:

- 1) Organização de uma planilha com os campos de metadados geoespaciais, utilizada na conferência dos dados, antes de sua inserção no servidor Geonode. Os metadados são informações relevantes sobre o dado, especificando critérios de acurácia, produção e procedimento; portanto, possuem informações acerca das características do dado¹⁸;
- 2) Definição de estilos e simbologias dos arquivos vetoriais em softwares de geoprocessamento, gerando arquivos SLD (*Styled Language Descriptor*) com o *plugin* ArcGIS SLD converter¹⁹. O SLD é um arquivo do tipo XML que contém informações de estilo em formato de linha de comando. O Geoserver se utiliza desse tipo de arquivo na definição dos estilos das camadas;

¹⁴ Disponível em: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/peld/>

¹⁵ Disponível em: <http://www.opengeospatial.org/>

¹⁶ Disponível em: <http://www.inde.gov.br/>

¹⁷ CRUZ, S.A.B.; SILVA, J.S.V.; MACÁRIO, C.G.N. Uma arquitetura de WebGIS para visualização de dados geoespaciais do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., , 22 a 26 de novembro de 2014, Campo Grande, MS. **Anais** [...]. Campo Grande, MS: Embrapa Informática, Agropecuária INPE, 2014. p. 992-997.

¹⁸ TAKEMURA, C.M.; DRUCKER, D.P. Processamento de imagens digitais e gestão da informação. In: TÔSTO, S.G. et al. (eds.). **Geotecnologias E Geoinformação: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. Brasília: Embrapa, 2014. 248 p.

¹⁹ WEISER, A. **Automatisierte Generierung von Styled Layer Descriptor-Dateien aus ESRI ArcGIS-Projekten zur Publikation mit OGC-konformen Mapservern**. Mainz: Fachhochschule, 2005.

- 3) Definição de estilo dos arquivos *raster*, com conversão do padrão RGB (exemplo R125 B120 G64) para o padrão hexadecimal (exemplo #7D7840:). Essa conversão pode ser feita em calculadoras científicas ou na *web* em palhetas de conversão, como, por exemplo, no site <<http://www.rgbtohex.net/>>.

Essas etapas são importantes para definir o *layout* final dos planos de informação (PI) no WebGIS, padronizando cores de acordo com nomenclaturas utilizadas na visualização dessas informações.

Organização dos metadados dos arquivos vetoriais e *raster* nas plataformas Geonode e Geonetwork

Para a implantação da infraestrutura de dados espaciais e do catálogo de dados e metadados geoespaciais de acordo com as normas da OGC e INDE, foi utilizado um geodatabase baseado no sistema gerenciador de banco de dados PostgreSQL, com extensão geográfica PostGIS e biblioteca de desenvolvimento de aplicativos GIS para a *web* OpenLayers, que possibilita a renderização de mapas interativos em uma página da internet, além de fornecer métodos para editar mapas de forma interativa²⁰.

As plataformas utilizadas na organização do banco de dados geográficos foram o GeoNode²¹, o GeoNetwork²² e o Geoserver²³, permitindo a exportação em diversos formatos, como, por exemplo, kml (*Keyhole Markup Language*), *shapefile* (ESRI) e pdf²⁴.

O GeoNode (figura 2) foi a plataforma inicial para a qual foram transferidos os arquivos *raster* e vetoriais, sendo responsável pela gestão principal dos dados geográficos, que podem ser visualizados e editados.

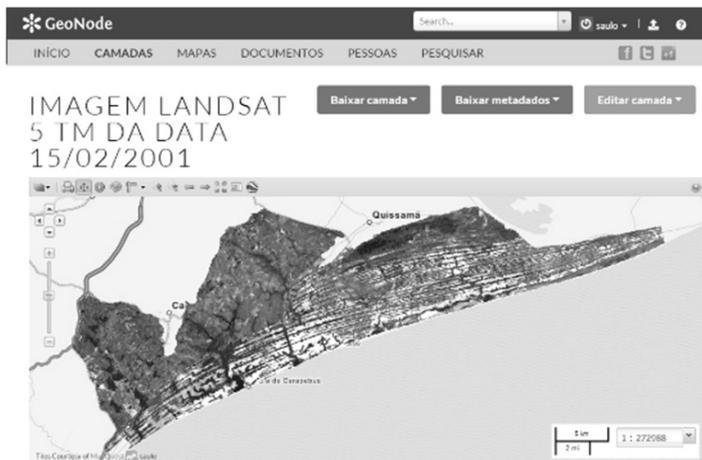


Figura 2: Página de um arquivo no Geonode

Fonte: <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/>

²⁰ SWAIN, N.R. et al. A review of open source software solutions for developing water resources web applications. **Environmental Modelling Software**, n. 67, 108–117, 2015.

²¹ Disponível em: <http://geonode.org/>

²² Disponível em: <http://geonetwork-opensource.org/>

²³ Disponível em: <http://www.geoserver.org/>

²⁴ SWAIN, N.R. et al. A review of open source software solutions for developing water resources web applications, *op. cit.*

O GeoNetwork também é um projeto *open source* utilizado para gerir recursos de referência espacial na *web*. Permite o acesso a metadados de informações georreferenciadas de várias fontes, melhorando a consulta e troca dessas informações. A plataforma suporta a criação de metadados baseados na ISO19115 e padrões *Dublin Core*²⁵.

Essa plataforma foi utilizada para inserção de referências que permitem saber o nome da camada, a origem, como foi elaborado, o responsável pela elaboração, o responsável pela distribuição e a extensão geográfica, informações que possibilitam adicionar referências confiáveis para os usuários futuros.

Edição de estilos dos arquivos vetoriais e *raster* na plataforma Geoserver

Com a plataforma Geoserver, foram implementadas todas as funcionalidades dos serviços WFS, WCS e WMS do consórcio OGC. A plataforma possui também ferramentas de administração gráfica para *web*. Nessa plataforma, foram editados os estilos, utilizando os arquivos SLD e o padrão de cores hexadecimal, além de conferidas a compatibilidade e a coerência operacional prática dos arquivos com o WebGIS, como exemplo abaixo²⁶.

```
<slid:RasterSymbolizer>
  <Opacity>1.0</Opacity>
  <ColorMap type="values">
    <ColorMapEntry color="#B6EDF0" quantity="1" label="27,3 - 28,5" />
    <ColorMapEntry color="#74B4E8" quantity="2" label="28,51 - 29" />
    <ColorMapEntry color="#1F83E0" quantity="3" label="29,01 - 29,5" />
    <ColorMapEntry color="#1D44B8" quantity="4" label="29,51 - 30" />
    <ColorMapEntry color="#090991" quantity="5" label="30,01 - 30,89" />
    <ColorMapEntry color="#448970" quantity="15" label="Nodata" opacity="0" />
  </ColorMap>
</slid:RasterSymbolizer>
```

Como funcionalidade importante do Geoserver, tem-se a integração de *OpenLayers* com Google Earth™, que possibilita ao usuário a escolha do mapa base entre os seguintes: *OpenStreetMap*, para a visualização de vias de circulação; Google Satellite, que disponibiliza imagens de satélite, em diferentes escalas e resoluções, da base de dados do Google; Google *Terrain*, que apresenta variações do relevo, e o *OpenStreetMap*, que permite acesso a vias de circulação e disponibiliza informações geográficas de pontos de interesse. Também há amplo suporte a bancos de dados espaciais como PostGIS, Oracle, ArcSDE e uma biblioteca *GeoTools* em código aberto Java, que fornece suporte a diferentes tipos de arquivos vetoriais e *raster*^{27,28}.

²⁵ RAJABIFARD, A., KALANTARI, M., BINNS, A. SDI and metadata entry and updating tools. In: LOENEN, B. VAN; BESEMER, J.W.J.; ZEVENBERGEN, J.A. (eds.). **SDI Convergence: Research, Emerging Trends, and Critical Assessment** Delft. 2009. p. 121-136.

²⁶ SWAIN, N.R. et al. A review of open source software solutions for developing water resources web applications, *op. cit.*

²⁷ BALLATORE, A. et al. A comparison of open source geospatial technologies for web mapping. **Internacional Journal of Web Engineering and Technology**, v. 6, n. 4, p. 354 - 374, 2011.

²⁸ SWAIN, N.R. et al. A review of open source software solutions for developing water resources web applications, *op. cit.*

Publicação do WebGIS

A interface do WebGIS foi desenvolvida a partir de bibliotecas e tecnologias *open source*. O *framework* (biblioteca e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas computacionais) principal utilizado foi o *Openlayers*²⁹, que permite a criação de componentes visuais e mapas dinâmicos, bem como a interoperabilidade com os geosserviços disponíveis a partir do Geoserver. O ambiente principal, assim como os componentes visuais de controle, como a árvore de camadas e as ferramentas de gestão dos mapas, foi desenvolvido a partir de um conjunto de *frameworks* em *javascript*: *Geoext*³⁰, *ExtJS*³¹ e *GXP*³². Essas três últimas bibliotecas trabalham em conjunto e em função de fornecer componentes visuais que permitem ao usuário interagir com os mapas e metadados fornecidos pela aplicação.

O GXP fornece uma ferramenta chamada *Timeline*, que permite ao usuário navegar em uma série temporal de dados geográficos. Essa navegação pode ser feita tanto em séries de vetores quanto em séries de imagens tipo *raster*. Especificamente na interface do WebGIS PELD, a ferramenta *Timeline* foi utilizada para fornecer a possibilidade da navegação em séries de imagens *rasters*. Essas séries são primeiramente publicadas via Geoserver, que aponta para uma pasta no servidor em que se encontram as imagens. Essas imagens são classificadas por meio de um campo *data/hora* que especifica a posição temporal de cada *raster* em relação à série. O Geoserver exige que se especifiquem esses parâmetros para definir uma camada temporal de *rasters*.

O *framework* GXP fornece a maioria dos componentes visuais que estão disponíveis na aplicação. A programação do uso desses componentes é feita de maneira declarativa em formato JSON (*Javascript Object Notation*³³), como no exemplo abaixo.

```
map: {
  id: "mymap", // id needed to reference map in portalConfig above
  title: "Mapa - Bacia de Campos",
  projection: "EPSG:900913",
  center: [-4619378.81, -2540439.87], // map central point - Lon,Lat
  restrictedExtent: [-4682275.53, -2569406.44, -4556154.13, -2511772.92], //
  maximum area for navigation on the map    zoom: 11,
  layers: [
    {
      source: "osm",
      name: "mapnik",
      group: "background"
    }
  ]
}
```

²⁹ Disponível em: <http://openlayers.org/>

³⁰ Disponível em: <http://geoext.org/>

³¹ Disponível em: <https://www.sencha.com/products/extjs/>

³² Disponível em: <https://github.com/boundlessgeo/gxp>

³³ Disponível em: <http://www.json.org/>

A aplicação do WebGIS, embora seja desenvolvida em Javascript, roda em um *container* Java³⁴ dentro do servidor de aplicações Tomcat³⁵. Isso acontece porque foi utilizada para o *debug* e *deploy* da aplicação a Boundless SDK³⁶, que compila e empacota toda a aplicação GXP em um *container* tipo WAR³⁷.

Resultados

Interface do WebGIS

Na parte superior, o WebGIS possui ferramentas de manipulação dos PIs, que permitem aplicar zoom, imprimir o mapa, consultar a legenda e informações da(s) camada(s) selecionada(s), medir área e distância, exportar o mapa para ser publicado em um site da *web*, e a ferramenta de visualização temporal do uso e cobertura e NDVI.

Os PIs disponibilizados representam temas do meio físico, uso e cobertura da terra e de gestão do território, divididos em arquivos *raster* e vetoriais. A interface do WebGIS possibilita a visualização e consulta dos PIs disponibilizados pelo ICMBio referentes ao Plano de Manejo da unidade de conservação e dos PIs elaborados no estudo Análise Geoecológica do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento terrestre utilizando geoprocessamento³⁸.

Na lateral esquerda da interface do WebGIS, constam os PIs. Na figura 3, estão selecionados os PIs Zona de Amortecimento e Limite do Parque.



Figura 3 - Interface do WebGIS

Fonte: mapas.cnpm.embrapa.br/peld/

³⁴ Disponível em: <https://www.oracle.com/java>

³⁵ Disponível em: <http://tomcat.apache.org/>

³⁶ Disponível em: <http://suite.opengeo.org/docs/latest/sdk-api/>

³⁷ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/WAR>

³⁸ FOLHARINI, S. de O. **Análise geoecológica do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento terrestre utilizando geoprocessamento**. 2015. xxi, 182 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2015. Disponível em: <http://www.biblioteca digital.unicamp.br/document/?code=000953751>. Acesso em: 8 mar. 2016.

Os PIs disponíveis para consulta no WebGIS são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos Planos de Informação.

(continua)

Plano de Informação	Descrição
Plano de manejo da unidade de conservação	Informações provenientes do Plano de manejo da Unidade de Conservação (UC) elaborado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), em que se observa a proposta de Zoneamento Ambiental e Áreas Estratégicas Internas e Externas, utilizadas no planejamento territorial da UC.
Limite do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento	Limites administrativos da UC, definidos no Plano de Manejo.
Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrografia	Planos de Informações que representam características estruturais e de evolução do relevo terrestre. Foram divididos nas abas Proposta Embrapa, que apresenta uma proposta de adequação dos limites das unidades mapeadas considerando imagens de alta resolução, e Plano de Manejo, que apresenta os planos de informação produzidos e disponibilizados no Plano de Manejo da Unidade de Conservação
Precipitação	Precipitação média (2000-2013) baseada em dados do sensor TRMM considerando os pixels em que se inserem os limites da área de estudo. Esses dados foram gerados a partir do cálculo da média e interpolação das informações no período 2000 a 2013.
Imagens e fotografias aéreas	Processamento de imagens obtidas pelo satélite LANDSAT 5 (TM) e disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano (USGS) no intervalo temporal de 1996 a 2011. Mosaico organizado com as fotografias aéreas obtidas na Biblioteca do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-1967) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2007. As fotografias foram digitalizadas e georreferenciadas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, com posterior processo de mosaicagem.
Uso e cobertura da terra	Uso e cobertura da terra do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba na escala 1:100.000 produzido a partir de imagens LANDSAT 5TM, utilizando-se o método Máxima Verossimilhança (MAXVER).
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	O NDVI é calculado pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas. Para o cálculo, foi utilizada imagem do satélite LANDSAT 5 TM.

Tabela 1 - Descrição dos Planos de Informação.

(conclusão)

Plano de Informação	Descrição
Análise temporal do Uso e cobertura da terra e NDVI	Varição temporal no uso e cobertura da terra e NDVI do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba produzido a partir de imagens LANDSAT 5TM.
Análise Geoecológica	Mapeamentos síntese, Sistemas Antrópicos e Naturais, Estado Ambiental, Função Geoecológica, Unidades Geoambientais da análise geoecológica proposta por Rodriguez, Silva e Cavalcanti ³⁹ e os mapeamentos de Vulnerabilidade à perda de solo, Estado Ambiental: Sentido e Magnitude, Incidência Espacial e Alcance Temporal.

Os PIs possuem informações vinculadas, chamadas metadados, que resumem e descrevem sua origem, informações de identificação, produção, localização. Para ter acesso aos metadados, é necessário clicar com o botão direito do mouse sobre o nome do PI e selecionar Metadados da camada, sendo aberta uma nova janela com os metadados, conforme figura 4.



Figura 4: Interface metadados Geonetwork

Fonte: <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/>

³⁹ RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: UFC, 2004.

Considerações finais

Considerando que o WebGIS tem acesso público, ele possui potencial de transferência de conhecimento, facilita a disseminação e permite a espacialização de dados geográficos, podendo auxiliar no gerenciamento e conservação do PARNA Jurubatiba. A utilização dessas informações na gestão ambiental da área é uma alternativa para o conhecimento da paisagem, necessário para qualquer tipo de decisão no âmbito ambiental que se relacione a UC.

Concomitantemente, o poder público local, independentemente de seu conhecimento especializado, dispõe de uma ferramenta de fácil acesso e utilização para a gestão do território. Assim, o WebGIS possibilita uma visão integral de características físicas e de uso e cobertura do PARNA da Restinga de Jurubatiba, demonstrando seu potencial como ferramenta de disponibilização de dados, sendo o primeiro repositório de dados geoespaciais da área.

Para estruturar o WebGIS do PARNA da Restinga de Jurubatiba, foram utilizadas as plataformas livres Geoserver, Geonode e Geonetwork, que integram funcionalidades específicas que, conjugadas, fornecem grande diversidade de possibilidades de interação com os dados. A utilização dessas plataformas pode ser realizada por uma equipe multidisciplinar que trabalhe com informações geográficas e tenha, entre seus objetivos, compartilhar pela *web* essas informações com a sociedade.

Entre as funcionalidades de maior destaque em cada plataforma, estão: no Geoserver, a edição de estilo e padrões das camadas; no Geonode, a estruturação do banco de dados geográficos; e, no Geonetwork, a possibilidade de criar metadados de acordo com as características de cada projeto. Com as informações constantes nos metadados, o usuário tem a certeza da origem daquela informação, seja ela proveniente de instituições oficiais, empresas ou estudos acadêmicos.

É importante salientar, ainda, que as informações foram catalogadas de acordo com os normas e padrões da OGC e INDE, facilitando o acesso e manipulação porque criam uma linguagem padrão necessária na disponibilização dos dados geoespaciais.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (número do processo: 403841/2012-7) e bolsa DTI-B do primeiro autor (número do processo: 380557/2015-0).

Glossário de termos técnicos

Debug - Processo de depuração responsável por encontrar erros e falhas em um aplicativo de software.

Deploy - Fase do ciclo de vida de um *software*, responsável por transferi-lo do ambiente de desenvolvimento para o ambiente de produção.

FOSS (Free and Open Source Software) - software de código aberto e livre.

Framework - Abstração que une códigos comuns entre vários projetos de *software*, provendo uma funcionalidade genérica; Geoinfo: Infraestrutura de dados espaciais da Embrapa que armazena, organiza e disponibiliza dados espaciais produzidos pela empresa.

Geonetwork - Sistema de código aberto para gerenciamento de dados espaciais.

Geonode - Sistema de código aberto para gerenciamento de dados espaciais.

Geoserver - Servidor de código aberto para compartilhar dados espaciais.

GeoTools - Ferramentas que integram o WebGIS e possibilitam ao usuário fazer consultas diversas, como área, metadados etc.

INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) - Definem padrões abertos de qualidade para dados espaciais em nível nacional.

KML (Keyhole Markup Language) - Formato de arquivo vetorial utilizado pelo Google Earth.

Metadados - Informações sobre o dado. O objetivo é detalhar, o máximo possível, o dado com informações de origem, como foi elaborado e disponibilizado.

OGC (Open Geospatial Consortium) - Define padrões abertos de qualidade para dados espaciais em nível internacional.

Open source - *Softwares* de código aberto, que podem ser modificados e distribuídos sem custo para qualquer pessoa e qualquer finalidade.

Openlayers - Biblioteca JavaScript open source utilizado para exibir dados espaciais em páginas da *web*.

OpenStreetMap - Projeto com objetivo de criar um mapa colaborativo e livre do mundo

PostGIS - Banco de dados espacial para banco de dados PostgreSQL.

Raster - Relacionado a imagens de satélite.

Shapefile - Dado vetorial usado pelo Sistema de Informação Geográfica ArcGIS da ESRI.

SLD (Styled Language Descriptor) - Códigos que definem a simbolização e coloração de arquivos vetoriais e raster.

Timeline - Linha do tempo, recurso criado com a sobreposição de imagens de satélite de diferentes datas que mostram as mudanças no uso e cobertura da terra

WCS (Web Coverage Service) - Geosserviço que responde, em formato de arquivo XML, a requisições espaciais solicitadas. Permite apenas consulta, com resposta em imagens.

WebGIS - Sistema web que disponibiliza informações geográficas para consulta e visualização.

WFS (Web Feature Service) - Geosserviço que responde, em formato de arquivo XML, a requisições espaciais solicitadas. Permite leitura e alteração, com resposta em dado vetorial.

WMS (Web Mapping Service) - Geosserviço que responde, em formato de arquivo XML, a requisições espaciais solicitadas. Gera arquivos rasters, permitindo leitura e alteração.

ESTADO AMBIENTAL: MAGNITUDE, ALCANCE TEMPORAL E ESPACIAL DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA

Saulo de Oliveira Folharini (UNICAMP) · André Luiz dos Santos Furtado (EMBRAPA)
Regina Célia de Oliveira (UNICAMP)

Introdução

No Brasil, a ocupação e a estruturação de núcleos urbanos da zona costeira remetem ao século XV, com a chegada dos portugueses, mas é no final da década de 1950 que esse processo toma grandes proporções, devido à instalação de plantas industriais de setores ligados ao comércio marítimo, facilitando a exportação de produtos e importação de insumos¹.

A especulação imobiliária decorrente, inicialmente, da implantação das indústrias na zona costeira também foi responsável por atrair grande contingente populacional fixo, acarretando instabilidades no sistema ambiental devido à falta de planejamento adequado de uso e ocupação. Outro ponto responsável por aumentar a ocupação da zona costeira é a sua beleza cênica, que atrai investimentos turísticos e aumenta os fluxos internos e a demanda estrangeira. Esse setor atualmente é um dos que mais cresce, tendo o governo como grande incentivador e financiador (MORAES, 2007).

Na zona costeira brasileira, hoje, são encontradas grandes cidades e capitais de Estados da Federação, que formam extensos aglomerados urbanos com funcionalidades diversas, de comércio, indústria, terceiro setor, serviços públicos e sedes governamentais.

O norte fluminense passou por intensa transformação na ocupação de seu território a partir da década de 1970, com a descoberta de petróleo na bacia de Campos. Em 1977, a Petrobras instalou no município de Macaé um terminal de apoio às atividades exploratórias da bacia de Campos, mudando substancialmente a configuração do espaço e o mercado de trabalho. O interesse pela instalação da base operacional de exploração de petróleo da Bacia de Campos no município de Macaé foi devido ao grande crescimento econômico e às suas condições portuárias².

¹ MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Annablume, 2007.

² FEEMA. **Perfil ambiental**: municípios de Macaé e Quissamã. Rio de Janeiro: [S.n.], 1989.

Essa grande concentração populacional potencializa a degradação dos ambientes costeiros, cenário que pode ser contornado com a delimitação de áreas de preservação, mantendo o equilíbrio natural de ecossistemas. Com objetivo de preservar o ecossistema costeiro de restinga existente na região do município de Macaé, é instituído em 29 de abril de 1998 o Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, que abrange parte da área costeira de Macaé, Quissamã e toda a faixa costeira do município de Carapebus.

Com o objetivo de identificar, especializar e analisar os impactos ambientais existentes na área, é proposta a elaboração do Estado Ambiental, considerando para tanto as Unidades Geoambientais delimitadas pelo estudo de Folharini³.

Área de estudo

O PARNA da Restinga de Jurubatiba está localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, em uma área de restinga entre as coordenadas geográficas 22°00' e 22°23'S e 41°15' e 41°45'O. Sua área é de aproximadamente 149,22 km², com cerca de 4 km de largura e 44 km de extensão, e sua zona de amortecimento terrestre é de 387,41 km². Atinge os municípios de Macaé, Quissamã e Carapebus, que possuem, respectivamente, 206.728, 20.242 e 13.359 habitantes⁴ (figura 1).

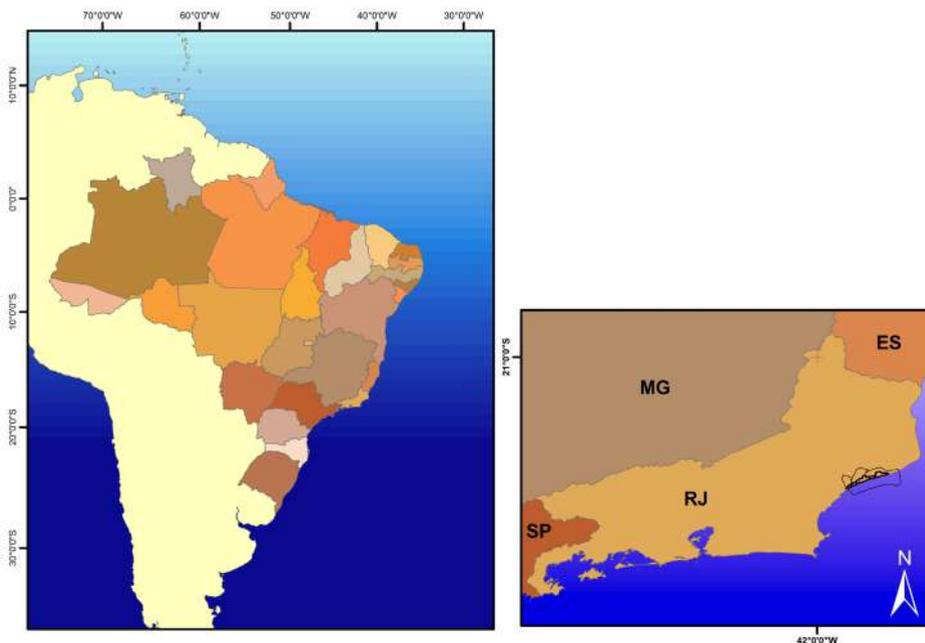


Figura 1: Localização da área de estudo (continua)

Fonte: elaborado pelos autores.

³ FOLHARINI, S. O. **Análise Geoecológica do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento terrestre utilizando geoprocessamento.** 2015. 193 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2015.

⁴ IBGE. **Censo Demográfico 2010.**

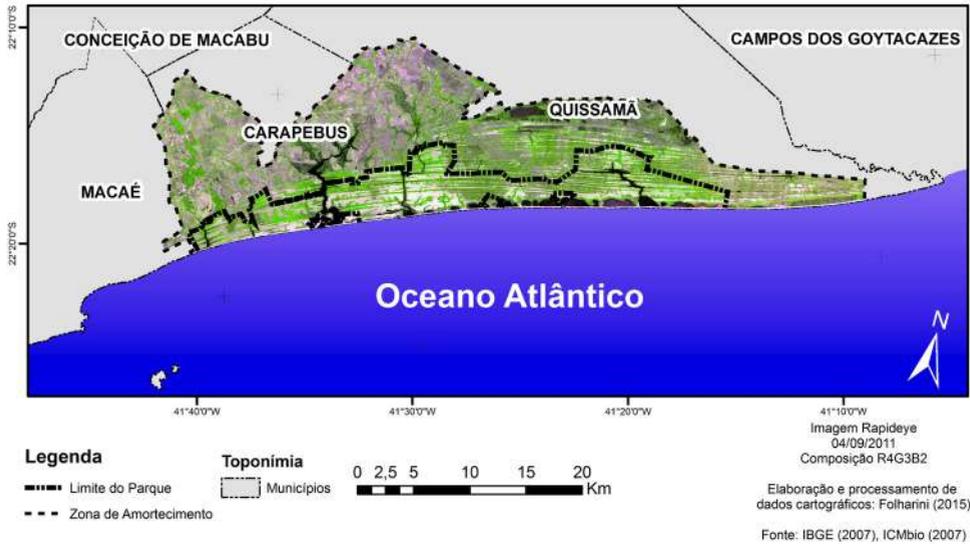


Figura 1: Localização da área de estudo

(conclusão)

Fonte: elaborado pelos autores.

Criado em 29 de abril de 1998, é administrado pelo ICMBio e não tem situação fundiária regularizada. Está sujeito a diversos tipos de ação antrópica, por exemplo: atividades agrícolas, caça e pesca irregulares, queimadas e loteamentos.

O significado do termo restinga no nome do parque é empregado no sentido botânico, designando formações vegetais arbustivo-arbóreas. A palavra restinga, nesse contexto, engloba diferentes comunidades vegetais que se desenvolvem nas praias, antedunas e cordões litorâneos⁵.

No tocante às características geomorfológicas, Suguio e Tessler⁶ consideram que o termo restinga relaciona-se a depósitos arenosos costeiros com origens diversas, como as formações de cordões litorâneos, praias, barreiras, barras, esporões. Nesse contexto, os cordões litorâneos formam as planícies arenosas que têm sido denominadas planícies de restinga.

Metodologia

A análise sistêmica da paisagem considera que ela evolui de acordo com a interação dos elementos constituintes. Considerando uma análise integrada, Rodriguez, Silva e Cavalcanti⁷ propõem uma estrutura de procedimentos operacionais básicos a serem seguidos para desenvolver estudos de análise da paisagem:

⁵ ICMBIO. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**: Contextualização da Unidade de Conservação. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

⁶ SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L. D. et al. (eds.). **Restingas**: origem, estruturas e processos. Niterói: [S. l.], 1984. p. 15-25.

⁷ RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: UFC, 2004.

- 1) Organização da pesquisa, em que são definidos justificativa, objetivos, área e adequação do cronograma;
- 2) Inventário dos componentes antrópicos e naturais, que tem por objetivo entender a organização funcional e espacial da paisagem;
- 3) Análise dos componentes antrópicos e naturais com objetivo de delimitar e diferenciar as unidades geoambientais;
- 4) Diagnóstico das unidades geoambientais, indicando os principais problemas ambientais e caracterizando o cenário atual, definido como Estado Ambiental;
- 5) Proposições, definindo uma análise de tendências futuras para o quadro atual;
- 6) Executiva, com abordagem dos instrumentos legais necessários para a definição de estratégias e mecanismos de gestão ambiental.

A paisagem, nesse contexto, é considerada um sistema aberto que troca energia e matéria com paisagens ao redor. Estudos realizados considerando as etapas anteriores possibilitam o conhecimento de processos naturais e humanos de formação do território, subsidiando políticas públicas para o ordenamento territorial.

Na fase de diagnóstico, a elaboração do Estado Ambiental é etapa síntese; considerando as informações levantadas até esse ponto, é elaborado um mapeamento que representa a capacidade de absorção e resposta de uma unidade geoambiental frente a um tipo de impacto e seu grau de modificação.

Para a definição dos impactos ambientais, efeitos e consequências, foram consideradas as seguintes informações:

- 1) Quais **impactos ambientais**, ou seja, quais transformações e modificações causaram alteração da dinâmica de processos naturais;
- 2) **Efeitos e consequências ambientais** proporcionados nas unidades pelos impactos ambientais;
- 3) **Estado ambiental** da unidade, definido pelo grau de degradação ambiental.

A definição dos impactos ambientais foi realizada com base em informações contidas no plano de manejo, que pontuou os principais problemas ambientais observados, e em trabalhos de campo realizados em dezembro de 2013 e setembro de 2014, em que foram validadas as informações do plano de manejo.

Para a representação do Estado Ambiental, seguiu-se a divisão das classes propostas por Rodriguez e Martinez⁸ e por Glazovskiy⁹:

- 1) Estável (não alterado): a unidade conserva a estrutura original, não ocorrendo problemas ambientais significativos porque a ação antropogênica não é significativa. São áreas de paisagem natural, configurando-se em núcleos de estabilidade ecológica;

⁸ RODRIGUEZ, J. M. M.; MARTINEZ, M. C. **La regionalización geocológica como base para La determinación Del estudio y La situación médio-ambiental de Cuba.** La Havana: Sección Cubana de la U. G. I., 1998. p. 12.

⁹ GLAZOVSKIY, N. F. Map of the state of the environmental: A global overvie. **Bulletim I. G. U.**, v. 2, n. 48, p. 29-34, 1998.

- 2) Medianamente Estável: a unidade tem poucas mudanças em sua estrutura. São áreas utilizadas pelo homem, mas com atividades que não interferem na sustentabilidade, garantindo seu uso por várias gerações;
- 3) Instável: unidades que sofreram mudanças na sua estrutura funcional e espacial, não cumprindo sua função geoecológica. A ocorrência de problemas ambientais e a exploração dos recursos naturais possivelmente potencializam sua perda pelas novas gerações;
- 4) Crítico: unidades perdem parcialmente sua estrutura funcional e espacial e, paulatinamente, sua função geoecológica. Os problemas ambientais observados são de forte intensidade. O uso da terra e os impactos antrópicos resultantes já ultrapassaram o limite de resposta da natureza. São necessárias medidas mitigadoras urgentes para recuperação do potencial natural. Mesmo com as medidas mitigadoras, os processos geoecológicos levarão pelo menos uma geração para estabilização;
- 5) Muito crítico: a estrutura espacial e funcional sofre alteração generalizada. Os problemas ambientais são de intensidade muito forte. O potencial natural foi completamente alterado. Não são consideradas áreas apropriadas para ocupação humana, sendo que a população existente deve ser realocada.

Na classificação do Estado Ambiental das unidades geoambientais delimitadas por Folharini¹⁰, considerou-se a pontuação dos problemas ambientais observados em trabalho de campo e em análises de imagens de satélite.

A pontuação do Estado Ambiental definiu valores que foram atribuídos aos Efeitos e Consequências Ambientais proporcionados pelas Ações de Impacto Ambiental. Esses valores foram somados, e o resultado dividido por cinco, para os valores serem classificados na escala de 1 a 5 (tabela 1), proposta por Rodriguez e Martinez¹¹ e por Glazovskiy¹².

Tabela 1 - Classes propostas para o Estado Ambiental

Classe	Valor
Estável	1
Medianamente Estável	2
Instável	3
Crítico	4
Muito Crítico	5

¹⁰ FOLHARINI, S. O. **Análise Geoecológica do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento terrestre utilizando geoprocessamento**, *op. cit.*

¹¹ RODRIGUEZ, J. M. M.; MARTINEZ, M. C. **La regionalización geoecológica como base para La determinación Del estudio y La situación médio-ambiental de Cuba**, *op. cit.*

¹² GLAZOVSKIY, N. F. Map of the state of the environmental: A global overvie, *op. cit.*

Já os impactos ambientais foram avaliados considerando sua incidência espacial, alcance temporal, sentido e magnitude, de acordo com a proposta de matriz de interação ou matriz de Leopold, desenvolvida por Leopold *et al.*¹³, de magnitude e importância e implementada por Cunha *et al.*¹⁴.

Na identificação e análise do impacto ambiental, é proposta a elaboração de uma matriz de interação (tabela 2), que possibilita uma avaliação semiquantitativa dos impactos ambientais, de acordo com o âmbito espacial e o alcance temporal dos impactos identificados, contribuindo para uma avaliação holística e integrada das condições ambientais. Essa matriz é estruturada em dois eixos, o de ações que causam impacto ambiental (definida neste estudo como Ações de Impacto Ambiental) e o de condições ambientais que podem ser afetadas (definidas neste estudo como Unidades Geoambientais), podendo as ações terem tempo prolongado de impacto.

Para avaliar os impactos ambientais, é necessário definir uma escala de valores, pontuando-os na matriz de interação. Para tanto, foi utilizada a proposta de Rodriguez e Martinez¹⁵ e de Glazovskiy¹⁶, que definem as classes: estável (1), medianamente estável (2), instável (3), crítico (4) e muito crítico (5).

Tabela 2 - Exemplo de matriz de interação

	Ação de Imp. Amb. 1	Ação de Imp. Amb. 2
Unidade Geoambiental 1	1 a 5	1 a 5
Unidade Geoambiental 2	1 a 5	1 a 5

Fonte: Elaboração Folharini (2015)

Por considerar o âmbito espacial e o alcance temporal, Cunha *et al.*¹⁷ propõem a elaboração de três matrizes de interação: a de **sentido e magnitude**, que identifica o impacto e classifica sua magnitude; a de **incidência espacial**, que identifica se o impacto tem incidência local, regional ou suprarregional; e a de **alcance temporal**, que define se o impacto ambiental é temporário, de longo prazo ou permanente.

Considerando essa proposta, foram elaboradas as três matrizes propostas por Cunha *et al.*¹⁸ com o objetivo de embasar a ponderação estabelecida nos Efeitos e Consequências Ambientais do Estado Ambiental. Assim, a avaliação do Estado Ambiental passa a ser consistente diante das características temporais, espaciais e de magnitude dos impactos ambientais observados.

¹³ LEOPOLD, L. B. *et al.* A procedure for evaluating environmental impact. **US Geological Survey Circular**, v. 645, p. 1-13, 1971.

¹⁴ CUNHA, L. *et al.* Intervenções recentes e avaliação de impactos ambientais no baixo Mondego. **Cadernos de Geografia**, Coimbra, F.L.U.C., v. 1, n. 18, p. 39-52, 1999.

¹⁵ RODRIGUEZ, J. M. M.; MARTINEZ, M. C. **La regionalización geocológica como base para La determinación Del estudio y La situación médio-ambiental de Cuba**, *op. cit.*

¹⁶ GLAZOVSKIY, N. F. Map of the state of the environmental: A global overview, *op. cit.*

¹⁷ CUNHA, L. *et al.* Intervenções recentes e avaliação de impactos ambientais no baixo Mondego, *op. cit.*

¹⁸ *Ibid.*

Resultados

Os problemas ambientais geram efeitos e consequências que causam a modificação das características naturais da paisagem e da vida da população que habita o local (Figura 2, tabelas 3 e 4¹⁹). Os impactos ambientais observados foram considerados para a definição dos seguintes efeitos e consequências:

- 1) Erosão da praia e da pós-praia: ocasionada pela dinâmica natural da maré e das condições climáticas da área, não sofrendo grande interferência antrópica;
- 2) Poluição das águas: relaciona-se à ocupação da área; esse efeito é causado por dejetos dos esgotos em cursos fluviais da região que acabam nas lagoas, nas quais esse material pode ficar depositado por período indeterminado. Além do despejo de esgotos, outra variável que pode contribuir para a poluição é a utilização de agrotóxicos na agricultura, já que a área é tradicionalmente ocupada por esse setor da economia;
- 3) Compactação do solo: relaciona-se às áreas de pastagem e solo exposto onde a utilização e alteração constante do meio ambiente acarretam baixa fertilidade, prejudicando a produção agrícola e a recomposição da vegetação natural;
- 4) Alteração da drenagem: é um efeito causado desde o princípio da colonização da área de planície litorânea. A população que sempre ocupou essa área tinha essa alternativa para tentar escoar a água de sua propriedade após os períodos de chuva, que causavam a perda da pastagem e, conseqüentemente, da alimentação para a criação. Alterando essa dinâmica natural das águas superficiais, processos erosivos e de inundações foram acelerados;
- 5) Assoreamento das lagoas: relaciona-se à alteração da drenagem; os sedimentos trazidos pelos cursos d'água que acabam nas lagoas e ali são depositados, causando assoreamento;
- 6) Perda da biodiversidade: esse efeito é observado nas áreas de ocupação antrópica, sejam elas ocupações consolidadas ou não, e em áreas de agricultura que retiraram a vegetação natural, modificando o cenário natural da paisagem. Com a criação do parque e a análise da evolução do uso e cobertura da terra, comprova-se que essa degradação vem diminuindo com o tempo;
- 7) Carência de infraestrutura urbana: A ocupação é feita por pequenas propriedades voltadas para a subsistência e por algumas áreas de plantação de cana-de-açúcar em larga escala nos municípios de Carapebus e Quissamã. Já em Macaé, o parque se limita com o bairro Lagomar, ocupação com pouca infraestrutura urbana, onde vive população de baixa renda. Considerando esse cenário, a área de estudo sofre pressões de ocupação devido à incapacidade do poder público de regulamentar a ocupação do território.

¹⁹ Para visualização do mapa e tabelas em tamanho A3 acesse: <http://www.ige.unicamp.br/real/wp-content/uploads/sites/10/2014/02/estado-ambiental.pdf>

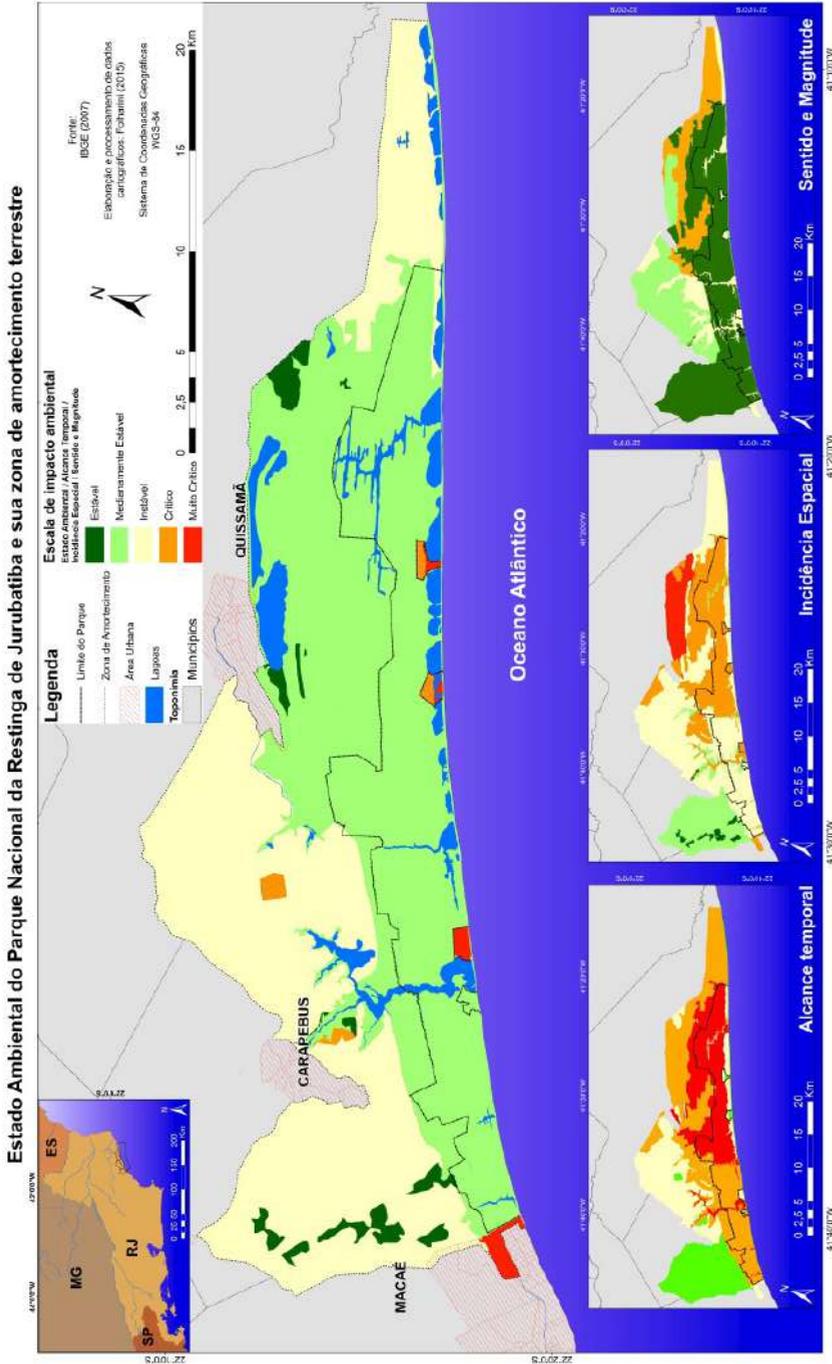


Figura 2 – Estado ambiental do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e sua zona de amortecimento terrestre

Fonte: organizado pelos autores

(continua)

Tabela 3 - Matriz de Estado Ambiental

UNIDADE GEOAMBIENTAL	SISTEMA ANTRÓPICO OU NATURAL	UNIDADE DE OCUPAÇÃO		Procedimento para Avaliação de Impactos (Matriz de Localidades)	AÇÕES DE IMPACTO AMBIENTAL												EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS										ESTADO AMBIENTAL		
		Condição de Ocupação	Tipo de Ocupação		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20					
Planície flúvio-lacustre	vegetação de área úmida	não ocupada	vegetação de pequena porte associada a dinâmica natural dos cursos fluviais	Marginalidade	1	0	0	3	5	4	0	0	3	0	0	16	3	1	4	1	1	3	1	1	12	2	4		
				Incidência Espacial	1	0	0	3	1	5	4	0	1	3	0	20	5												
	pastagem	não consolidada	pequenas propriedades rurais com criação principal de bovinos	Marginalidade	2	0	1	3	4	0	3	4	2	6	0	18	3	3	3	2	1	5	1	5	1	18	3	6	
				Incidência Espacial	1	0	1	3	2	3	3	2	0	4	0	19	3	3	3	2	1	3	1	3	1	1	12	2	4
Complexo de lagoas paradas e seca	vegetação de área úmida	não ocupada	vegetação de pequena porte associada a dinâmica natural dos cursos fluviais	Marginalidade	1	0	0	3	1	0	2	0	0	0	0	6	1	2	1	1	3	1	1	3	1	1	12	2	
				Incidência Espacial	1	0	0	3	1	0	2	0	0	1	0	16	3	2	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	12
	tubo	consolidada	seus urbanos com predomínio residencial	Marginalidade	2	0	1	2	4	2	1	0	1	0	15	3													
				Incidência Espacial	1	3	0	1	0	4	0	0	0	0	0	14	2												
Planície flúvio-marinha	tubo	não ocupada	vegetação de restinga com tamanho diverso, mata, matas e ervas de grande porte	Marginalidade	3	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	8	1	3	0	1	2	1	1	1	1	1	10	2	
				Incidência Espacial	3	0	0	2	1	4	1	0	0	1	0	16	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	10
	cobertura vegetal costeira	consolidada	seus urbanos com predomínio residencial	Marginalidade	1	4	3	0	4	0	1	0	0	6	3	0	16	3											
				Incidência Espacial	1	4	0	4	3	3	0	0	0	3	0	22	4	1	5	4	4	5	4	5	3	28	5	6	
Planície marinha	cobertura vegetal costeira	não ocupada	vegetação de restinga com tamanho diverso, mata, matas e ervas de grande porte	Marginalidade	3	0	0	2	3	0	1	0	0	0	7	1													
				Incidência Espacial	3	0	0	2	3	4	1	0	0	3	0	19	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	10	2
	tubo	consolidada	seus urbanos com predomínio residencial	Marginalidade	4	0	2	4	4	4	1	0	3	0	23	4													
				Incidência Espacial	4	0	2	4	4	4	1	0	3	0	30	4	6	5	4	4	5	4	5	3	28	5	6		
Planície marinha	cobertura vegetal costeira	não ocupada	pequenas propriedades rurais com criação principal de bovinos	Marginalidade	1	4	3	0	3	0	1	0	0	3	0	15	3												
				Incidência Espacial	1	4	0	4	3	4	0	0	1	0	21	4	2	5	4	4	5	4	5	3	28	5	6		
	cobertura vegetal costeira	consolidada	vegetação de restinga com tamanho diverso, mata, matas e ervas de grande porte	Marginalidade	3	0	0	2	4	1	2	0	0	1	0	20	4												
				Incidência Espacial	3	0	0	2	4	4	3	1	0	3	0	25	5	3	2	1	2	1	1	1	1	1	10	2	
Planície lacustre	pastagem	não consolidada	pequenas propriedades rurais com criação principal de bovinos	Marginalidade	1	0	1	3	4	0	2	4	0	3	0	20	4												
				Incidência Espacial	1	0	1	3	4	0	3	2	0	1	0	17	3	3	3	2	3	5	1	19	3	8			
	vegetação de área úmida com pastagem	não consolidada	seus de imediate degradada pela ação antrópica	Marginalidade	3	0	0	2	1	0	3	4	2	0	0	7	1												
				Incidência Espacial	3	0	0	2	1	5	4	2	0	0	0	7	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	8
Planície lacustre	cobertura vegetal costeira	não ocupada	vegetação de restinga com tamanho diverso, mata, matas e ervas de grande porte	Marginalidade	2	0	0	2	3	0	3	1	0	3	0	17	3												
				Incidência Espacial	2	0	0	2	3	0	3	1	0	3	0	17	3	3	3	2	3	5	1	1	1	1	1	9	1
	pastagem	não consolidada	pequenas propriedades rurais com criação principal de bovinos	Marginalidade	1	0	1	3	4	4	2	0	3	0	21	4													
				Incidência Espacial	1	0	1	3	4	4	2	0	4	0	25	5	3	3	3	2	3	5	1	20	4				
Planície lacustre	vegetação de área úmida com pastagem	não consolidada	seus de imediate degradada pela ação antrópica	Marginalidade	3	0	0	3	0	3	0	0	0	0	12	2													
				Incidência Espacial	3	0	0	3	0	3	0	0	0	0	12	2	3	2	4	3	4	4	1	21	4	2	4		
	cobertura vegetal costeira	não ocupada	vegetação de restinga com tamanho diverso, mata, matas e ervas de grande porte	Marginalidade	3	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	7	1												
				Incidência Espacial	3	0	0	2	1	5	4	2	0	0	0	7	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1

O resultado do Estado ambiental foi a definição de cinco classes: estáveis, que correspondem aos remanescentes florestais e locais próximos às lagoas do Ribeira e Carapebus; medianamente estáveis, que são áreas de planície litorânea influenciadas por impactos ambientais ocorridos em locais na proximidade; instáveis, que são decorrentes do uso praticado, locais onde predominam pastagem e solo exposto, basicamente na zona de amortecimento; críticas, onde há ocupação antrópica consolidada e no braço da lagoa de Carapebus, que liga a área urbana do município à lagoa; e muito críticas, com ocupação antrópica consolidada, como, por exemplo, o bairro Lagomar no município de Macaé, que não se expande porque existe o limite do PARNA, além das áreas dos balneários.

Nos balneários, há monitoramento constante por parte do ICMBio em relação às atividades desenvolvidas, inclusive com termo de ajustamento de conduta assinado pelos pescadores, que regulamenta sua atividade de pesca na área. Por essas áreas se encontrarem consolidadas antes da criação do PARNA, foram consideradas muito críticas, pelo tempo de ocupação e modificações que já sofreram.

A análise do Estado Ambiental foi complementada com a matriz de interação de Leopold *et al.*²⁰, identificando cenários de incidência espacial em áreas de remanescentes florestais na zona de amortecimento, áreas medianamente estáveis que ocorrem nas colinas altas e nas áreas de inundação, áreas instáveis que ocorrem nas colinas baixas, planície flúvio-marinha, complexo de lagoas paralelas à praia, borda da lagoa do Ribeira e pastagens ao norte do limite do PARNA.

Áreas críticas, locais com ocupação antrópica, agricultura, planície marinha e áreas de inundação das lagoas, e áreas muito críticas localizam-se na lagoa do Ribeira, que é o local mais afetado pela ocupação existente, seja a pecuária, agricultura ou a área urbana de Quissamã; alcance temporal não possui áreas estáveis, ou seja, os impactos ambientais têm a capacidade de agir por períodos de tempo diversos; assim, a única forma de não ocorrerem impactos ambientais é a ausência total de interferência no ambiente.

Áreas medianamente estáveis localizam-se nas colinas altas; áreas instáveis localizam-se nas colinas baixas, onde há áreas com maior intervenção antrópica, principalmente porque nessas áreas ocorrem extensas pastagens; áreas críticas encontram-se em locais com agricultura e parte das planícies flúvio-marinha e litorânea ao norte do limite do PARNA.

Áreas muito críticas ocorrem na planície marinha e em áreas de inundação das lagoas, porque são locais que recebem sedimentos e matéria de locais mais altos do relevo e estão conectados com o interior do PARNA; sentido e magnitude têm áreas estáveis nas colinas altas, planície flúvio-marinha e planície marinha até o limite do PARNA, onde começam as pastagens e a área se torna crítica; áreas medianamente estáveis são áreas de colinas baixas e na Lagoa do Ribeira. Áreas instáveis são locais onde ocorrem agricultura, ocupação antrópica e áreas de lagoas, porque são locais mais afetados por interferências que ocorrem ao seu redor; e áreas críticas são onde se localizam as pastagens ao redor da Lagoa do Ribeira e ao norte do limite do PARNA.

²⁰ LEOPOLD, L. B. *et al.* A procedure for evaluating environmental impact, *op. cit.*

Nesta análise, o Alcance Temporal foi inversamente proporcional ao Sentido e Magnitude, mesmo predominando impactos ambientais de baixa magnitude. Estes têm capacidade de ocorrer por maior tempo, ou seja, seu alcance temporal é maior. Já a Incidência Espacial tem impactos ambientais diversos, com localização variada na área de estudo.

Com a criação do PARNA, limitação do acesso e atividades de uso controladas, ocorreu diminuição dos impactos ambientais, sendo os mais evidentes concentrados na zona de amortecimento, onde se encontram pequenos núcleos urbanos, com infraestrutura pública não efetivamente implantada.

Na zona de amortecimento, também ocorrem extensas áreas de pastagens que podem acelerar processos erosivos, devido à falta de cobertura vegetal natural. Essa questão, relacionada à intensa modificação da rede de drenagem pela qual passou a planície litorânea nos três últimos séculos, acelera o processo de deposição de sedimentos nas lagoas costeiras, causando seu assoreamento.

Considerações finais

A proposta deste estudo foi ampliar a discussão sobre o Estado Ambiental proposta na metodologia de Rodriguez, Silva e Cavalcanti²¹, incorporando a metodologia de matriz de interação desenvolvida por Leopold *et al.*²² e aplicada por Cunha *et al.*²³, identificando e caracterizando de maneira espacial, temporal e de magnitude os impactos ambientais. Considerando os apontamentos desses autores, foi proposto o mapeamento de Estado Ambiental, com uma visão espacial e temporal dos impactos ambientais ocorridos em cada unidade geoambiental, atribuindo uma visão semiquantitativa na análise.

Esse monitoramento pode ser realizado através de imagens de satélite, identificando alterações de uso e elaborando uma análise temporal que indica os impactos ambientais. Já a frequência com que ocorrem os impactos ambientais irá definir a magnitude dos eventos, e como os impactos ambientais se distribuem pelo território define seu alcance espacial. Para complementar as informações da análise temporal de imagens de satélite, é indicada a realização de trabalho de campo e consulta ao Plano de Manejo se o estudo, como este, for realizado em uma unidade de conservação.

O resultado do Estado Ambiental indica que a zona de amortecimento da unidade de conservação é a área mais afetada por impactos ambientais. Mesmo não tendo alta recorrência de impactos ambientais dentro dos limites do PARNA, quaisquer modificações realizadas em áreas de pastagens da zona de amortecimento podem interferir diretamente no sistema lagunar dentro do PARNA, principalmente pelo assoreamento dos canais de drenagem. A supressão da vegetação nativa é o principal impacto ambiental observado.

²¹ RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental, *op. cit.*

²² LEOPOLD, L. B. *et al.* A procedure for evaluating environmental impact, *op. cit.*

²³ CUNHA, L. *et al.* Intervenções recentes e avaliação de impactes ambientais no baixo Mondego, *op. cit.*

Em relação ao Alcance Temporal dos impactos ambientais, a cenário é mais preocupante, e isso é justificado pela configuração geomorfológica da área, dominada por extensas planícies costeiras. A recepção e o armazenamento de matéria e energia são muito intensos, o que acaba elevando muito o tempo de atuação dos impactos ambientais.

Já a Incidência Espacial é mais preocupante na área da Lagoa do Ribeira, na zona de amortecimento, área dominada por pastagens utilizadas para criação de gado. O Sentido e Magnitude, alcançando resultados estáveis na maior parte da planície costeira e, conseqüentemente, nos limites do PARNA, indica que a constituição da unidade de conservação foi um mecanismo eficiente para minimizar os efeitos da expansão de uso na área.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (número do processo: 403841/2012-7) e bolsa DTI-B do primeiro autor (número do processo: 380557/2015-0).

A UTILIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS EM REDUÇÃO DE RISCOS

Cynthia Maria Amaral (UFF) • Claudio Henrique Reis (UFF)
José Augusto Ferreira da Silva (IFFluminense) • Raul Reis Amorim (Unicamp)

Introdução

A expansão urbana e sua forma de ocupação interferem nos impactos ambientais em áreas denominadas de risco, ou seja, áreas que podem ser atingidas por fenômenos, processos naturais ou induzidos, que causem perdas materiais e patrimoniais e efeito danoso à integridade física dos que ali habitam¹. Esses processos são importantes para compreensão e identificação das rápidas transformações da paisagem, sobretudo nas encostas urbanas e fundos de vale. As intervenções antrópicas nesses ambientes afetam as formas do relevo e seus processos naturais operantes, podendo gerar desequilíbrio natural e catástrofes, a depender da localização da área e do seu material constituinte^{2,3}.

O relevo acidentado, com altas declividades e dissecação profunda vertical, e as chuvas concentradas são as principais variáveis que possibilitam a frequente ocorrência de movimentos de massa nas encostas por meio do rápido escoamento superficial, que se intensifica quando há aumento da urbanização⁴.

Os movimentos de massa, processo natural de modificação da paisagem, são caracterizados como o transporte coletivo de material, seja rochoso e/ou de solo, em que a ação da gravidade tem função principal, podendo ou não ser potencializado pela ação da água, sobretudo das precipitações⁵.

Estudos especializados sobre o tema têm destacado a continuidade e frequência desse evento, caracterizando seus elementos naturais em conjunto com as alterações antrópicas nas feições do relevo, comumente com elevado grau de declividade. Nesse sentido, Guimarães

¹ BRASIL. Ministério das Cidades. IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília, 2007. 176 p. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

² GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 13-42.

³ GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 189-252.

⁴ VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 111-145.

⁵ GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 192 p.

et al. (2008)⁶ expõem que as atividades e alterações humanas nos espaços urbanos têm se tornado de maior preocupação devido à irregular e intensa ação nas encostas, com corte de sopés, retirada de taludes e da cobertura vegetal, acelerando e promovendo a ocorrência dos movimentos de massa, principalmente dos escorregamentos de terra.

Essas alterações, sobretudo a urbanização desordenada alinhada ao processo de desmatamento, também aumentaram significativamente o número de pessoas afetadas pelo processo de inundação nas áreas de fundos de vale. A inundação, por sua vez, caracteriza-se pelo extravasamento dos cursos d'água que passam a atingir o leito maior, ainda dentro do limite da planície de inundação, mas que se encontra irregularmente ocupado nas áreas urbanas⁷.

Os tipos de inundação que podem atingir essas áreas são as graduais e as bruscas, sendo que as primeiras acontecem em maior intervalo de tempo, ou seja, a cheia dos rios ocorre vagarosamente até sua cota e, assim, há o extravasamento. Nesse tipo de inundação, é possível que se alarme a população residente para que saia de suas residências. Por outro lado, na inundação brusca, não há tempo de fato para avisos, a cheia acontece em um curto espaço de tempo, e ocorre o extravasamento de forma repentina, gerando prejuízos e promovendo catástrofes⁸.

As áreas não recomendadas para instalação ou qualquer tipo de construção para atividade humana são denominadas áreas de risco. Por risco, entende-se como objeto social a percepção do perigo, da catástrofe possível. Uma determinada área somente será considerada de risco se ali houver presença e/ou interferência antrópica. Assim, o risco é a percepção humana de ameaça à sua vida, integridade física e/ou socioeconômica⁹.

A potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma determinada área denomina-se suscetibilidade. Diz-se, portanto, que uma determinada área é suscetível ao risco de escorregamentos e inundações, por exemplo, de acordo com classes de probabilidade. A vulnerabilidade se confirma para um elemento, grupo ou comunidade dentro de uma área passível de ser atingida ou afetada por um fenômeno ou processo natural. Assim, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco¹. Portanto, faz-se necessário levar em conta os fatores físicos, históricos e sociais para a compreensão do processo de ocupação das áreas de risco, a sua dinâmica e desenvolvimento.

Essa problemática tem ganhado ênfase nas últimas décadas, sobretudo nos ambientes demasiadamente antropomorfizados das áreas urbanas. A identificação desses ambientes, propícios aos processos de movimento de massa e inundações, pode elencar estratégias para conservação do solo, minimizando a sua degradação e visando aos agentes modificadores do relevo, sejam naturais ou artificiais, bem como para atuação preventiva junto à população residente nessas áreas.

⁶ GUIMARÃES et al. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.

⁷ GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

⁸ KOBAYAMA, M. et al. **Prevenção de Desastres Naturais**: Conceitos Básicos. 1ª ed. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109 p.

⁹ VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente (org.); [tradutor Dilson Ferreira da Cruz]. 2. ed., 1ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2015. 319 p.

A utilização das Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) colaboram não somente para uma melhor análise e identificação das áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações, como também para a caracterização da população residente vulnerável. O emprego de imagens de satélite e radar é inerente a esta pesquisa devido à sua importância e agilidade em promover resultados mais específicos e de qualidade.

A utilização das geotecnologias em prevenção de riscos

Sistemas de Informações Geográficas

De acordo com Rosa (2005)¹⁰, o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica constitui as geotecnologias. Essas, por sua vez, são compostas por *hardware*, *software* e *peopleware* que, acoplados, constituem ferramentas eficientes, dentre as quais se destacam os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Topografia.

As aplicações das geotecnologias em diferentes campos têm sido cada vez maiores e frequentes, sendo que as referentes ao Sensoriamento Remoto e aos SIGs estão mais integradas¹¹.

Os SIGs são um sistema com capacidade para coleta, aquisição, armazenamento, processamento, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos, que viabilizem dados e informações a ele vinculados^{12,13}.

Assim, as principais características dos SIGs, segundo Câmara e Davis (2001)¹⁴, são:

- a) inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- b) oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

As técnicas de Sensoriamento Remoto associadas a outras geotecnologias, como os SIGs, apresentam potencialidades para execução e melhorias de diversas atividades, sobretudo nos processos de gestão integral de riscos e desastres naturais, sendo assim indispensáveis para o planejamento de áreas urbanas e identificação de áreas de risco^{15,16}.

¹⁰ ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 16, p. 81-90. 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 25 jul. 2016.

¹¹ FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 17, p. 24-29, 2005. Disponível em: http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_17/Teresa_Gallotti_Florenzano.pdf. Acesso em: 10 jul. 2016.

¹² FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

¹³ ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. 3ª ed. rev. e atual. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2007. 220 p.

¹⁴ CAMARA, G.; DAVIS, C. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.

¹⁵ GREGORIO, L. T.; SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M. Sensoriamento Remoto para a Gestão (de risco) de Desastres Naturais. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.). *Sensoriamento Remoto para Desastres*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 44-67.

¹⁶ LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com SIG*. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

A sua funcionalidade nos estudos de alguns processos, como erosões, movimentos de massa e inundações, é dar condições que facilitem a representação e análise desses processos, na busca pelo seu controle e prevenção, na tentativa de reduzir ao máximo quaisquer tipos de problemas que esses fenômenos naturais e facilmente agravados pela ação antrópica possam causar¹⁷.

Desse modo, os SIGs expressam atualmente uma ferramenta prática e de alta capacidade de compreensão da dinâmica espacial, para quaisquer estudos que possam sintetizar dados. O auxílio das imagens de satélite proporciona a elaboração de um planejamento mais eficiente e a facilitação dos estudos voltados para a área. Sobretudo, ressalta-se a importância dos trabalhos de campo para acompanhar e verificar os resultados obtidos pelo SIG, ou seja, não se pode dispensar a forma de comprovação dos resultados obtidos em gabinete. Atualmente, com a grande gama de informações, utilizam-se os SIGs para o planejamento, no âmbito social ou físico.

Geoprocessamento

O conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG), apesar da sua larga utilização, é por vezes confundido com geoprocessamento, sendo que o conceito deste é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG, conforme citado anteriormente, processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies¹⁸.

Geoprocessamento é, portanto, o conjunto de tecnologias para coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Diversas áreas do mercado já atuam com os procedimentos e as técnicas do geoprocessamento, que oferecem maior domínio do espaço analisado, agilidade e subsídio para tomada de decisões¹⁹.

O geoprocessamento é utilizado atualmente para atender à necessidade de conhecer a distribuição e o comportamento espacial das unidades geomorfológicas, bem como serve como base para ações e intervenções administrativas²⁰.

Sensoriamento Remoto

Em 1960, o termo sensoriamento remoto aparecia pela primeira vez na literatura científica e, desde então, vem abrindo tecnologia e conhecimento complexos que perpassam por vários campos da ciência²¹.

¹⁷ LOUREIRO, H.A.S.; FERREIRA, S.M. O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O (orgs.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 95-125.

¹⁸ MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4ª. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 422 p.

¹⁹ INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI. Departamento de Processamento de Imagens. **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 13 dez. 2015.

²⁰ GOES, M.H.B. et al. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e análise geomorfológica de áreas urbanas. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (orgs.). **Geoprocessamento & meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 167-200.

²¹ NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. - São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com os objetos^{21,13}.

Para Florenzano (2008)²², o Sensoriamento Remoto é a tecnologia de aquisição de dados da superfície terrestre a distância, ou seja, através de sensores localizados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. Loch (2008)²³ complementa dizendo que sensoriamento é o conjunto de atividades cujo objetivo é a caracterização das propriedades de alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante refletido ou omitido por eles.

Na gestão de risco de desastres naturais, o Sensoriamento Remoto, nos últimos anos, tem se revelado uma ferramenta essencial para identificação das ameaças e caracterização das populações vulneráveis e pode vir a contribuir com informações de ocorrências anteriores de processos que resultaram em desastres, técnica essa também importante para os estudos e análises de uso e ocupação da terra, na esfera físico-ambiental ou na esfera econômica¹⁵.

Ao se tratar dos movimentos de massa e dos processos erosivos, o Sensoriamento Remoto tem grande vantagens na detecção, no mapeamento e no seu monitoramento. Com imagens de satélites, é possível, por exemplo, fazer identificação de cicatrizes de escorregamentos de terra, bem como da área de abrangência desses processos. A forma das vertentes, umidade do solo, canais de drenagem, tipo e densidade de cobertura vegetal e uso da terra também são passíveis de identificação e mapeamento¹⁷.

Sistemas Sensores Orbitais

Os sistemas sensores orbitais operam em faixas espectrais desde o visível até às micro-ondas¹⁸ e exploram as características de uma plataforma embarcada em uma órbita que: deve ser circular, para garantir que as imagens tomadas em diferentes regiões da Terra tenham a mesma resolução e escala; permita o imageamento cíclico da superfície, para garantir a observação periódica e repetitiva dos mesmos lugares; seja heliossíncrona, ou seja, síncrona com o Sol, para que as condições de iluminação da superfície terrestre se mantenham constantes; e, por fim, permita que o horário da passagem do satélite atenda às solicitações de diferentes áreas de aplicação (geologia, geomorfologia, agricultura, entre outros)¹⁹.

De acordo com Reis (2007)²⁴, as imagens orbitais possuem quatro características básicas: Resolução espectral – é definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas, menor é a largura do intervalo e maior é a resolução espectral de um sensor;

²² FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31 – 71.

²³ LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5. ed. rev. atual. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2008. 103 p.

²⁴ REIS, C. H. **Caracterização espacial do uso da terra em áreas de manguezais utilizando diferentes sistemas orbitais: um caso aplicado aos manguezais da APA Guapimirim**. Rio de Janeiro, 2007. xix, 148 f. Tese (Doutorado) – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

Resolução espacial – é definida pela capacidade do sistema sensor em discriminar os objetos na superfície terrestre: quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial;

Resolução radiométrica – é definida pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis de cinza, maior é a resolução radiométrica;

Resolução temporal – é definida pelo intervalo entre a passagem do satélite no mesmo lugar. Quanto menor o intervalo de tempo entre uma passagem e outra, maior será a resolução temporal.

A seguir, serão discutidos os sensores RapidEye e SRTM (projeto TOPODATA), que foram utilizados nesta pesquisa.

Sensor RapidEye

O sistema RapidEye é formado por uma constelação de cinco satélites de Sensoriamento Remoto, idênticos e posicionados em órbita síncrona com o Sol, com igual espaçamento entre cada satélite, permitindo estabelecer novos padrões de eficiência relacionados à repetitividade de coleta e à exatidão das informações geradas sobre a superfície da Terra. O sistema é capaz de produzir imagens de qualquer ponto do globo, todos os dias, permitindo assumir uma postura proativa ao capturar imagens de regiões relevantes e torná-las disponíveis mais rapidamente e com maior eficácia²⁵. As especificações gerais do sensor encontram-se dispostas a seguir (Quadro 1).

Quadro 1 - Especificações técnicas básicas do sensor RapidEye

SENSOR RAPIDEYE	
Órbita	Heliosíncrona; Altitude: 630 km
Horário do Imageamento	11 h 00 min AM
Bandas do Sensor	Vermelha, Verde, Azul, Vermelho Limitrofe e Infrav. Próximo
Resolução Espacial	5 m
Resolução Radiométrica	12 bits por pixels
Resolução Temporal	Diária - 30° off nadir
Resolução Espectral	Banda 1 (440-510 μm)
	Banda 2 (520-590 μm)
	Banda 3 (630-685 μm)
	Banda 4 (690-730 μm)
	Banda 5 (760-850 μm)
Comprimento da faixa	77 km no nadir
Frequência de Revisita	Diariamente fora do nadir/5,5 dias (no nadir)
Espaçamento de pixel	6,5 m no nadir
Ângulo máximo de visada	+/- 65° off-nadir
Capacidade de coleta	4 milhões km ² por dia
Acurácia posicional	Acurácia especificada de 50 m CE90% no nadir excluindo efeitos de terreno

Fonte: Adaptado de Felix, Kazmierczak e Espindola (2014)²⁵; Ehlers (2007)²⁶

²⁵ FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 25-30 abril 2009, Natal, Brasil. *Anais* [...], São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7619-7622. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2016.

²⁶ EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas Sensores e Métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**: novos sistemas sensores: métodos inovadores. [tradução de Herman Kux]. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 304 p.

Sensor SRTM e Projeto TOPODATA

A aquisição de imagens por radar é capaz de coletar dados, independente do clima ou das condições de iluminação do ambiente, a qualquer momento e lugar. Em alguns casos, o radar é a única forma de explorar regiões de difícil acesso na superfície terrestre, sendo que determinadas ondas de radar podem até penetrar nuvens e, dependendo de outras condições, podem também ver através da vegetação, gelo e areia seca. Diferente do sensor apresentado anteriormente, as imagens são obtidas na banda de micro-ondas²⁷.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), lançada em fevereiro de 2000, teve como objetivo gerar um modelo digital de elevação (MDE) de 80% do globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria por Sensoriamento Remoto operante na faixa de micro-ondas²⁸.

Os dados foram obtidos com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m no Equador), mas, com esse nível de detalhamento, estão disponíveis somente para a área dos Estados Unidos. Para outros países, houve uma reamostragem dos dados para 3 segundos de arco (aproximadamente 90m) de resolução espacial²⁹.

O projeto TOPODATA foi desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com dados elaborados a partir da SRTM disponibilizados pelo USGS (*United States Geological Survey*). Esses dados disponíveis sofreram correções, passando por um processamento computacional para refinamento no tamanho do pixel, para aproximadamente 30 metros³⁰.

A resolução (aproximadamente 90m) dos dados SRTM disponíveis é considerada razoável para análises em escalas pequenas ou médias, portanto não deve ser aplicada em estudos de maior detalhe²⁹. Assim, para resultados mais refinados, foram utilizados nesta pesquisa dados do projeto TOPODATA, mencionado como TOPODATA/SRTM.

Comportamento Espectral dos Alvos

De acordo com Moraes (2002)³¹, o comportamento espectral de um objeto (alvo) pode ser definido como o conjunto dos valores sucessivos da refletância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do alvo. A assinatura define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracterizam o objeto.

²⁷ GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. Revisão técnica: Marcelo Vieira e Maurício Escarpinati; [tradução Cristina Yamagami e Leonardo Piamonte]. 3ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 640 p.

²⁸ LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 30 de abril a 05 de maio de 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4003

²⁹ GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.2, n.2, p. 73-83, 2008. Disponível em: http://www.igc.usp.br/pessoais/guano/downloads/Grohmann_etal_2008_RGA.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

³⁰ VALERIANO, M. M. **Topodata**. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (2008). Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 27 jul. 2016.

³¹ MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em: 29 de jul. 2016.

É de suma importância o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre, bem como dos fatores que interferem nesse comportamento, para a extração de informações de dados de Sensoriamento Remoto. Esse conhecimento é importante também à própria definição de novos sensores, do tipo de pré-processamento a que devem ser submetidos os dados brutos ou mesmo à definição da forma de aquisição dos dados (geometria de coleta de dados, frequência, altura do imageamento, resolução limite, etc.)²¹.

A partir de diferentes formas e intensidades de reflectância, consegue-se discriminar e identificar os diferentes alvos existentes na natureza³² (**Figura 1**).

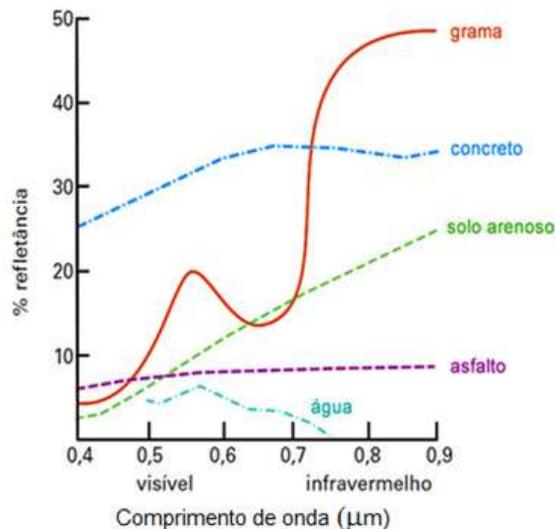


Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos

Fonte: Adaptado de Moreira (2011)¹⁸

A seguir serão apresentadas, com melhor detalhamento, características básicas observadas no comportamento espectral de alguns objetos.

Comportamento Espectral em Áreas Urbanas

As áreas urbanas são compostas por inúmeros tipos de alvos, dentre os quais se destacam o asfalto, concretos, telhados de diferentes materiais, vegetação, água, etc. Sousa e Kux (2005)³³ afirmam que o conhecimento das características espectrais dos alvos urbanos é de suma importância na classificação do uso e cobertura da terra com utilização de imagens de satélites. A **Figura 2** mostra as curvas espectrais do concreto e do asfalto, que são materiais que compõem as áreas urbanas edificadas pelo homem²¹.

³² ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7^a ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 260 p.

³³ SOUSA, R. C. A.; KUX, H. J. H. Comportamento espectral de alvos urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. In: SÍMPOSIOS BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 12., 2005, Goiânia. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2005, p. 1099-1106.

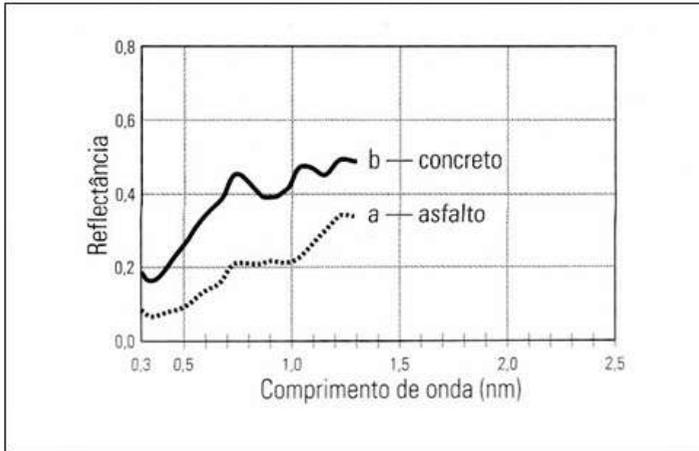


Figura 2 - Comportamento espectral do concreto e asfalto

Fonte: Bowker et al. (1985) apud Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral da Vegetação

As plantas, independente das suas características fisionômicas, apresentam um conjunto de órgãos designados à sua sobrevivência, sendo estes de nutrição (raiz, caule e folhas para plantas superiores) e de reprodução (flor, fruto e semente). Para o Sensoriamento Remoto, é suficiente entender os órgãos de nutrição e, com mais detalhe, as folhas, pois nelas são realizados os processos fotossintéticos, ou seja, é onde há interação da energia solar com a planta, basicamente¹⁸.

Segundo Moraes (2002)³¹, a vegetação sadia apresenta alta absorção de energia eletromagnética na região do espectro visível; a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 μ m) é devida à estrutura celular, visto que, a partir desse comprimento de onda, é o conteúdo de água na vegetação que modula as bandas de absorção presentes no seu comportamento espectral.

A medida da reflectância da vegetação depende também de uma série de outros fatores, como as condições atmosféricas, espécie, solo (granulometria, água e nutrientes), índice de área foliar (cobertura da vegetação por unidade de área), estado fenológico (variação sazonal da vida vegetal), biomassa (densidade total da vegetação), folha (forma, posição, água, pigmentação, estrutura interna, etc.), geometria de medida, tipo de sistema sensor e cobertura da copa³².

É importante mencionar que o comportamento espectral da vegetação se altera ao longo do seu ciclo vegetativo. Os impactos das modificações fenológicas e morfológicas sofridas pelas plantas que formam o dossel sobre o comportamento espectral variam, portanto, com a região do espectro, com o tipo de cultura e com o ângulo de visada²¹. A **figura 3** mostra a porcentagem de reflectância de uma vegetação fotossinteticamente ativa em relação ao comprimento de onda e aos elementos envolvidos.

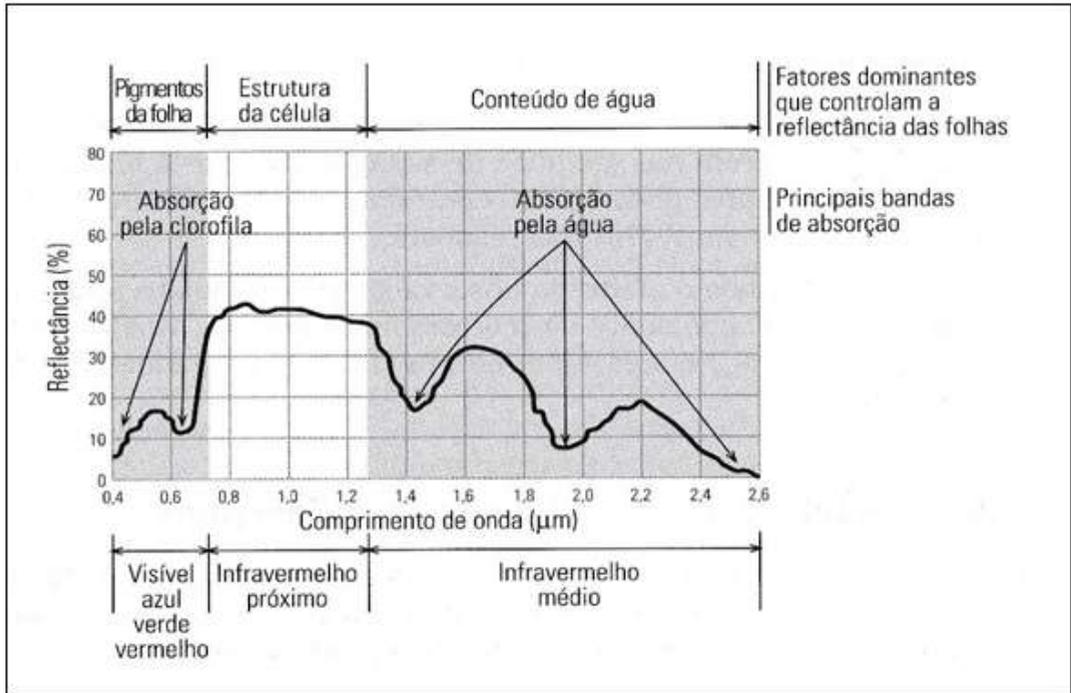


Figura 3 - Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa

Fonte: Araújo (1999) apud Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral dos Solos

De acordo com Moreira (2011)¹⁸, o solo pode ser definido como um corpo natural da superfície terrestre cujas propriedades são derivadas dos efeitos integrados do clima e dos organismos vivos (plantas e animais), sobre o material de origem, condicionado pelo relevo durante um período de tempo. Em geral, considera-se que os constituintes principais do solo são as partículas minerais, os materiais orgânicos, a água e o ar, mas, devido à ação de agentes externos, esses componentes podem ocorrer em diferentes concentrações. O solo ocupa um espaço tridimensional e está circundado por outros solos com propriedades distintas.

A constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade, a granulometria (textura e estrutura) e a capacidade de troca catiônica são os principais fatores que definem o comportamento espectral do solo, ou seja, o comportamento espectral do solo é resultante das combinações e arranjos dos materiais constituintes^{18,32,31}. Assim, afirma Moreira (2011)¹⁸ que a quantidade de energia refletida por determinado tipo de solo é função de todos esses fatores citados que, por sua vez, se encontram no próprio solo.

O **Quadro 2** apresenta cinco tipos de curvas cuja análise permitiu criar condições para sugestão de faixas espectrais para estudos de propriedades do solo²¹.

Tipo de Curva	Região do Espectro	Feição Espectral	Características do Solo
1	0,32 - 1,00 μm	Baixa reflectância Forma côncava	-
2	0,32 - 0,60 μm 0,60 - 0,70 μm 0,70 - 0,74 μm 0,32 - 0,75 μm	Gradiente decrescente Gradiente acentuado Gradiente decrescente Forma convexa	Solos bem drenados pouca matéria orgânica
3	0,32 - 0,60 μm 0,60 - 0,74 μm 0,76 - 0,78 μm 0,88 - 1,00 μm	Gradiente acentuado Gradiente pequeno Gradiente decrescente Gradiente aumenta c/d	Solos com conteúdo de ferro razoavelmente elevado
4	0,32 - 2,30 μm 0,88 - 1,30 μm	Baixa reflectância Redução da reflectância	Alto conteúdo de ferro e matéria orgânica
5	0,75 - 1,30 μm	Gradiente decrescente. Não há banda de absorção de água em 1,45 μm	Alto conteúdo de ferro e baixo conteúdo de matéria orgânica

Quadro 2 - Principais características das curvas espectrais de solos

Fonte: Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral da Água

O conhecimento das propriedades físicas da água é fundamental para compreender sua influência no comportamento espectral dos demais alvos da superfície terrestre¹⁸.

Assim, de acordo com Moraes (2002)³¹, a definição do comportamento espectral da água dependerá da sua forma encontrada na natureza, ou seja, se no estado sólido, líquido ou gasoso (Figura 4).

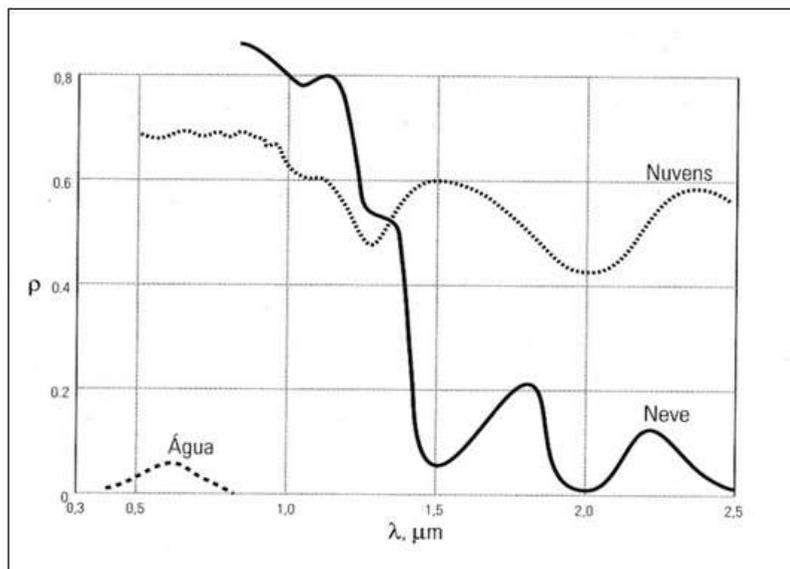


Figura 4: Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos

Fonte: Bowker et al. (1985) apud Novo (2010)²¹

Em se tratando da água líquida, sua reflectância é menor que 10% (baixa) na faixa compreendida entre $0,38$ e $0,7\mu\text{m}$, e a máxima absorção se dá acima de $0,7\mu\text{m}$. O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão, sendo verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta em deslocamento em direção ao vermelho³¹.

Estudo de caso em Viçosa/MG

Caracterização da Área de Estudo

O município de Viçosa (**Figura 5**) está inserido a noroeste da Zona da Mata de Minas Gerais, situado entre as coordenadas geográficas de $20^{\circ}45'14''$ de latitude Sul e $42^{\circ}52'54''$ de longitude Oeste, com área total de $299,418 \text{ Km}^2$ e população de 72 220 mil habitantes, sendo que 4 915 (6,8%) estão na área rural³⁴. Limita-se ao norte com os municípios de Teixeira e Guaraciaba, ao sul com Paula Cândido e Coimbra, a leste com Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste com Porto Firme. O município é formado por quatro distritos: o da sede, Silvestre, São José do Triunfo e Cachoeira de Santa Cruz³⁵.

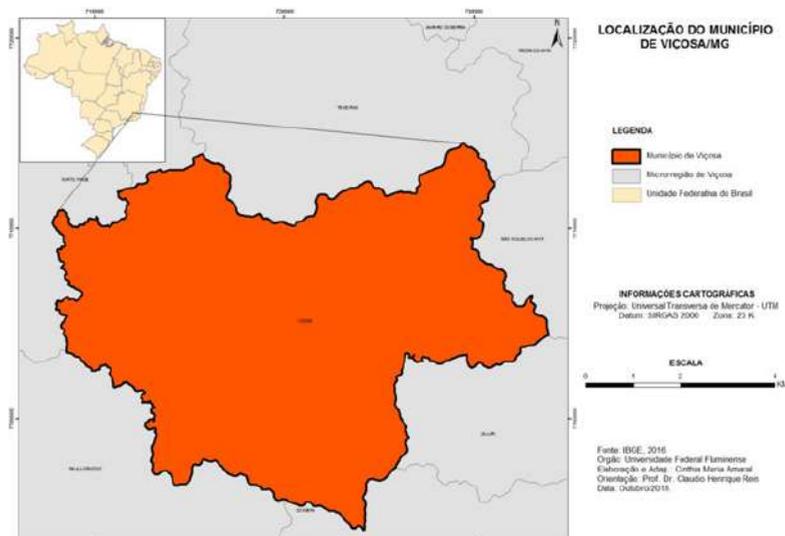


Figura 5: Localização da área de estudo

Fonte: Próprio Autor (2016)

³⁴ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010:** Características da População. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

³⁵ CENSUS. Centro de Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Retrato Social de Viçosa V (2014).** Disponível em: http://www.censusvicosa.com.br/?pg=ver_publicacao&id=480. Acesso em: 25 jul. 2016.

O município está inserido no Planalto de Viçosa, no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros, e compreende uma área deprimida entre o Planalto do Alto Rio Grande, na Serra da Mantiqueira, e prolongamentos da Serra de Caparaó³⁶. A área urbana está concebida em um vale estreito com altitude próxima a 649 metros³⁵ e, no que tange à geologia, a maior parte do seu território insere-se no Complexo da Mantiqueira e, em menor proporção, no Complexo São Sebastião do Soberbo³⁷.

O clima é classificado como tropical de altitude³⁸ e apresenta dois períodos bem definidos e distintos: um caracterizado por volumes acentuados de chuva e temperaturas mais altas (meses de dezembro a fevereiro), e outro que assinala baixos índices pluviométricos (meses de maio a agosto)³⁹.

Devido às condições morfoclimáticas características de zonas intertropicais úmidas, o processo de intemperismo é bastante significativo, o que contribuiu com a formação de um manto de intemperismo bem espesso pela ação conjunta de processos químicos/biogênicos e processos mecânicos⁴⁰.

As vertentes desenvolvem-se conforme uma linha côncava-convexo-topo, seguindo para vertentes íngremes. Nos topos, parte mais elevada das encostas, encontram-se solos do tipo Latossolos Amarelos e, nas encostas de elevações, os Latossolos Vermelhos^{41,42}. Esses solos, de maior predominância na região, são pouco férteis (carência em nutrientes e composição química) e não apresentam alta produtividade agrícola. Para tal atividade, é necessário desenvolver e utilizar manejo adequado^{36,35}.

As encostas íngremes e topos de morro dispõem, majoritariamente, de fragmentos florestais de Mata Atlântica, que são remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual de formação secundária em regeneração, que possuem papel fundamental na manutenção de ecossistemas para a conservação da biodiversidade local⁴³. A maior parte das terras está ocupada por pastagens, sendo naturais ou artificiais (brachiárias). O café é tradicionalmente a cultura da região⁴⁰, entretanto o cultivo do eucalipto aparece em forte crescimento.

As áreas de vales correspondem ao leito maior seguido por terraços assimétricos, onde é frequente a instalação de habitações. Nesses fundos de vale, são identificados solos do tipo Neossolos associados aos Vertissolos e, nos terraços, são encontrados Argissolos^{41,42}. Em sítio urbano, essas áreas são drenadas pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu, que intercepta a área urbana central do município de Viçosa⁴⁰. Esses cursos d'água fazem parte da bacia hidrográfica do rio Piranga, o principal formador do rio Doce⁴⁴.

³⁶ PREFEITURA DE VIÇOSA. **O território**. Disponível em <http://www.vicoso.mg.gov.br/a-cidade/territorio>. Acesso em: 6 jun. 2016.

³⁷ CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Escala 1: 1 000 000. Edição atualizada. Brasília: CPRM, 2014.

³⁸ VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, IBGE, v.20, n.1, p.1958.

³⁹ BATISTA, M. S.; RODRIGUES, R. A. Análise climática de Viçosa associada à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. **Caminhos de Geografia**, Instituto de Geografia, UFU, v. 11, n.36, p. 52 - 67, dez. 2010. Disponível em: www.ig.ufu.br/caminhosdegeografia. html. Acesso em: 18 jul. 2016.

⁴⁰ ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massa no núcleo urbano de Viçosa-MG**. 97 f. Viçosa, MG, 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2013.

⁴¹ CARNEIRO, P. A. S.; FÁRIA, A. L. L. Ocupação de encostas e legislação urbanística em Viçosa, MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n.14, p.121-138, fev. 2005. Disponível em: www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15376/8675. Acesso em: 4 jan. 2017.

⁴² REZENDE, S. B. **Estudo de crono-topossequência em Viçosa**, Minas Gerais. 1971. 71 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Solos, UFV, 1971.

⁴³ AGUIAR, O. B. M.; TEIXEIRA, H. M. Espécies florestais da mata atlântica: Usos e ocorrência na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG. **Cadernos de Agroecologia**, v.10, n. 3, 2015. ISSN 2236-7934 Disponível em: <http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/17959>. Acesso em: 18 jul. 2016.

⁴⁴ ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. **Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Doce**. 3ª ed. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo_doce.html. Acesso em: 18 jul. 2016.

Devido ao padrão de exploração e ocupação da terra nas áreas urbanas, a vegetação original sofreu redução significativa, limitando-se aos topos de morros e encostas íngremes⁴¹. Nas extensões das margens dos cursos d'água, a mata ciliar deu lugar a construções civis e, quando há cobertura vegetal, esta é insuficiente e/ou inapropriada para o local.

A cidade originou-se, no início do século XIX, no vale do rio Turvo Sujo^{45,36} e procurou se orientar ao longo dos terraços, áreas de amenidades significativas quanto à topografia. Posteriormente, seguiu para a ocupação de áreas com topografia restrita, encostas e topos de morros, além das margens dos cursos d'água⁴⁰, como do ribeirão São Bartolomeu.

Desde a origem do povoado, as atividades agropecuárias foram o principal eixo na economia. Inicialmente, a produção era concentrada em produtos de subsistência e abastecia a população residente e a das áreas de mineração de Piranga, Ouro Preto e Mariana. Ademais, somente na primeira metade do século XIX, o café foi introduzido na região, provocando novo impulso à economia local, especialmente a partir da chegada da ferrovia. A cafeicultura passou por periódicas crises, destacando-se as dos anos de 1905, 1930 e 1960, que praticamente erradicaram a cultura na região. Nas últimas décadas do século XX, a cultura cafeeira retornou com novo impulso, como atividade de peso na localidade³⁵.

Na década de 1920, foram criados no município o Patronato Agrícola Arthur Bernardes e a Escola Superior de Agricultura e Veterinária (ESAV), que em 1948 foi transformada em Universidade Rural do Estado de Minas Gerais (UREMG) e, mais tarde, em 1969, federalizada como Universidade Federal de Viçosa (UFV). De acordo com CENSUS (2014)³⁵, a partir da instalação da universidade, a dinâmica física, social, cultural, política e econômica sofreu total mudança. A cidade passou a desenvolver-se com a expansão da Universidade, caracterizando-se por novos investimentos, sobretudo da construção civil. Assim, propiciou-se o surgimento de escolas particulares na rede de ensino fundamental, médio e superior, transformando o município em um polo educacional de expressão.

Nos últimos quarenta anos, a população viçosense cresceu e apresenta atualmente um número três vezes maior, passando de 25.784 habitantes em 1970 para 72.220 em 2010, sendo estimada em 77.502 em 2014. Esse crescimento populacional foi acompanhado por um significativo processo de urbanização que, em Viçosa, fez com que a população rural diminuísse de 34,07% em 1970 para 6,81% em 2010 (Tabela 1).

⁴⁵ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/69o>. Acesso em: 11 maio 2016.

Tabela 1 - Evolução da população urbana e rural – 1970 a 2014

Anos	POPULAÇÃO					
	Urbana		Rural		Total	
	Absoluta	%	Absoluta	%	Absoluta	%
1970	17.000	65,93	8.784	34,07	25.784	100
1980	31.179	80,6	7.507	19,4	38.686	100
1991	46.456	89,93	5.202	10,07	51.658	100
2000	59.792	92,19	5.062	7,81	64.854	100
2010	67.305	93,19	4.915	6,81	72.220	100
2014*	72.231	93,2	5.271	6,8	77.502	100

Fonte: IBGE (2010)⁴⁴; CENSUS (2015)⁴⁶

*Valores estimados pelo CENSUS

O aumento populacional expressivo, a partir da segunda metade da década de 1970, se deu em razão da federalização da então Universidade Rural do Estado de Minas Gerais (UREMG), que aumentou significativamente o número de cursos ofertados (médio/técnico, graduação, mestrado e doutorado), e decuplicou seu orçamento, gerando, assim, oportunidades de emprego. A cidade passa, portanto, a ser mais atrativa para as atividades urbanas e se torna polo educacional, recebendo pessoas do campo e também de outras localidades do país⁴⁷.

O ritmo de expansão demográfica do município vem se reduzindo significativamente. Nas décadas de 1970, 1980 e 1990, houve aumento do crescimento populacional (aproximadamente 15 000 habitantes por década). Em contrapartida, nas décadas seguintes, de 2000 e 2010, houve um decréscimo nesse crescimento (aproximadamente 8 000 habitantes na década), que, entretanto, ainda permanece positivo.

358

Aspectos metodológicos e resultados

A descrição da metodologia utilizada será feita a seguir, com a apresentação dos procedimentos essenciais utilizados para atingir os objetivos propostos, bem como aqueles que se encontram possíveis em (re)análises direcionadas. Incorporou-se a esta pesquisa a abordagem sistêmica como embasamento teórico-metodológico que, segundo Marques Neto (2008)⁴⁸, constitui método de importante significação para o estudo do meio físico, principalmente para a Geografia Física e a Geomorfologia.

Na **Figura 6**, apresentam-se, em síntese, os principais artifícios e produtos elaborados nesta pesquisa.

⁴⁴ CENSUS. Centro de Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Boletim estatístico de Viçosa**, atualizado em agosto de 2015. Disponível em: <http://www.censusvicosa.com.br/images/publicacoes/493/boletim-estatistico-2015-julhopdf.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2016.

⁴⁷ PEREIRA, M. F. V. Contradições de uma "cidade científica": processo de urbanização e especialização territorial em Viçosa, MG. **Caminhos da Geografia**, [online], 2005. ISSN 1678-6343. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 26 jul. 2016.

⁴⁸ MARQUES NETO, R. A Abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/issue/view/306>. Acesso em: 1 mar. 2017.

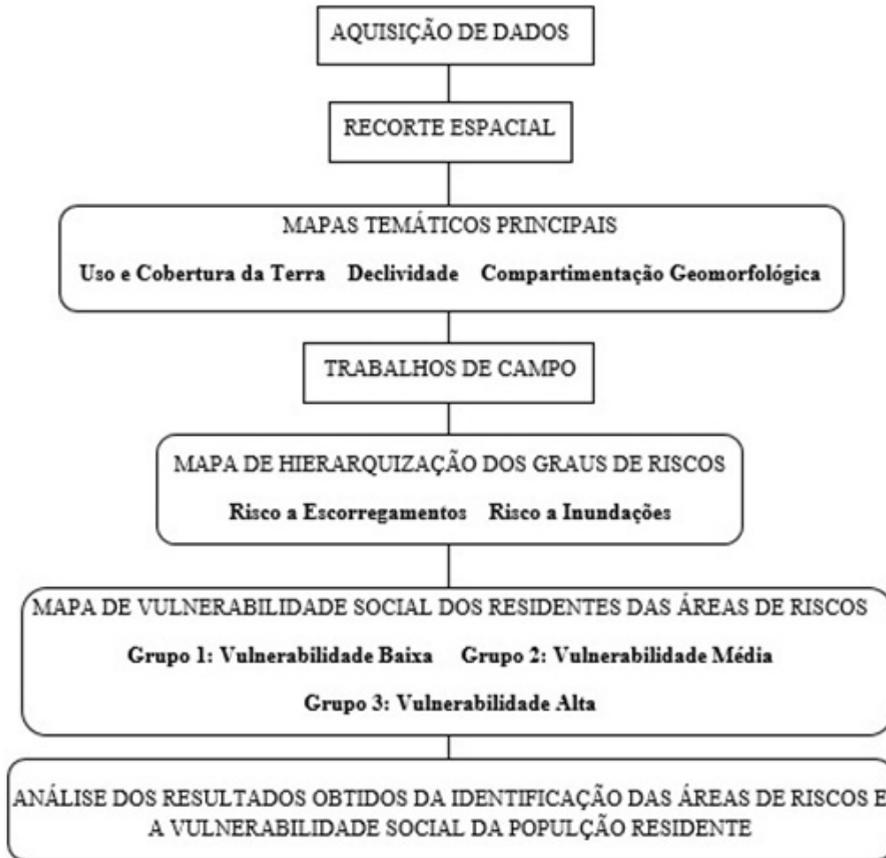


Figura 6 - Fluxograma dos procedimentos principais

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Aquisição de dados

Para elaboração desta pesquisa, utilizaram-se imagens de satélite RapidEye, dados em formatos *shapefile* (divisão territorial, setores censitários, etc.) e curvas de nível (5 metros), extraídos do IBGE e do projeto TOPODATA (imagens oriundas da SRTM) e cedidas para *download* pelo INPE, respectivamente.

As resoluções, bandas, composição colorida e data da imagem (**Quadro 3**) são escolhidas de acordo com as características físicas da área de estudo e com os objetivos da pesquisa. A data da imagem é uma informação de relevante importância, pois é a representação de parte da superfície terrestre no momento da passagem do satélite²².

Quadro 3 - Informações da imagem de satélite utilizada – sensor RapidEye

Anos	POPULAÇÃO					
	Urbana		Rural		Total	
	Absoluta	%	Absoluta	%	Absoluta	%
1970	17.000	65,93	8.784	34,07	25.784	100
1980	31.179	80,6	7.507	19,4	38.686	100
1991	46.456	89,93	5.202	10,07	51.658	100
2000	59.792	92,19	5.062	7,81	64.854	100
2010	67.305	93,19	4.915	6,81	72.220	100
2014*	72.231	93,2	5.271	6,8	77,502	100

Fonte: Adaptado de Felix, Kazmierczak e Espindola (2014)²⁵; Ehlers (2007)²⁶
Elaboração: Próprio Autor (2016)

A escolha do sensor RapidEye se deu não somente pela importância da utilização de imagens de satélite na área de Sensoriamento Remoto, mas também pela agilidade e eficácia ao identificar as influências antrópicas e acontecimentos de processos naturais aplicados a estudos de cunho socioambientais. Para as bandas escolhidas, levou-se em consideração o contraste dos alvos nas faixas operantes, bem como a facilidade em identificá-los durante os procedimentos (**Figura 7**). Já a imagem do projeto TOPODATA/SRTM opera na faixa de micro-ondas, ou seja, fora da faixa do visível e infravermelho; sendo assim, sua visualização é permitida em modo pancromático.

360

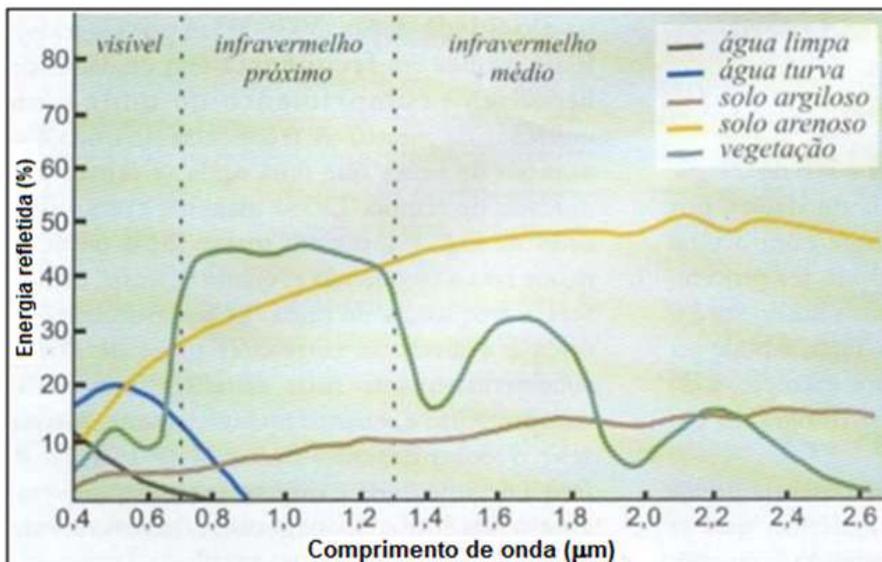


Figura 7 - Curva espectral da vegetação, água e solo

Fonte: Florenzano (2011)⁴⁹

⁴⁹ FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3ª ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

Para confecção dos mapas em ambiente de geoprocessamento, foram utilizados os *softwares* Spring 5.4.1 (desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), para o mapa de Uso e Cobertura da Terra, e o ArcGIS 10.1 (desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* - ESRI), para a elaboração dos demais mapas e sua edição final, pois esse *software* possui maior receptibilidade e variedade de elementos componentes de um mapa (escala, grade, norte geográfico, etc.).

A escala cartográfica utilizada para análise foi diferenciada de acordo com os elementos e objetivos propostos: para Sobreposição de Curvas de Nível e Setores Censitários, escala de 1: 15 000; para Uso e Cobertura da Terra, escala de 1: 25 000; e, para os demais fatores, a escala cartográfica utilizada foi de 1: 50 000. Os produtos finais foram exportados em 1: 40 000, devido à melhor visualização dos resultados obtidos.

A seguir, serão discutidos em detalhes os procedimentos realizados para confecção de cada mapa listado acima.

Recorte Espacial

A área urbana do município de Viçosa está inserida, em sua maior parte, em locais de média a alta declividade e com significativa concentração populacional. Assim, definiu-se como recorte espacial, uma vez que os riscos se estabelecem conforme as ocupações antrópicas e as interferências por elas causadas ou não.

O limite da área urbana foi confeccionado conforme os limites dos setores censitários utilizados e definidos pelo IBGE. Essas áreas de setores censitários são classificadas em “Rurais” ou “Urbanas”, sendo que estas últimas foram selecionadas para se atingirem os objetivos aqui elencados. Essa perspectiva se dá devido ao fato de que será caracterizado posteriormente o tipo de população residente nas áreas de risco (com as variáveis de população total por setor e renda média mensal por setor), por meio dos resultados obtidos no Censo Demográfico de 2010, realizado pelo órgão citado acima.

De forma a direcionar os estudos para as áreas de maior ocorrência de escorregamentos e inundação, bem como para as de maior concentração populacional em relação à declividade, os distritos de São José do Triunfo e Cachoeira de Santa Cruz não foram incluídos nesta pesquisa.

Processamento Digital de Imagens

O processamento de imagens consiste na manipulação de uma imagem por meio de computador em que entrada/saída do processo são imagens. Busca-se a melhora do aspecto visual de feições estruturais, permitindo analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, possibilitando também a integração de dados georreferenciados (DPI - INPE, 2015).

A partir desse momento, adota-se a rotina descrita a seguir na plataforma do *software* Spring 5.4.1., utilizando a imagem de satélite mencionada anteriormente, a RapidEye.

Carregamento de Cena

O carregamento de cena consiste na mostra das bandas das imagens e sua sobreposição por meio do sistema RGB (*Red, Green and Blue*)²⁴. A **Figura 8** ilustra a imagem e seu sistema de canal, utilizado em falsa-cor.

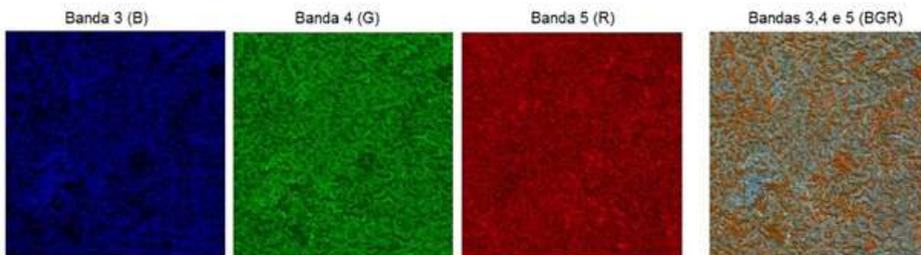


Figura 8 - Bandas e sistema de canal utilizados da imagem do sensor RapidEye realçada

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Realce de Contraste

A finalidade das técnicas do realce é aprimorar a qualidade da imagem, permitindo melhor entendimento e descrição dos objetos presentes e facilitando sua interpretação^{19,22}. O resultado do realce tem múltiplas interpretações, ou seja, sua análise é feita de forma subjetiva, dependendo assim de cada pesquisador.

Entre os vários tipos existentes de contraste, o linear (**Figura 9**) é a forma mais simples. Segundo DPI-INPE (2015)¹⁹, sua função de transferência é uma reta onde apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta (que controla a quantidade de aumento de contraste) e o ponto de interseção com o eixo X (que controla a intensidade média da imagem final). As barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente. O histograma de saída será semelhante em formato ao histograma de entrada, mas este terá um valor médio e um espalhamento diferentes.

Ainda de acordo com DPI – INPE (2015)¹⁹, a função de mapeamento linear pode ser representada da seguinte maneira:

$$Y = AX + B$$

Onde:

Y = novo valor de nível de cinza;

X = valor original de nível de cinza;

A = inclinação da reta (tangente do ângulo);

B = fator de incremento (definido pelos limites mínimo e máximo fornecidos pelo usuário).

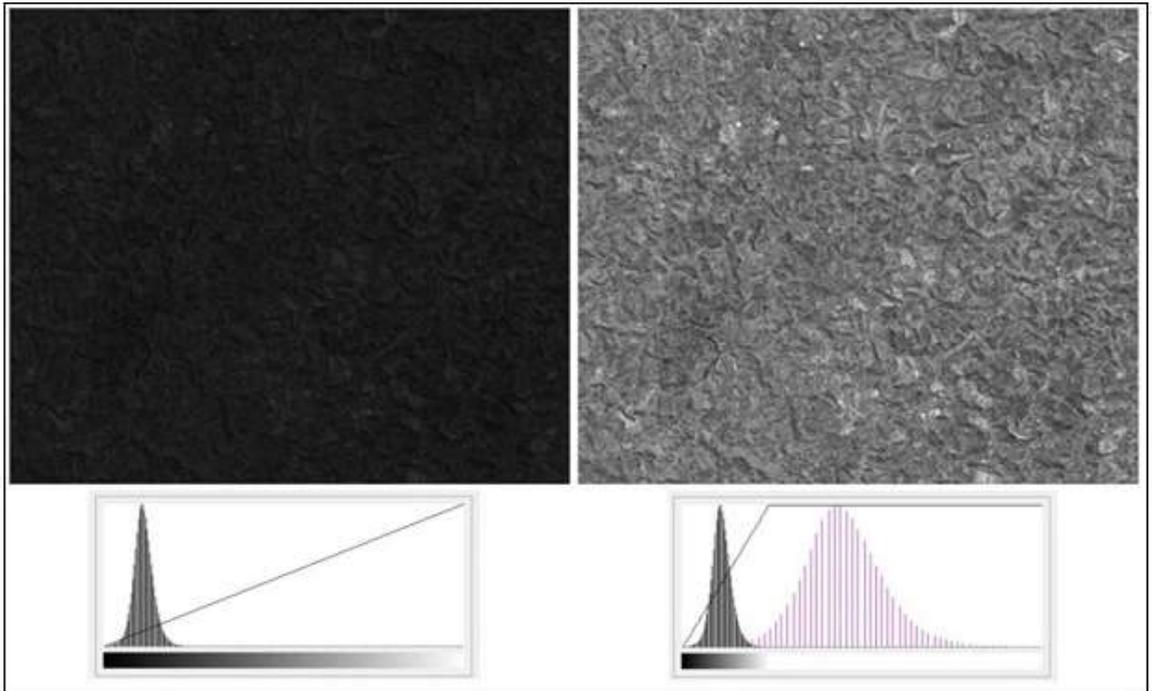


Figura 9 - Contraste linear realizado na banda 5 do sensor RapidEye

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Segmentação de Imagens

Florenzano (2008)²² explicita que a segmentação de imagens é um procedimento computacional que permite a divisão da imagem em regiões espectralmente homogêneas, realizado antes de um algoritmo de classificação automática. Assim, na aplicação da segmentação, de acordo com a autora, devem ser definidos dois limiares:

- a) Limiar de similaridade: limiar abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região;
- b) Limiar de área: valor de área mínimo, representado em número de pixels, para que uma região seja individualizada.

Desse modo, os limiares utilizados foram escolhidos de acordo com as características espacial, espectral e radiométrica do sensor, permanecendo, portanto, 200 para limiar de similaridade e 300 para limiar de área (**Figura 10**). O tamanho da área urbana, 41,9 Km², facilita o nível de detalhamento em comparação à área total do município, que é de aproximadamente 299,5 Km².

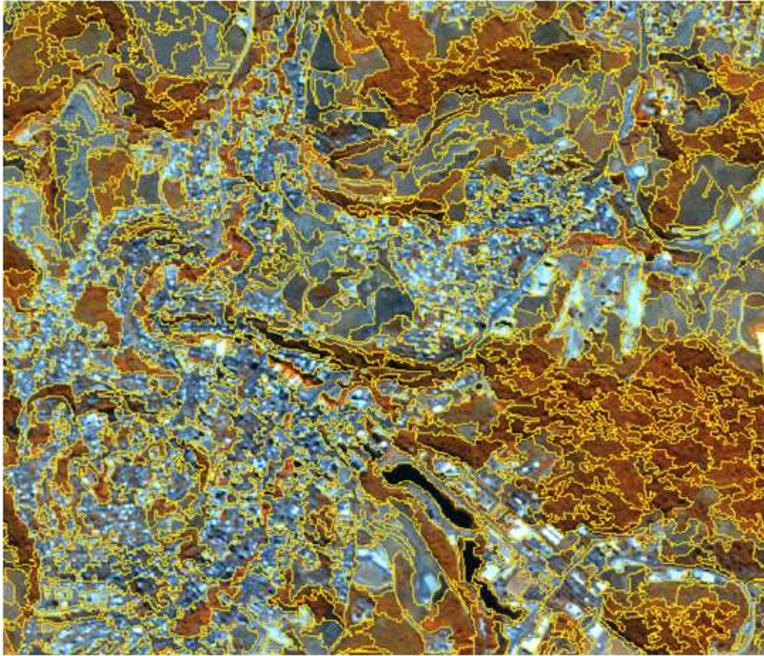


Figura 10 - Segmentação da imagem do sensor RapidEye em parte central da área urbana

Elaboração: Próprio Autor (2016)

364

Classificação por Regiões

Para as técnicas de classificação de imagens digitais, é visado o reconhecimento automático de objetos agrupando-os em classes que apresentam similaridade em suas respostas espectrais. De tal modo, as classificações podem ser de dois tipos: supervisionada ou não supervisionada²².

Para a imagem de satélite selecionada nessa pesquisa, foi utilizada a classificação supervisionada por regiões Bhattacharya, que é um algoritmo que requer a seleção de áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões separadas durante o processo de segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificadas. Utilizam-se, assim, as amostras de treinamento para estimar a função de probabilidade das classes apontadas no treinamento⁵⁰.

Durante o treinamento, há escolha e nomeação das classes, e esse procedimento se repete no momento de pós-classificação. Ao identificar os elementos que compõem a área de estudo e que de fato estão visíveis nas imagens, as classes e subclasses estabelecidas (Quadro 5) ficaram assim definidas:

⁵⁰ SANTOS, A.R.; PELUZIO, T. M.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2 Passo a Passo: Aplicações Práticas**. Alegre: Mundo da Geomática, 2010. 155 p. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/LivroSPRING512PassoaPassoAplicacaoPratica.pdf. Acesso em: 12 ago. 2016.

Quadro 5 - Classes estabelecidas para classificação da imagem do sensor RapidEy (continua)

Área	Classes	Subclasses	Descrição
	Drenagem	-	Cursos d'água de pequeno a médio porte (ribeirões, córregos, lagoas, tanques, rios, etc.)
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Alta Densidade (UrbAD)	Área com característica espectral mais escura e fechada. Áreas de ocupação com maior declive, encostas.
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Média Densidade (UrbMD)	Área com características espectrais diversas, com coloração mediana. Áreas de ocupação com médio a alto declive.
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Baixa Densidade (UrbBD)	Área com características espectrais mais claras e abertas. Áreas de ocupação mais planas ou baixo declive.
	Mata Secundária	Mata Secundária Regenerada (MSecReg)	Fragmentos de mata homogêneos, de médio a grande porte no clímax. Áreas de topos de morro.
	Mata Secundária	Mata Secundária em Regeneração (MSecemReg)	Fragmentos de mata heterogêneos, de pequeno a médio porte e mais espaçados. Áreas próximas às MSecReg.

Quadro 5 - Classes estabelecidas para classificação da imagem do sensor RapidEy (conclusão)

Área	Classes	Subclasses	Descrição
	Cultura	Café	Mesmo em área urbana, há grande frequência de cultivo em pequena e média escalas.
	Cultura	Eucalipto	Encontrado também na área urbana. Usado às vezes erroneamente, como reflorestamento.
	Pastagem	-	Área cuja vegetação é predominantemente rasteira. Dependendo da estação do ano, esta se apresenta em tonalidades distintas (do mais escuro para o mais claro).
	Solo Exposto	-	Sem presença de vegetação. Solo nu.

Fonte: Elaboração do Autor (2016)

Processamento Digital de Imagens para obtenção dos mapas de Declividade, Modelo Digital de Elevação (MDE), Hierarquização Fluvial e Compartimentação Geomorfológica

Carregamento de Cena

A **Figura 11** mostra a imagem TOPODATA/SRTM visualizada de forma pancromática, pois, conforme explicado anteriormente, a faixa utilizada é a micro-ondas, assim como em todas as imagens oriundas de sensores ativos que possuem uma fonte própria de radiação eletromagnética, diferente dos sensores passivos que não possuem essa característica (ROSA, 2009).

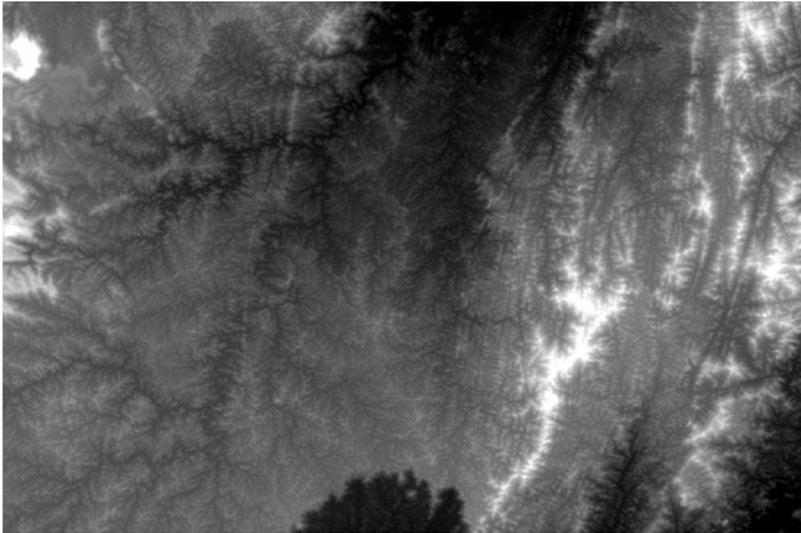


Figura 11 - Imagem de radar do projeto TOPODATA do sensor SRTM - Folha 20S435

Fonte: INPE (2015)⁵¹

A imagem TOPODATA/SRTM foi inserida no *software* ArcGis 10.1, em que todos os procedimentos a seguir elencados foram realizados.

367

Reamostragem e Redimensionamento da Imagem

A imagem TOPODATA/SRTM fornecida pelo INPE tem resolução radiométrica de 32 bits com escala de 1:250 000, com resolução espacial de 30 metros e sem referência espacial. Sendo necessário, foi realizada conversão para 16 bits inteiro não sinalizado através da ferramenta *Data Management Tools*>*Raster*>*Raster Dataset*>*Copy Raster*. Entretanto, esse procedimento não o referencia espacialmente, sendo necessário realizar o passo a seguir.

Reprojeção

As imagens do projeto TOPODATA são disponibilizadas sem referência espacial. Para definir a projeção de um *raster*, segue-se a seguinte rotina: *Data Management Tools*> *Projections and Transformations*> *Define Projection*. Escolhe-se o sistema de coordenadas (geográficas); nesse caso, SIRGAS 2000, que é o adotado oficialmente pelo IBGE, e, em seguida, reprojeta-se para um sistema de coordenadas planas (Universal Transversa de Mercator - UTM) na ferramenta: *Data Management Tools*> *Projections and Transformations*> *Raster*>*Project Raster*. O *Datum* inserido foi o SIRGAS 2000 UTM *Zone 23S*, o mesmo adotado para todos os mapas elaborados neste trabalho.

⁵¹ INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem TOPODATA Folha 20S435**. Articulação 1 250 000. INPE, 2015.

Procedimentos

Após o processo de reamostragem e reprojeção, o primeiro passo realizado foi o recorte da área (*shapefile* limite da área urbana de Viçosa, de acordo com os limites dos setores censitários disponibilizados pelo IBGE) para agilizar o processamento. Em seguida extraíram-se as curvas de nível por meio da ferramenta *3D Analyst Tools >Raster Surface>Coutour*. A definição do espaçamento das curvas de nível para 5 metros se deu no nível de detalhamento visual e melhor compreensão do relevo local que essa definição proporciona, uma vez que as cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (escala 1: 50.000), por exemplo, são espaçadas em 20 metros.

Sobreposição de Curvas de Nível sobre os limites dos Setores Censitários

A fim de analisar, inicialmente, como está disposta a divisão dos setores censitários frente ao relevo local, foi elaborado o mapa de sobreposição com recorte da área urbana central do município, utilizando os *shapefiles* dos setores censitários urbanos e de curvas de nível, confeccionado em escala de maior detalhamento, 1: 15 000. Esse mapa foi apoio fundamental para os trabalhos de campo, já que permitiu identificar, pela sobreposição, quais são os setores mais problemáticos no que diz respeito aos riscos em estudo. Com isso, otimizou-se o tempo gasto para realização do campo, agilizando a coleta de dados.

368

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos, ou seja, com valores de altitude do relevo para que o modelo seja uma representação da topografia, sendo que as curvas de nível são a principal fonte de dados para a sua construção⁵².

Para elaboração do MDE da área de estudo, utilizaram-se as curvas de nível como elemento chave, seguindo o caminho *3D Analyst Tools>Data Management>TIN>create TIN*. Ao finalizar esse procedimento, já é possível identificar visualmente as características do relevo, analisar suas feições e estabelecer preliminarmente potenciais áreas de risco, tanto para escorregamentos quanto para inundações.

Declividade

A declividade é o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem ser expressos em graus (0 a 90) ou em porcentagem (0 ao infinito), sendo que, nos MDEs, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. O cálculo da declividade é favorecido pela alta resolução espacial, e, por

⁵² VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008a.

esse e outros motivos, a imagem do projeto TOPODATA (resultado do refinamento dos dados SRTM) foi utilizada nesta pesquisa a fim de que se obtenha um melhor resultado, com a menor margem de erro possível. Todas essas particularidades devem ser levadas em consideração nas estimativas realizadas por geoprocessamento⁵².

Para essa requisição, utilizou-se a imagem TOPODATA/SRTM (reamostrada e reprojeta) por meio da ferramenta *3D Analyst Tools >Raster Surface>Slope*. Os intervalos definidos estão dispostos no quadro abaixo (**Quadro 6**).

Quadro 6 - Classificação da declividade com intervalos em porcentagem

DECLIVIDADE	
Classes	Intervalos (%)
Muito Baixa	<2
Baixa	2 – 7
Mediana	7 – 15
Alta	15 – 30
Muito Alta	>30

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Hierarquização Fluvial

A hierarquia fluvial é o processo que consiste em estabelecer a classificação de determinado curso d'água, ou da área drenada que lhe pertence, no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra⁵³.

Assim, alguns modelos de classificação foram propostos a fim de que se facilitassem e otimizassem os estudos morfométricos das bacias hidrográficas⁵³. Os sistemas e critérios mais utilizados para o ordenamento em bacias hidrográficas são os modelos propostos por Horton (1945) e Strahler (1952), seguidos pelos modelos de Scheidegger (1965) e Shreve (1966;1967)⁵⁴.

Para hierarquização dos cursos d'água da área de estudo, adotou-se o método proposto por Strahler (1952), que, além de ser atualmente utilizado, apresenta metodologia para classificação automática junto ao *software* ArcGIS 10.1. Esse método, de acordo com Christofolletti (1980)⁵³, considera os canais de primeira ordem (1) aqueles que são menores e sem tributários, que se estendem da nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem (2) se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, recebendo apenas afluentes de primeira ordem. Já os canais de terceira ordem (3) surgem da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de primeira ordem. Da confluência de dois canais de terceira ordem, surgem os canais de quarta ordem (4), que podem receber tributários de ordens inferiores e, assim, sucessivamente (**Figura 12**).

⁵³ CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

⁵⁴ TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 322p.

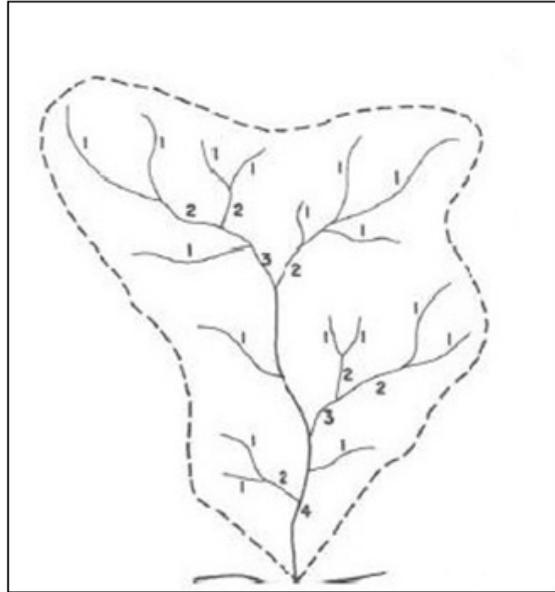


Figura 12 - Hierarquia fluvial - método Strahler (1952)

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980)⁵³

Em ambiente de geoprocessamento, utilizou-se como base a imagem TOPODATA/SRTM e seguiu-se a rotina para extração de drenagens com a ferramenta “*Hidrology*” em *Spatial Analyst Tools*, criando os arquivos *Fill*, *Flow Direction* e *Flow Accumulation*. Após esse procedimento, foi necessário editar e reclassificar as classes para prosseguir e criar o “*Stream Link*” que será base para o “*Stream Order*”, passo final em que se classifica de acordo com o método Strahler. O arquivo final *raster* foi exportado para arquivo vetorial em quatro classes de cores azul (para canais de primeira ordem), vermelho (para canais de segunda ordem), amarelo (para canais de terceira ordem) e verde (para canais de quarta ordem).

Para a área urbana de Viçosa, destacou-se parte da bacia do rio Turvo Sujo e da sub-bacia do ribeirão São Bartolomeu e a micro-bacia do córrego da Conceição.

Compartimentação Geomorfológica

Com a proposição de fazer uma classificação taxonômica do relevo, Ross (1992)⁵⁵ estabelece seis níveis de táxons elaborados a partir do aspecto fisionômico das formas e tamanhos de relevo, levando em conta diversos fatores (gênese, idade, influências estruturais e esculturais de cada um, etc.). São eles (em ordem crescente de táxons): Unidades Morfoestruturais; Unidades Morfoesculturais; Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes; Formas de Relevo; Tipos de Vertentes e Formas de Processos Atuais. A **Figura 13** exemplifica a distribuição da classificação dessa taxonomia.

⁵⁵ ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 6, p. 17-29, 1992.

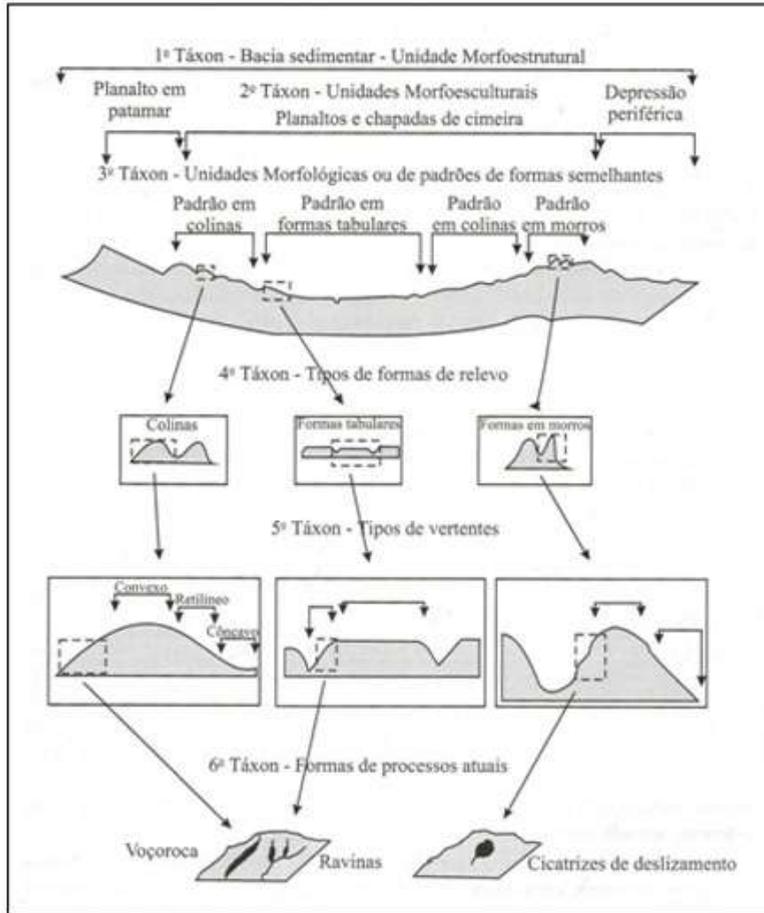


Figura 13 - Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross (1992)⁵⁵

Fonte: Cassetti (2005 apud TORRES; MARQUES NETO; MENEZES, 2012)⁵⁴

A metodologia aplicada pelo IPT (1981)⁵⁶ para mapeamento do relevo baseia-se fundamentalmente em dois critérios morfométricos: declividade e amplitude altimétrica⁵⁴. O procedimento ainda propõe a seguinte subdivisão elementar, aplicável ao contexto geomorfológico do estado de São Paulo e de regiões que apresentam tais padrões de formas: 1) Relevos de Agradação; 2) Relevos de Degradação 3) Relevos Residuais suportados por Litologias Particulares; 4) Relevos Cársticos; e 5) Relevos de Transição^{57,54,56}. Para a realização da compartimentação do relevo da área urbana do município de Viçosa, atenuou-se somente a Relevos de Agradação (A) e Relevos de Degradação (D) referentes ao 4º táxon proposto por Ross (1992)⁵⁵.

⁵⁶ IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. 94 p.

⁵⁷ AMARAL, C. M. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Matirumbide em Juiz de Fora, MG**. Juiz de Fora, 2013. 88 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

Quadro 7 - Critérios morfométricos aplicados para definição de categorias de relevo de degradação

Conjunto de Sistemas de Relevo	Declives predominantes	Amplitudes Locais
Relevo colinoso	0 a 15%	<100 m
Relevo de morros com encostas suavizadas	0 a 15%	100 a 300 m
Relevo de morrotes	>15%	< 100 m
Relevo de morros	>15%	100 a 300 m
Relevo montanhoso	>15%	> 300 m

Fonte: IPT (1981)⁵⁶

Assim, para identificação dos relevos de degradação, utilizou-se a declividade, que havia sido definida em momento anterior com intervalos em porcentagem e paralelamente de acordo com a metodologia aqui proposta. Para a amplitude altimétrica local, que, segundo o IPT (1981)⁵⁶, é a altura máxima da unidade em metros, entre seu topo e os vales maiores adjacentes, utilizaram-se curvas de nível com espaçamento de 20 metros e a rede de drenagem da área, dados extraídos da imagem TOPODATA/SRTM. A escolha pelo espaçamento de 20 metros das curvas de nível se deu pela melhor visualização na escala utilizada (1:50.000), que permitiria, também, o auxílio das cartas topográficas (elaboradas pelo IBGE), já que essas cartas foram confeccionadas com curvas de equidistância de 20 metros e apresentam a mesma escala de análise (1:50.000) utilizada nesta pesquisa.

Para identificação dos relevos de degradação, nesse caso os de origem continental, foi utilizada metodologia de interpretação visual de dados com imagens do *Google Earth*, porém sempre acompanhadas de imagens em escalas menores, pois estas servem de orientação na definição mais precisa dos limites entre as unidades³². A observação da delimitação da curva de nível que envolve o canal fluvial nos segmentos permitiu perceber distintamente a existência de Planície Fluvial e de Rampas de Colúvio. As imagens, em escala maior, propiciaram a identificação dos Terraços Fluviais. Algumas áreas foram identificadas e reconhecidas em campo.

Desse modo, a integração da proposição de Ross (1992)⁵⁵ e do IPT (1981)⁵⁶ permitiu identificar os compartimentos geomorfológicos, condizendo-os com o 4º táxon na classificação de Ross (1992)⁵⁵, que se refere às formas de relevo individualizadas na unidade padrão de formas semelhantes. Para a área urbana de Viçosa, identificaram-se planície fluvial, terraço fluvial e rampas de colúvio (relevos agradacionais) e colinas, morros em encostas suavizadas, morrotes e morros (relevos denudacionais).

Riscos de Escorregamentos e Inundações

A análise multicriterial consiste em estruturar e combinar diferentes tipos de análises, em situações mais complexas e envolvendo fatores diversos. A análise multicritério é comumente utilizada para situações de conflito, para formular

recomendações ou propiciar orientações frente à tomada de decisão⁵⁸, sendo, no entanto, uma das formas para se chegar a um produto síntese de áreas de risco. Das análises de multicritérios existentes atreladas aos SIGs, a Álgebra de Mapas (ou a Álgebra de Campo) consiste na associação que o mapa faz a cada local de uma dada área de estudo, seja em valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar), seja em valor qualitativo (nominal)⁵⁹.

Para dar início à metodologia de Álgebra de Mapas, foi necessário fazer uma operação de ponderação nos mapas de Uso e Cobertura da Terra, Declividade e Compartimentação Geomorfológica que, através da soma e multiplicação, compuseram o mapa síntese de hierarquização de riscos. Desse modo, estabeleceram-se pesos para cada fator cujo intervalo variou de 0 a 1; para as classes, os pesos foram distribuídos no intervalo de 1 a 5, de forma que ambas as ponderações criassem um grau de importância e correlação com os riscos em questão (**Quadro 8**).

Quadro 8 - Distribuição dos pesos para os fatores e suas classes para hierarquização dos riscos

Fatores	Classes	Escorreg. (E)	Inund. (I)
Uso e Cobertura da Terra x 0.20 (E)* 0.25 (I)*	Drenagem	1	5
	Área Urbana	4	4
	Mata Secundária	2	1
	Cultura	2	2
	Pastagem	3	2
	Solo Exposto	5	3
Declividade (%) x 0.10 (E) (I)*	<2	1	5
	2 – 7	2	4
	7 – 15	3	3
	15 – 30	4	2
	>30	5	1
Compartimentação Geomorfológica x 0.30 (E) (I)*	Planície Fluvial	1	5
	Terraço Fluvial	2	4
	Rampas de Colúvio	2	3
	Colinas	3	2
	Morros com encostas suavizadas	3	2
	Morrotos	4	1
	Morros	5	1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Valor dos pesos multiplicados para hierarquização de escorregamentos (E) e inundações (I).

⁵⁸ MEDEIROS, A. **Análise Multicritério em SIG**. 2017. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/analise-multicriterio-em-sig-1/>. Acesso em: 14 fev. 2017.

⁵⁹ CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CAMARA, G. Álgebra de Campos e Objetos. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.

Após definição da ponderação, realizou-se o procedimento de conversão para arquivo *raster* para aqueles que estavam em formato vetorial (Uso e Cobertura da Terra e Compartimentação Geomorfológica). Em seguida, foi efetuada a reclassificação dos fatores de modo que substituísse a classe nominal por classe numérica (pesos).

O passo que antecede o resultado do produto final de riscos é o *raster calculator*, ferramenta de Álgebra de Mapas do *software* ArcGIS 10.1. Para finalizar o procedimento, foram elaboradas e efetuadas duas fórmulas de cálculo com os mapas: a primeira (E1) com soma simples dos fatores, e a segunda (E2) com soma dos fatores com multiplicação de seus pesos, conforme equações abaixo:

E1: USO E COBERTURA DA TERRA+ DECLIVIDADE+ COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA = HIERARQUIZAÇÃO DE RISCOS
E2: USO E COBERTURA DA TERRA*(peso)+DECLIVIDADE*(peso)+ COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA*(peso) = HIERARQUIZAÇÃO DE RISCOS

O intuito foi observar o quanto há de interferência quando se estabelecem pesos para os mapas, dizendo a maior ou menor importância de cada um perante os riscos apontados. Com a identificação de diferenças significativas na aplicação das fórmulas, obteve-se uma escolha de acordo com o melhor resultado verificado. O produto final de áreas de risco foi elaborado por meio de uma hierarquização (graus de 1 a 3), em que quanto maior o grau, maior o risco, seja para inundações, seja para escorregamentos.

As subclasses UrbAD, UrbMD e UrbBD foram unidas e classificadas como Área Urbana. O mesmo ocorreu para MSecReg e MSecemReg, permanecendo como Mata Secundária, e para Café e Eucalipto, estabelecidos como Cultura. Essa junção se fez necessária, pois o *software* utilizado não aceita números fracionados para cálculos de *raster*.

Vulnerabilidade Social

Após identificar as áreas de riscos de escorregamentos e inundações e hierarquizar os graus dos riscos de um determinado lugar, é imprescindível que se conheça a população residente dessas áreas e o quão vulnerável elas estão a esses riscos.

Para definição da vulnerabilidade da população residente na área urbana do município de Viçosa, foram consideradas duas variáveis: número total de habitantes e renda média mensal, ambos por setor censitário. Dentre muitas variáveis, essas foram escolhidas porque mostram, de forma direta, a densidade populacional e o perfil socioeconômico das pessoas que lá vivem. O objetivo foi chegar à classificação de grupos de vulnerabilidade social, conforme adaptação da metodologia proposta pela Fundação SEADE (2013)⁶⁰, para a elaboração do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS.

⁶⁰ FUNDAÇÃO SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, IPVS (Versão 2010)**. Disponível em: <http://indices-ilp.al.sp.gov.br/view/index.php?prodCod=2>. Acesso em 14 fev. 2017.

Com a finalidade de facilitar e otimizar a análise comparativa dos dados para concepção da vulnerabilidade social, foram constituídos mapas de concentração populacional e de distribuição de renda. Na base de dados para esse mapeamento, criaram-se divisões de classes, para cada variável, de forma que se abrangesse todo intervalo do número de população e faixas salariais, aplicando posteriormente ponderação de 1 a 4 (do menor para o maior associado) para cada variável (**Quadro 9**). As equações para criação dos grupos de vulnerabilidade social foram, assim, estabelecidas:

E1: DENSIDADE POPULACIONAL + RENDA MÉDIA SALARIAL = GRUPOS DE VULNERABILIDADE SOCIAL
E2: DENSIDADE POPULACIONAL * (peso) + RENDA MÉDIA SALARIAL * (peso) = GRUPOS DE VULNERABILIDADE SOCIAL

Quadro 9 - Distribuição dos pesos para definição dos grupos de vulnerabilidade social

Variáveis	Intervalos	Pesos (1 a 4)
Renda Média Mensal por Setor Censitário (em salário mínimo)* x 0.30	Até 2	4
	De 2 a 5	3
	De 5 a 10	2
	Acima de 10	1
Densidade Populacional por Setor Censitário (em número de habitantes totais) x 0.10	Até 325	1
	De 326 a 650	2
	De 651 a 975	3
	De 976 a 1300	4

*Valor do salário mínimo adotado: R\$ 510,00 - ano 2010.
Elaboração: Próprio Autor (2017)

Ao todo, são 96 setores censitários, com 63 752 habitantes, dos 72 220 habitantes totais do município de Viçosa (IBGE, 2010). Com a aplicação da metodologia, chega-se ao resultado de três grupos de vulnerabilidade social, classificados em Baixa, Média e Alta Vulnerabilidade, grupos 1, 2 e 3 respectivamente.

Trabalhos de Campo

O trabalho de campo é imprescindível, pois permite melhor compreensão da realidade e proporciona comprovação ou refutação dos resultados gerados a partir de procedimentos digitais, utilizando SIGs e Sensoriamento Remoto. Atualmente, o trabalho

de campo tem função mais sistemática, ou seja, em campo já é possível correlacionar os resultados obtidos a partir de uma análise digital de forma a sistematizar os resultados, não sendo necessária, assim, a realização de campo para coleta de dados prioritariamente, salvo em algumas situações.

Os campos realizados para desenvolvimento desta pesquisa tiveram como objetivos o reconhecimento das áreas de maior incidência de escorregamentos e inundações e a verificação dos resultados obtidos na classificação digital com as características reais de cada tipo de ocupação urbana, utilizando o mapa de Uso e Cobertura da Terra elaborado a partir do sensor RapidEye e os mapas de Declividade, MDE e Sobreposição das Curvas de Nível sobre os limites dos Setores Censitários, que permitiram distinguir os locais (ou setores censitários) de maiores declividades e identificar as formas de relevo.

Mapa de uso e cobertura da terra da área urbana – Imagem do sensor RapidEye

A classificação do Uso e Cobertura da Terra (**Figura 14**), elaborada a partir da imagem do sensor RapidEye, propiciou resultados mais refinados a partir de uma análise mais detalhada (escala de 1:25 000), pois, quanto maior a resolução espacial, maior a escala cartográfica para análise. Esse detalhamento do produto cartográfico foi muito importante para indicação de supostas áreas de risco.

A partir dessa característica favorável, o sistema de classificação definido para o mapa de Uso e Cobertura da Terra admitiu, para as classes de Área Urbana, Mata Secundária e Cultura, as seguintes subclasses: Área Urbana de Alta Densidade (UrbAD), Área urbana de Média Densidade (UrbMD) e Área Urbana de Baixa Densidade (UrbBD); Mata Secundária Regenerada (MSecReg) e Mata Secundária em Regeneração (MSecemReg); Café e Eucalipto. Essas subclasses são visíveis na imagem realçada da RapidEye, na composição RGB das bandas 3,4 e 5, em falsa-cor, como mostra a **Figura 15**.

A UrbAD se caracteriza por ter uma tonalidade mais escura e estruturas espaciais mais fechadas e densas, sendo encontrada em áreas de maior declividade, conforme configuração do relevo local. A UrbMD mescla as tonalidades e a homogeneidade referente às construções que compõem a área urbana. Sua imparcialidade também se configura junto ao relevo e à declividade, já que pode ser encontrada em ambas as partes. Por fim, a UrbBD tem tonalidade mais clara e é mais aberta espacialmente, sendo identificada em áreas menos declivosas. A UrbMD apresenta maior área (9,20%), seguida pela UrbAD (7,15%) e UrbBD (6,55%).

A MSecReg são fragmentos mais encorpados, fechados e que já atingiram o clímax, diferenciando-se da MSecemReg, que conforma vegetação arbustiva de pequeno a médio porte, mais espaçada e geralmente com algum tipo de interferência antrópica. As duas classes somam, aproximadamente, 36% de área verde significativa dentro da área urbana, sendo encontradas com mais frequência em topos de morros. A MSecemReg apresenta maior área, totalizando 19,06%.

A identificação dos cultivos de Café e Eucalipto foi concretizada por meio da configuração geométrica de cada uma, e, mesmo que em menor frequência nas áreas urbanas, essas culturas representam 3,5% da área urbana e comumente são instaladas do meio da encosta para seu topo.

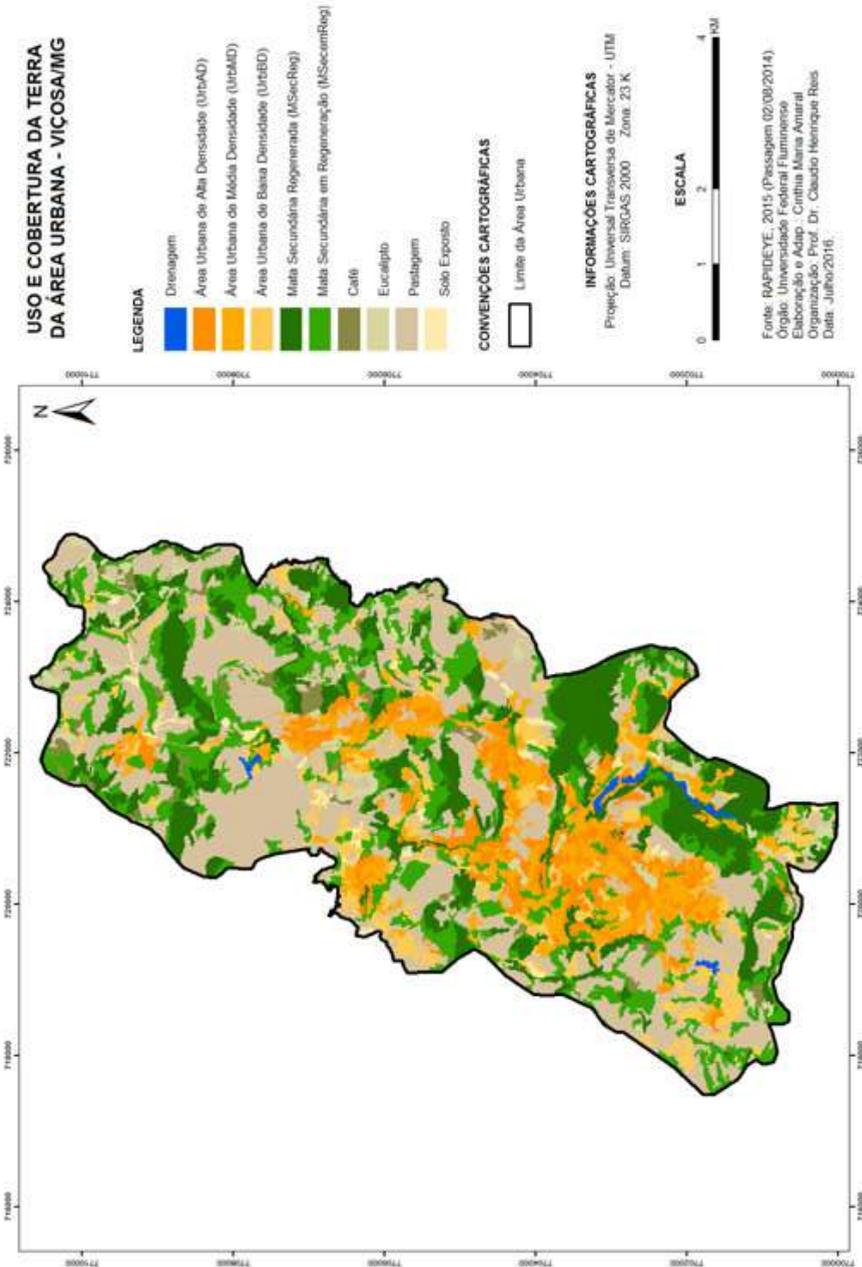


Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra

Elaboração: Próprio Autor (2016)

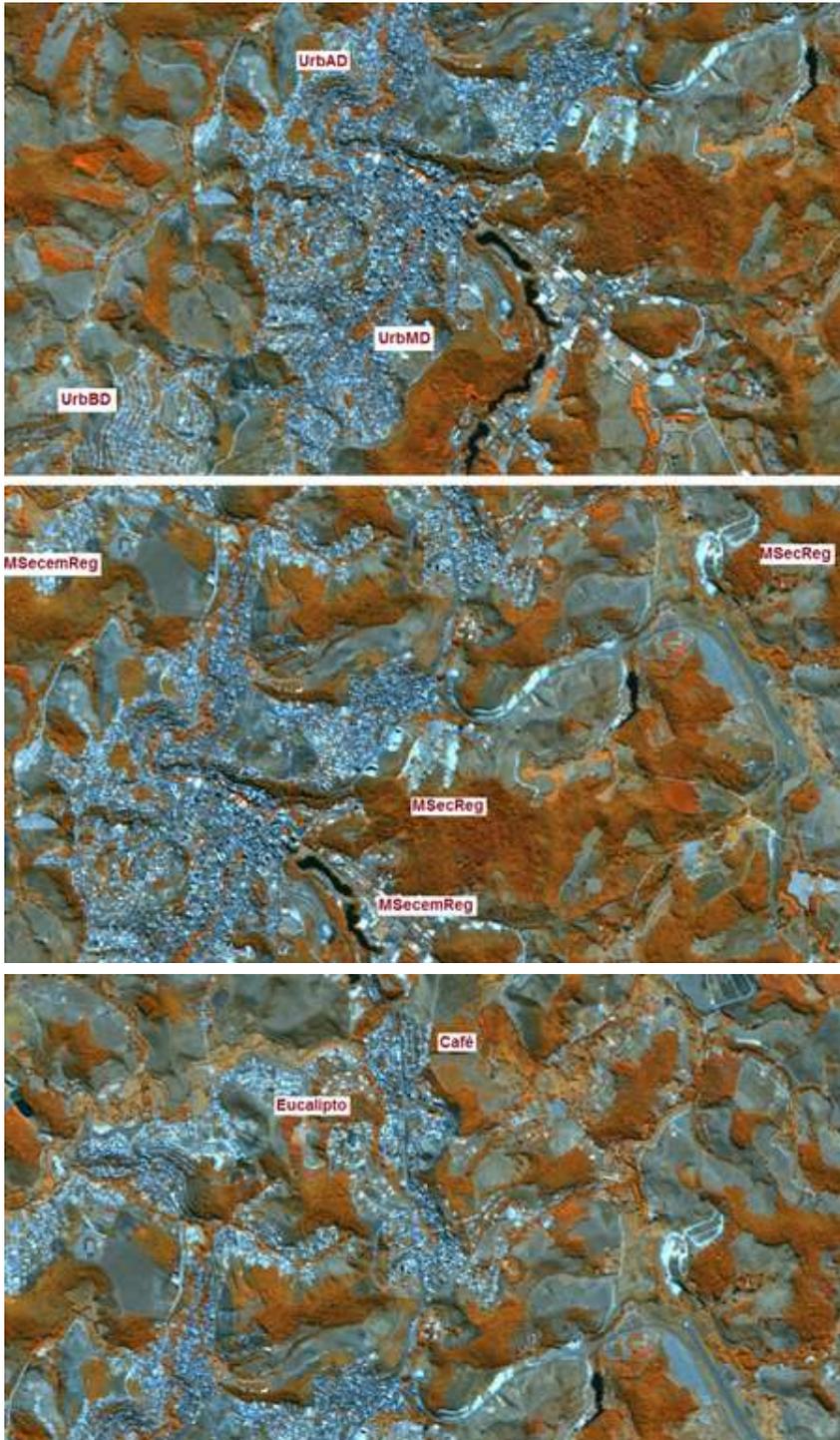


Figura 15 - Subclasses identificadas na imagem RapidEye realçada

Elaboração: Próprio Autor (2016)

A Pastagem representa a maior porcentagem de área no recorte analisado (35,45%), apresentando-se de forma intercalar com os outros elementos (classes) espacialmente. A Drenagem é representada (nessa classificação) pelas lagoas e tanques (0,45%), não sendo possível a identificação dos cursos d'água de menor porte que compõem a rede de drenagem urbana, por mais que a imagem do sensor RapidEye tenha melhor resolução espacial (5 metros) em comparação com Landsat 8 (30 metros), por exemplo. Por fim, os Solos Expostos representam, da área total de aproximadamente 42 Km², apenas 0,90%. Fato positivo em relação à política de conservação dos solos, prevenção e mitigação de riscos, principalmente dos escorregamentos e assoreamento dos rios. A **Tabela 2** mostra, em área e porcentagem, a representatividade de cada classe e subclasse identificadas.

Tabela 2 - Cálculo de área (Km²) das classes em Km² da imagem do sensor RapidEye

Classes	Subclasses	Área (Km ²)	%
Drenagem	-	0,19	0,45
Área Urbana	UrbAD	3,00	7,15
Área Urbana	UrbMD	3,86	9,20
Área Urbana	UrbBD	2,75	6,55
Mata Secundária	MSecReg	7,38	17,58
Mata Secundária	MSecemReg	8,00	19,06
Cultura	Café	0,56	1,33
Cultura	Eucalipto	0,98	2,33
Pastagem	-	14,88	35,45
Solo Exposto	-	0,38	0,90
Área total das classes	-	41,98	100,00
Área total dos polígonos não classificados	-	0,00	0,00

Fonte: Resultado extraído da classificação da imagem RapidEye no Spring 5.4.1.
Elaboração: Próprio Autor (2016)

O trabalho de campo realizado objetivou identificar e confirmar (ou refutar) os resultados acima obtidos do mapa de Uso e Cobertura da Terra. Desse modo, foram escolhidos pontos estratégicos na área urbana central, em conformidade com a concentração populacional, graus de declividade e com o mapa em maior escala (1:15 000), de sobreposição das curvas de nível com os limites dos Setores Censitários (**Figura 16**). Esses limites, definidos pelo IBGE, seguem na maioria das vezes o padrão do relevo (no que tange à declividade) e induzem que essa configuração também caracteriza a população residente de cada setor. Ressalta-se, portanto, que poderá haver população de maior poder aquisitivo nas encostas e fundos de vale, mas as condições de instalação e infraestrutura são bem distintas das condições daquela população cujo poder econômico não corrobora para sua habitação adequada em áreas de maior declive e próximas às margens dos cursos d'água.

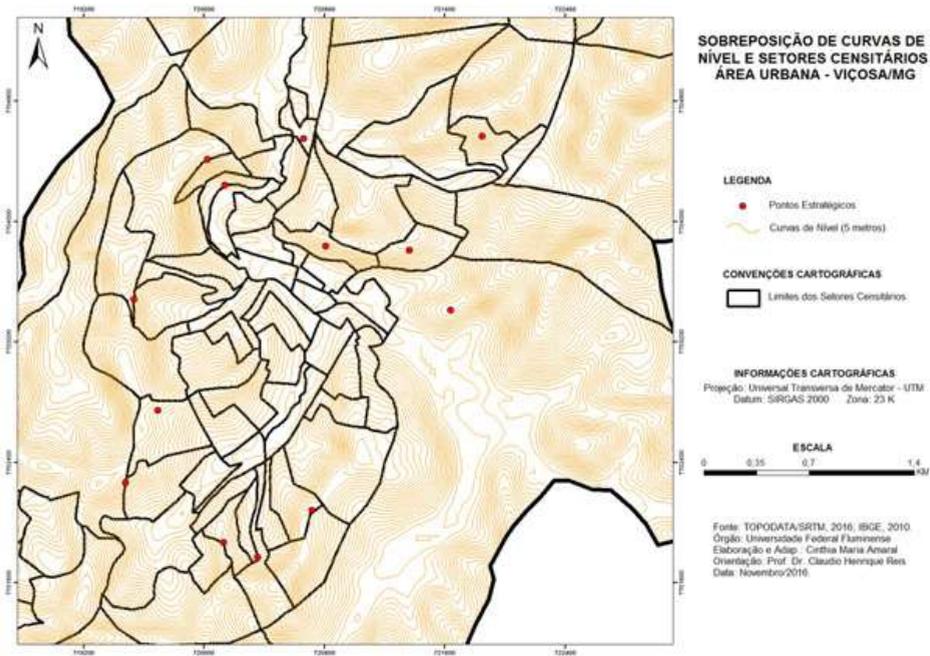


Figura 16 - Mapa de sobreposição das curvas de nível e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2016)

380

Assim, a exemplo do que foi discutido acima e confirmando os resultados encontrados na classificação do Uso e Cobertura da Terra, a **Figura 17** mostra os tipos de ocupação encontrados em alguns pontos observados em campo dentro da área urbana, sendo evidenciados da seguinte forma: **A** (UrbMD), **B** (UrbBD), **C** (UrbMD/UrbAD) e **D** (UrbMD/UrbAD).

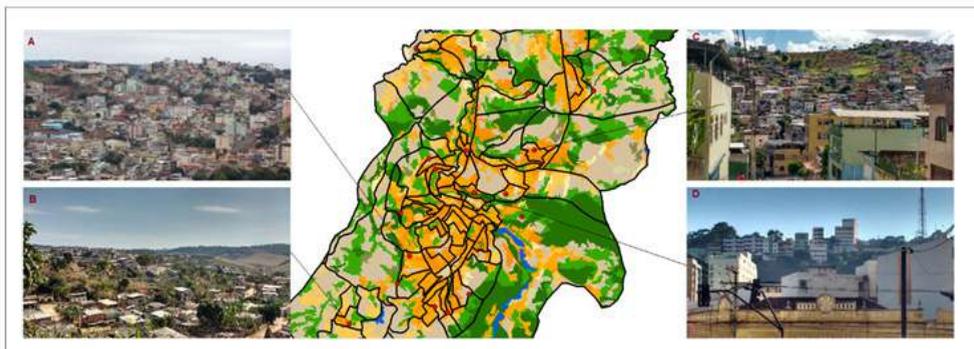


Figura 17 - Tipos de ocupação na área urbana central

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Em suma, a área urbana, constituída por apenas 14,02% da área total do município de Viçosa (299,41 Km²), apresenta áreas ocupadas mais concentradas na porção centro-sul. As áreas mais planas densamente ocupadas e as encostas, mesmo que em menor proporção, também apresentam esse adensamento, mas ainda é cabível (dentro das condições de segurança e que não sejam de riscos potenciais) um crescimento horizontal, diferente das áreas mais planas e centrais que, atualmente, em sua maioria, permitem crescimento vertical.

Mapas de Compartimentação Geomorfológica, Declividade e Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com vales mais encaixados, exutórios estreitos e/ou canalizados, forte carga de sedimentos originados a montante, com presença majoritária de morros e declividades superiores a 15% (**Figura 18**), a área urbana de Viçosa constitui-se de fatores físicos que, somados à ação humana, favorecem e/ou agravam a ocorrência e frequência dos processos de escorregamentos e inundações.

No que tange à compartimentação geomorfológica (**Figura 19**), as áreas mais planas (declividade inferior a 15%) são constituídas de planícies e terraços fluviais, rampas de colúvio e colinas e, para áreas mais declivosas (declividade superior a 15%), a configuração morfológica se estende a morros com encostas suavizadas, morrotes e morros.

As áreas com declividade inferior a 2% abrangem a planície fluvial. Os terraços, que são acumulações fluviais de forma plana e levemente inclinada, e as rampas de colúvio, que são originadas a partir de processos de dissecação e atuam sobre uma superfície aplainada (IBGE, 2009), no caso, os terraços, começam a se configurar com declividade superior a 2%. As colinas e morros com encostas suavizadas detêm declividade menor que 15% e se diferenciam pela amplitude do relevo, sendo menor que 100 metros para as colinas e entre 100 a 300 metros para os morros suavizados.

Os morrotes e os morros encontram-se nas declividades acima de 15%. Os morros, que perpassam por vezes a declividade de 30%, constituem metade da compartimentação geomorfológica da área urbana do município, seguidos pela formação de morrotes. A diferenciação na amplitude altimétrica deve-se ao fato de ser menor que 100 metros para morrotes, e superior a essa cota e não ultrapassando 300 metros para os morros (**Quadro 10**). Constata-se, assim, que a variação altimétrica da área urbana do município de Viçosa é de aproximadamente 225 metros (**Figura 20**).

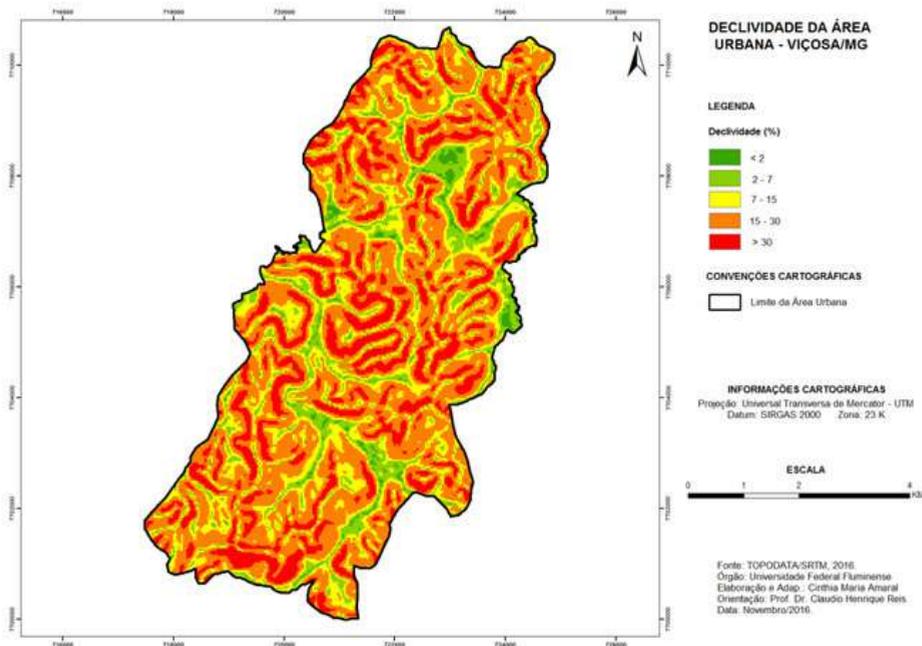
Quadro 10 - Caracterização morfométrica e morfológica da área urbana

Declividade (%)	Elevação * (m)	Compartimentação Geomorfológica *
<2	620 - 665	Planície Fluvial
2 - 7	665 - 710	Terraço Fluvial; Rampas de Colúvio
7 - 15	710 - 755	Rampas de Colúvio; Colinas e Morros com encostas suavizadas
15 - 30	755 - 800	Morrotes; Morros
>30	800 - 845	Morros

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Referência aproximada originada a partir de cada fator.

A sintetização dos resultados dos mapas de Compartimentação Geomorfológica, Declividade e MDE objetivou caracterizar de forma aproximada a morfologia do relevo urbano do município por meio das características (mencionadas em intervalos) de cada fator.

**Figura 18 - Mapa de declividade**

Elaboração: Próprio Autor (2016)

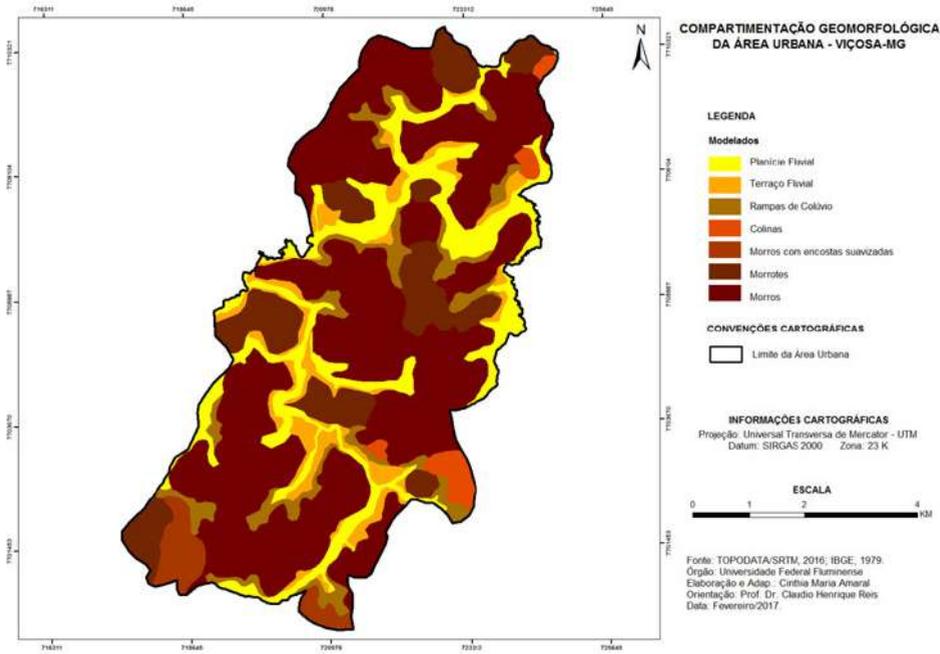


Figura 19 - Mapa de compartimentação geomorfológica

Elaboração: Próprio Autor (2017)

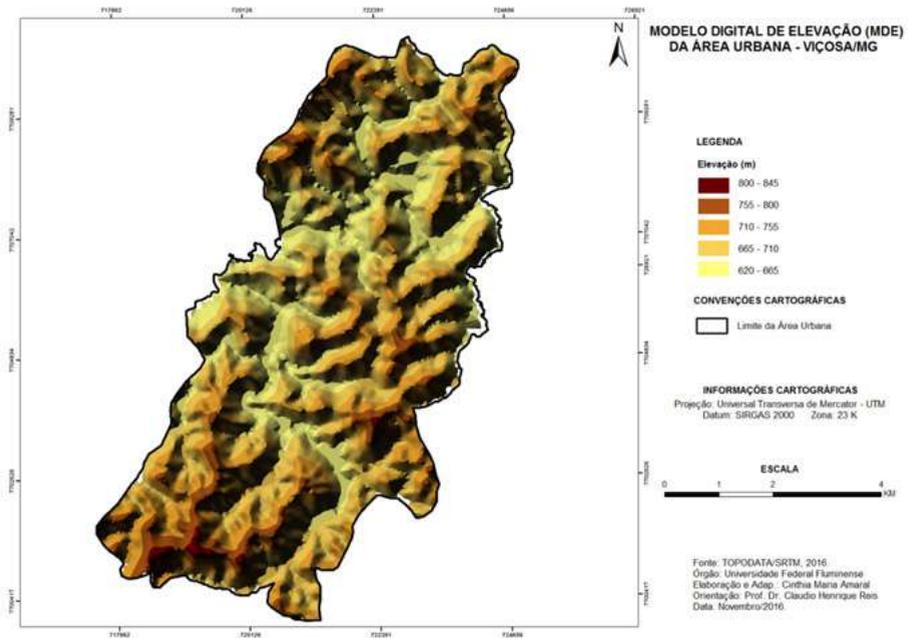


Figura 20 - Modelo Digital de Elevação

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Mapas de Densidade Populacional e Distribuição de Renda Média Salarial por Setor Censitário

Com base nos dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010, as variáveis de número de habitantes totais e renda média mensal, ambas por setor censitário, contribuíram para uma caracterização preliminar da população residente nos 96 setores censitários urbanos destacados nesta pesquisa. O código dos setores e os dados brutos das variáveis estão elencados no **Quadro 11**, que contém, também, uma atribuição numérica cardinal crescente para identificação e menção de cada setor censitário, seguindo para o enquadramento em intervalos das variáveis citadas para análise estatística.

Sobre o quantitativo populacional em cada setor, mais da metade (75%) dos setores apresentam baixa (326 a 650 habitantes/setor) e média (651 a 975 habitantes/setor) densidade (37,50% cada). Seguem-se 13,54% de setores de alta densidade (976 a 1300 habitantes/setor) e 11,46% de setores de baixíssima densidade (até 325 habitantes/setor).

Do total de setores por densidade, somou-se a população total (absoluta e percentual), a fim de esclarecer qual o quantitativo populacional que reside de fato nas classes estabelecidas. Assim, verificou-se que os setores de média densidade detêm o maior número populacional (45,20%), seguidos pelos setores de baixa densidade (28,46%), alta densidade (22,37%) e baixíssima densidade (3,97%), ressaltando que, independentemente do tamanho (área) e do número de setores, poderá haver maior população em menor grupo de setores somados por densidade e assim sucessivamente (**Tabela 3**).

Especialmente, essa distribuição da população dentro da área urbana se configura de forma mista, sendo notável o destaque para os setores de baixíssima densidade que se concentram em parte da área central e da UFV, fato justificado por se tratar de áreas mais comerciais e para fins educacionais, respectivamente (**Figura 21**).

Tabela 3: Resultado da classificação para densidade populacional por setor censitário

Número de Habitantes (por Setor)	Densidade	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	População Total (absoluto)	População Total (%)
Até 325	Baixíssima	11	11,46	2532	3,97
De 326 a 650	Baixa	36	37,50	18144	28,46
De 651 a 975	Média	36	37,50	28817	45,20
De 976 a 1300	Alta	13	13,54	14259	22,37
Total Urbano	-	96	100	63752	100
Total Município	-	110	100	72220	100

Fonte: IBGE (2010). Elaboração: Próprio Autor (2017)

Em relação à renda média, após o agrupamento estipulado (**Tabela 4**), chega-se a uma identificação e caracterização de pessoas mais e menos favorecidas socioeconomicamente. A maior parcela da população da área urbana (45,83%) recebe entre 2 a 5 salários, seguida dos 31,25% que recebem apenas até 2 salários mínimos. Essa porcentagem passa a diminuir de acordo com o aumento da renda salarial: 19,8% detêm de 5 a 10 salários, e somente 3,12% dessa população, o equivalente a mais de 10 salários mínimos.

Tabela 4: Resultado da classificação para renda salarial por setor censitário

Renda (Salário Mínimo*)	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	Setores
Até 2	30	31,25	6,8;10-12;15-18;35;37;41;44;47-50; 53-55;63-66;71;80;81;85;89 e 95.
De 2 a 5	44	45,83	1;4;7;9;13;14;19;20;22;25;29;31-34; 36;38-40;42;43;45;46;51;52;56-59; 62;70;72;76-79;82;84;86-88;90;92 e 96.
De 5 a 10	19	19,8	2;3;5;21;23;24;26-28;30;60;68;69;73; 75;83;91;93 e 94.
Acima de 10	3	3,12	61, 67 e 74.

*Valor do Salário Mínimo: R\$ 510,00 – ano base de 2010.

Fonte: IBGE (2010).Elaboração: Próprio Autor (2017)

Os extremos da concentração de renda são especialmente percebíveis quando considerada sua localização frente à valorização imobiliária no município. Desse modo, aqueles detentores de mais de 10 salários mínimos mensais se encontram (como referência) em parte do Centro e nos bairros Ramos e Acamari (próximo à UFV), Setores 67, 74 e 61, respectivamente. Em contrapartida, aqueles que possuem renda média mensal inferior a 2 salários mínimos se distribuem espacialmente com mais frequência na porção oeste da área urbana (**Figura 22**). O bairro Nova Viçosa (setores 18, 64, 66 e 71) é um dos que apresentam essa indicação socioeconômica inferior.

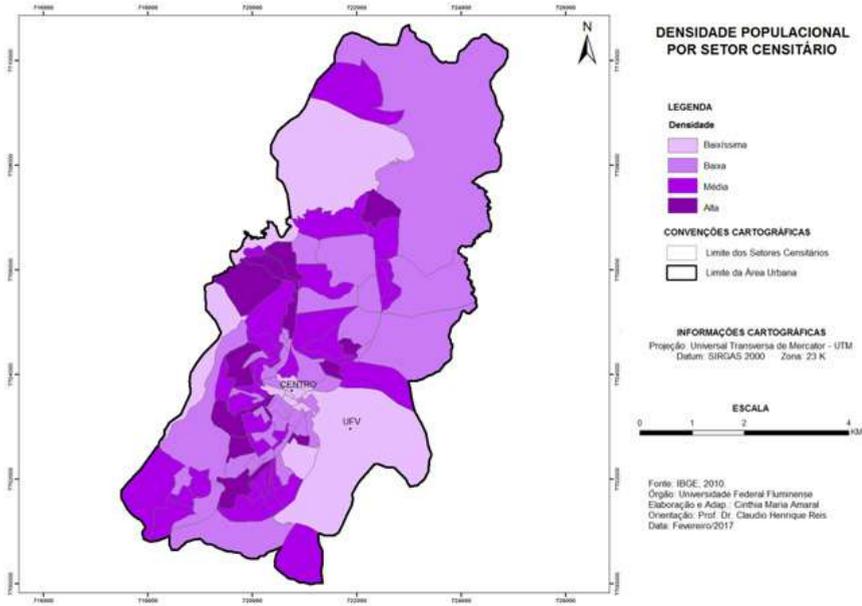


Figura 21 - Mapa de densidade populacional por setor censitário

Elaboração: Próprio Autor (2017)

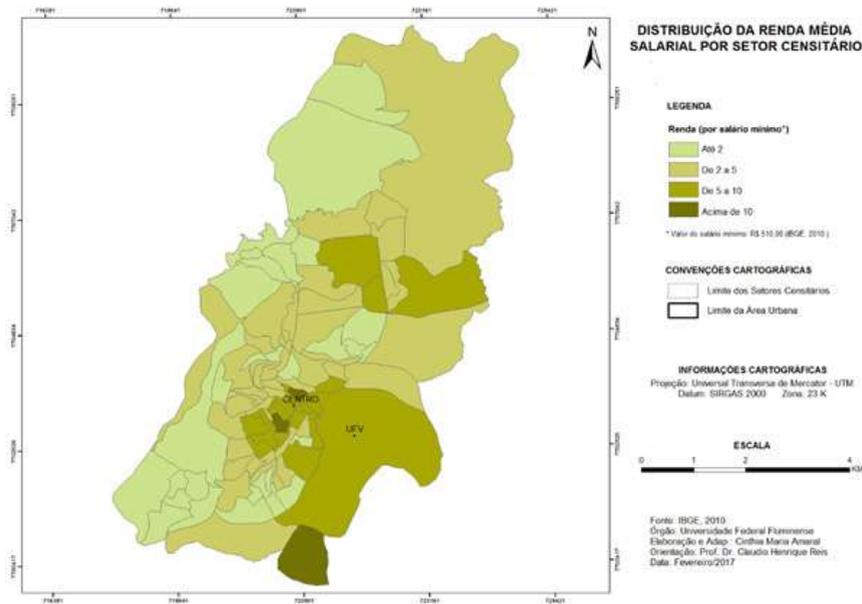


Figura 22 - Mapa de distribuição de renda média salarial por setor censitário

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Mapas de Riscos a Escorregamentos e Inundações e de Vulnerabilidade Social

A aplicação da metodologia de Álgebra de Mapas permitiu, por meio de duas equações, chegar a dois resultados distintos para o risco de escorregamentos, risco de inundações e para a vulnerabilidade social, totalizando seis mapas. Esses resultados se embasaram na soma simples dos fatores, que têm integrado a suas classes valor de ponderação (Equação 1), e na soma desses fatores com multiplicação de pesos específicos (Equação 2), atribuídos de acordo com a importância que cada fator tem frente aos riscos e à vulnerabilidade aqui estudados.

A aplicação da Equação 2 (E2), para identificação das áreas de risco de escorregamentos, se mostrou mais viável e confiável, principalmente na detecção das áreas de maior grau de risco, pois obteve resultados mais homogêneos entre os graus definidos, facilitando, assim, o enquadramento das áreas de alto risco, especialmente (**Figura 23**). Na análise da Equação 1 (E1), a área detectada de grau máximo se mescla às informações de graus inferiores, dificultando o apontamento das áreas de maior risco (**Figura 24**).

Em relação aos resultados de risco de inundação, na E2, os resultados de alto grau foram concentrados próximos aos cursos d'água, na compartimentação geomorfológica e declividade correspondentes, sendo mais bem observados com a rede de drenagem que compõe a área urbana (**Figura 25**); já com os resultados obtidos com a E1, as áreas de alto e médio risco foram expandidas para áreas que são, de fato, de baixo grau (**Figura 26**), não se obtendo, assim, resultado satisfatório.

E, por fim, com as informações coletadas das variáveis de renda média e número de habitantes por setor censitário, disponíveis no resultado do Censo Demográfico (IBGE, 2010), aplicaram-se E1 e E2 (para essas variáveis), sendo que o resultado mais apropriado mostrou ser desta última, pois houve maior abrangência dos setores de vulnerabilidade alta, que foram caracterizados na E1, erroneamente, como grupos de baixa e média vulnerabilidade em determinadas áreas (**Figura 27 e 28**, respectivamente). A identificação dessa diferença foi facilmente conferida, uma vez que houve, em momento anterior, trabalhos de campo e análises mais detalhadas dos indicadores das variáveis base para esse fator.

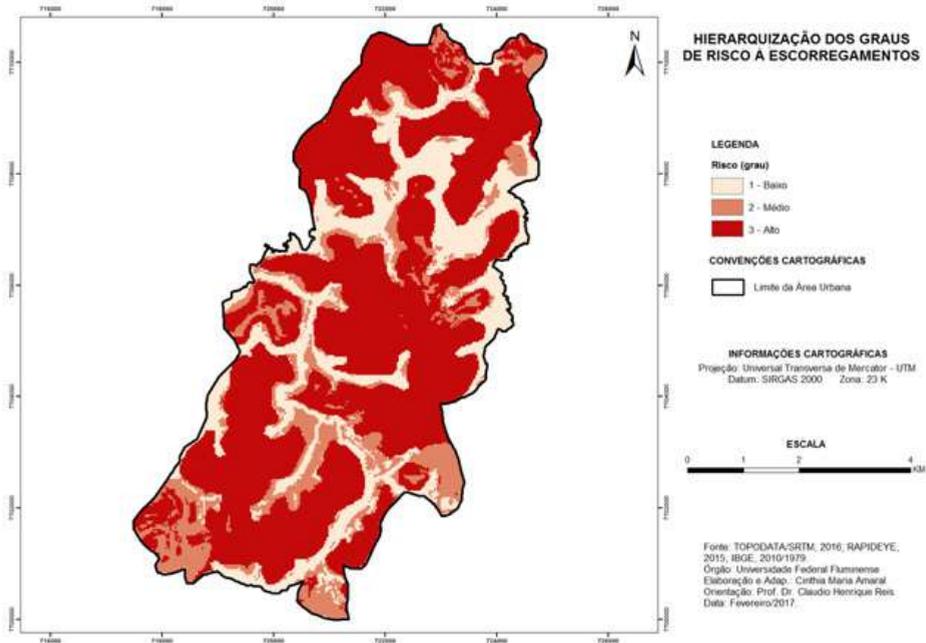


Figura 23 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

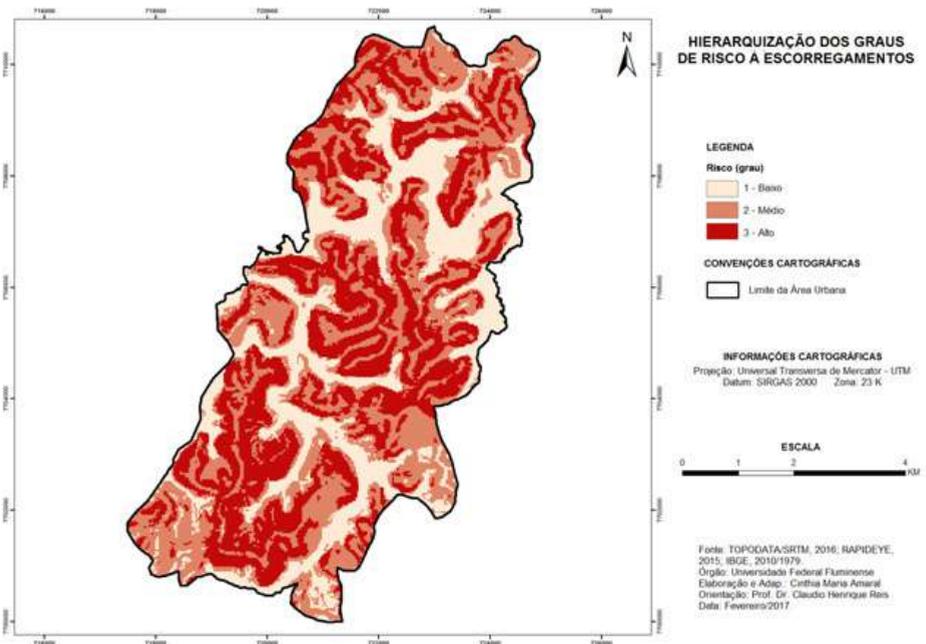


Figura 24 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

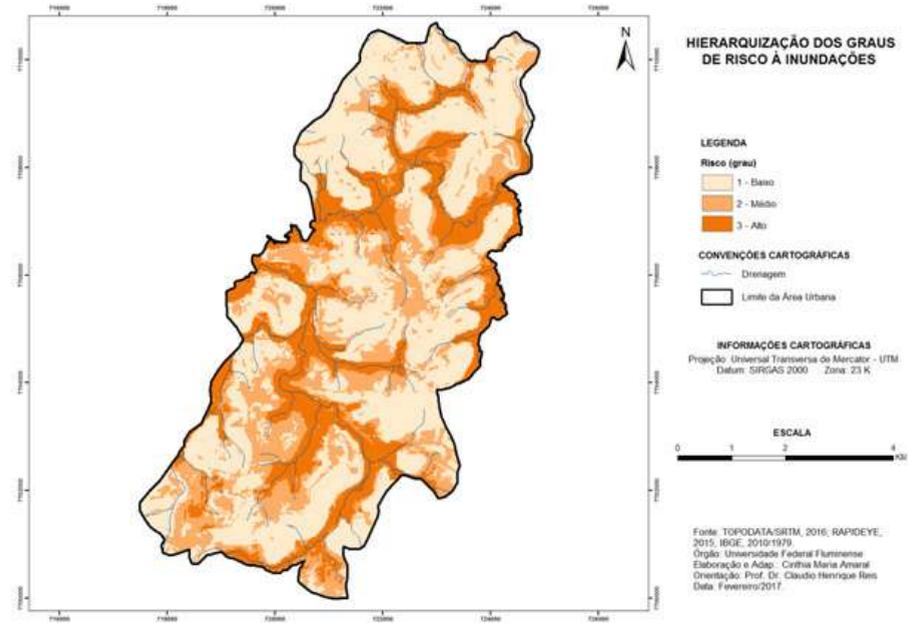


Figura 25 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

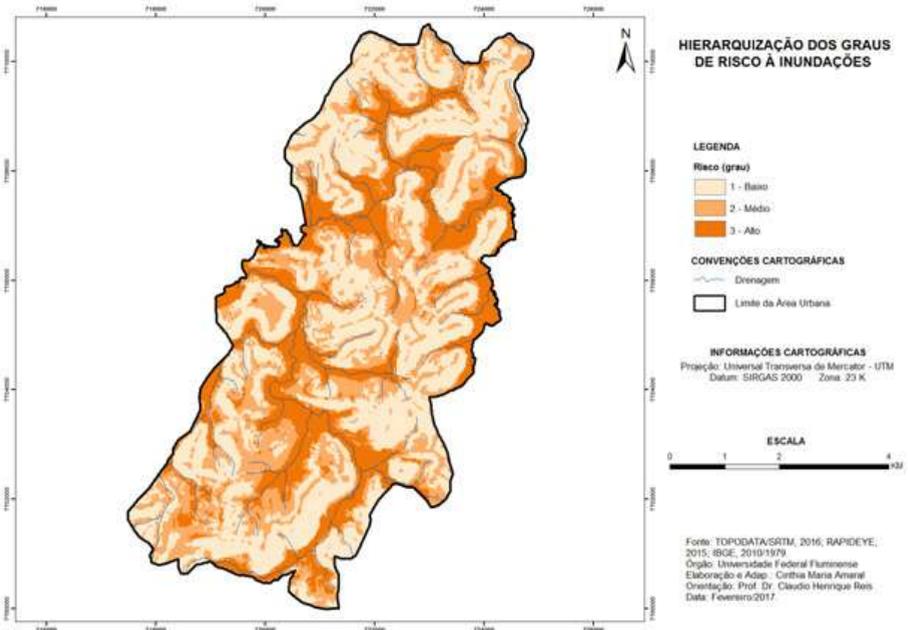


Figura 26 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

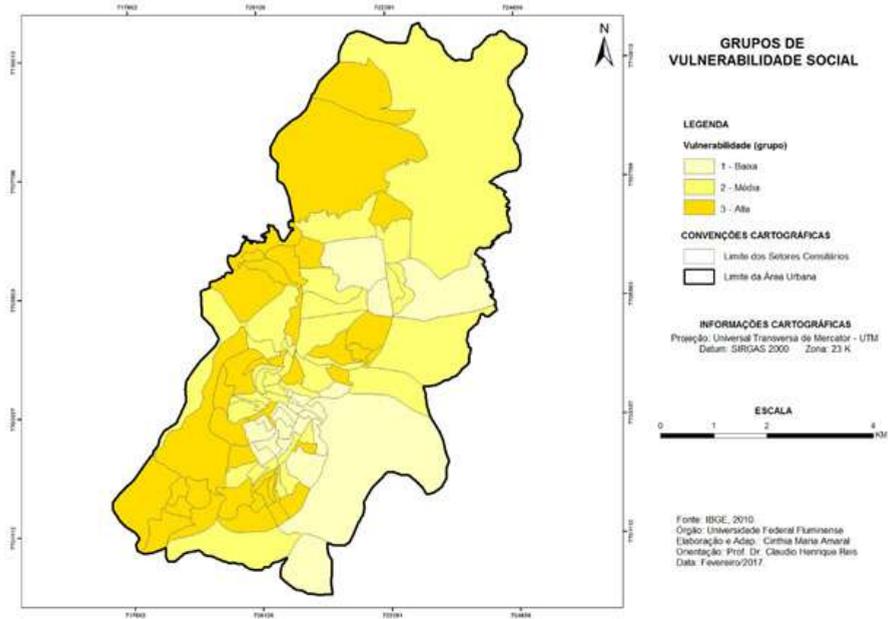


Figura 27 - Mapa de grupos de vulnerabilidade social com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

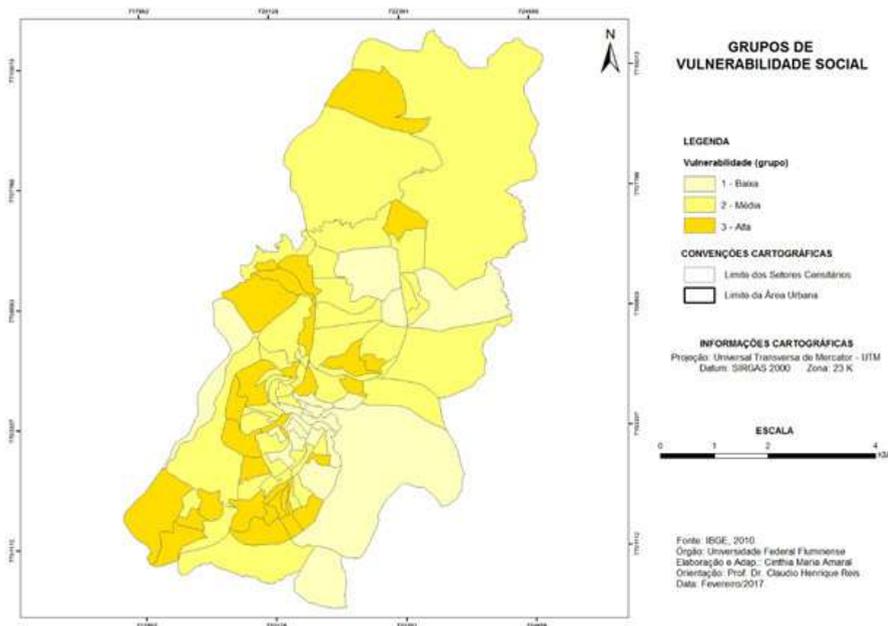


Figura 28 - Mapa de grupos de vulnerabilidade social com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

A **Tabela 5** explicita o argumentado acima, mostrando as diferenças de soma de áreas (em Km²) entre os resultados dos mapas. Nota-se que, para os resultados da E1, o valor do intervalo das áreas para risco de escorregamentos é mais próximo, sendo que há diferença relevante para essas áreas conforme explicado e justificado por fatores como declividade e compartimentação geomorfológica. Para as áreas de risco de inundação, o que se destaca são as áreas de risco baixo darem maior valor no mapa de ponderação, fato verídico, pois o relevo da área é composto justamente por compartimentos mais elevados (>15%) e, para a vulnerabilidade, é notável que o Grupo 3 (vulnerabilidade alta) tem maior área em comparação ao mapa de soma simples (E1).

Tabela 5 - Resultado em área para riscos de escorregamentos e inundações e para a vulnerabilidade social com aplicação da E1 e E2

Fatores	Risco/Grupo	E1 - Área (Km ²) (Absoluto)	E2 - Área (Km ²) (Absoluto)
Escorregamentos	1	10,36	8,79
	2	15,70	6,89
	3	15,53	25,90
Inundações	1	18,78	21,06
	2	12,48	10,50
	3	10,33	10,03
Vulnerabilidade	1	9,90	9,17
	2	24,22	18,03
	3	7,47	14,39
Total Área Urbana	-	41,98	41,98
Total Área por Fator	-	41,59	41,59
Área não classificada	-	0,39	0,39

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Desse modo, os mapas resultantes da E2, elaborados com a soma e multiplicação de pesos específicos para cada fator, serão utilizados para discussão e análise que instigaram o objetivo principal deste trabalho, pois promulgaram um resultado mais satisfatório para a hierarquização dos graus dos riscos e para a identificação e definição dos grupos de vulnerabilidade.

Com o cruzamento dessas informações e das análises dos Itens **4.1**, **4.2** e **4.3**, os critérios caracterizadores (**Quadro 12**) para obtenção dos graus de risco (1,2 e 3) e dos grupos de vulnerabilidade (1, 2 e 3), com enfoque no meio físico (compartimentação geomorfológica e declividade), no homem (perfil socioeconômico) e no homem-meio (Uso e Cobertura da Terra), permanecem assim definidos:

Quadro 12 - Descrição dos critérios para obtenção dos graus de riscos e dos grupos de vulnerabilidade social

RISCOS		
Escorregamento	Inundação	Critérios*
Risco1 (Baixo)	Risco 3 (Alto)	Áreas com declividade inferior a 15%, abrangendo principalmente as planícies e terraços fluviais. São áreas demasiadamente ocupadas em toda sua extensão da área urbana, com insuficiente ou inexistente cobertura vegetal ciliar.
Risco 2 (Médio)	Risco 2 (Médio)	Áreas com declividade variando em intervalos inferiores e superiores a 15%, a depender da forma do relevo (rampas de colúvio, colina, morro em encostas suavizadas ou morrotes). Nessas áreas há ocupação significativa se ramificando pelas encostas. A vegetação consiste em Mata Secundária em Regeneração e Pastagem, que abrange maior área, mesmo que em setor urbano.
Risco 3 (Alto)	Risco 1 (Baixo)	Áreas com declividade superior a 15%, com presença de morrotes e principalmente de conjunto de morros, que podem chegar a declividade superior a 30%. Nessas declividades (topos de morros), quando não ocupadas, há presença de Mata Secundária Regenerada ou pastagem.
VULNERABILIDADE SOCIAL		
Vulnerabilidade	Critérios*	
Grupo 1 (Baixa)	Setores que apresentam entre baixíssima a baixa densidade populacional e com renda superior a 5 salários mínimos, principalmente acima de 10 salários.	
Grupo 2 (Média)	Setores que apresentam média densidade populacional com renda variando entre o intervalo de 2 a 5 salários mínimos.	
Grupo 3 (Alta)	Setores que apresentam alta densidade populacional com renda inferior a 2 salários mínimos.	

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Os critérios foram definidos de acordo com os resultados e análises obtidas nos itens anteriores.

A análise dos resultados referentes aos riscos e vulnerabilidade acima dispostos está apresentada a seguir.

Risco de Escorregamentos

O risco de escorregamentos existe independentemente da intervenção humana, entretanto a má gestão da ocupação espacial e territorial pode agravar e/ou acelerar esses processos, principalmente nas áreas urbanas, onde há falta de planejamento e fiscalização dos órgãos competentes frente à ocupação das áreas de risco.

A configuração morfológica de Viçosa, composta em sua maioria por áreas mais declivosas (>15%) e por formações de morros e morrotes (amplitudes altimétricas maiores que 100 metros), consiste em fator determinante para delimitação das áreas de risco de escorregamentos. Assim, mais de 60% da área urbana total se classifica como de alto risco (Grau 3), e um pouco mais de 16%, de risco médio (Grau 2). As áreas mais planas (intervalos inferiores a 15%) correspondem ao risco baixo (Grau 1), com representação de 21,14% (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Total em área (Km²) para os graus de hierarquização de risco de escorregamentos

Grau	Classificação	Área (km ²) Absoluto	Área (km ²) %
1	Baixo	8,79	21,14
2	Médio	6,89	16,58
3	Alto	25,90	62,28
Área Total Analisada	-	41,59	100,00

Elaboração: Próprio Autor (2017)

O mapa final de hierarquização de risco de escorregamentos (**Figura 29**), mostra espacialmente que as delimitações das áreas de risco de Grau 3 correspondem de fato às formas de relevo mais declivosas (>15%), principalmente os morros e morrotes, e localizam-se sem uma concentração evidente, abrangendo toda a área urbana, desde as áreas centrais até as mais periféricas. As áreas de Grau 2 (formas morfológicas mescladas) perfazem a transição com as áreas de Grau 1, que têm declividade inferior a 15% e configuração do relevo mais aplainada (planícies e terraços fluviais).

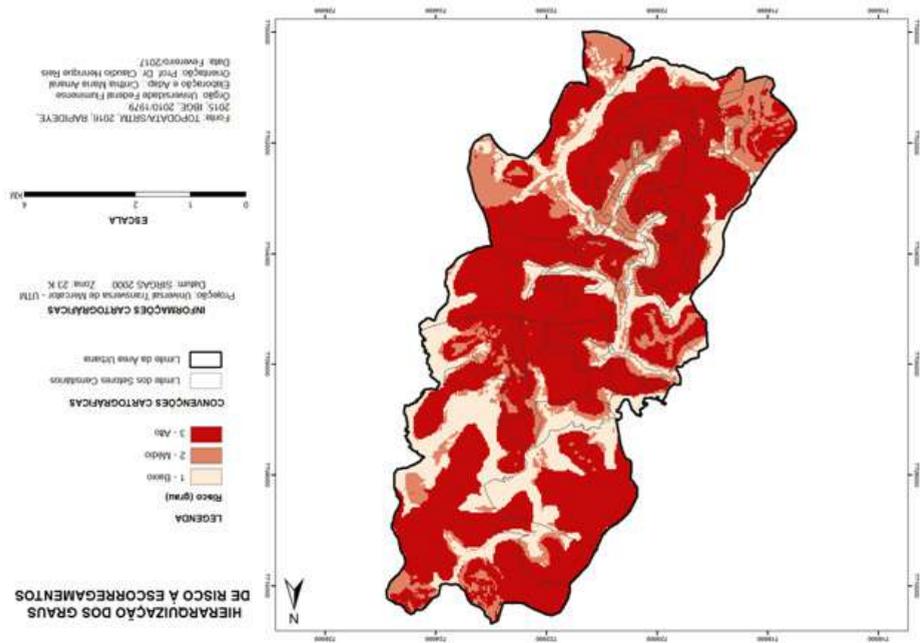


Figura 29 - Mapa de hierarquização dos graus de riscos de escorregamentos e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Os escorregamentos são processos muito frequentes na área em estudo, seja por consequência de alta pluviosidade, seja por problemas diversos com a rede pluvial, instabilidade/movimentação do terreno (natural ou criada), retirada inadequada do sopé da encosta ou outros fatores. Dos tipos de escorregamentos existentes, translacional e rotacional (FERNANDES; AMARAL, 2009), o rotacional é o que mais ocorreu (**Figura 30**). Em campo, é possível verificar cicatrizes desses escorregamentos (**Figura 31**), o tamanho da área atingida, impactos causados e locais suscetíveis à ocorrência desse movimento de massa. Ressalta-se que, em épocas de maiores volumes de chuva, a ocorrência desses eventos aumenta, mesmo sabendo que, para ocorrer, esses movimentos independem da ação da água.



Figura 30 - Escorregamento rotacional ocorrido em área com cobertura vegetal. UFV, Viçosa-MG

Fonte: Arquivo Pessoal (2015)



Figura 31 - Cicatrizes de escorregamento em encosta acima de áreas (de risco) ocupadas. Bairro Sagrada Família, Viçosa, MG

Fonte: Arquivo Pessoal (2015)

Risco de Inundações

Para o risco de inundação, a maior porcentagem é referente ao baixo risco (Grau 1) com metade (50,64%) da área total urbana, seguido pelo risco médio (Grau 2), com 25,25%. Essas posições são justificadas, já que a maior parcela territorial é composta por áreas de maiores declividades que, portanto, não interferem com tenacidade na definição das áreas de risco de inundação. Assim, 24,11% são áreas consideradas de alto risco (Grau 3) (**Tabela 7**).

Tabela 7 - Total em área (Km²) para os graus de hierarquização de risco de inundação

Grau	Classificação	Área (km ²) Absoluto	Área (km ²) %
1	Baixo	21,06	50,64
2	Médio	10,50	25,25
3	Alto	10,03	24,11
		41,59	100,00
Área Total Analisada	-	41,59	100,00

Elaboração: Próprio Autor (2017)

As áreas de Grau 3 estão, em suma, nas áreas menos declivosas estabelecidas nas planícies e terraços fluviais. Espacialmente, essas áreas se configuram nas margens do Ribeirão São Bartolomeu (sentido sudeste-noroeste), do córrego da Conceição (parte sul da área central) e do rio Turvo Sujo (sentido meandrante de leste-oeste) (**Figura 32**).

Em análise mais detalhada para os cursos d'água que compõem a área urbana do município de Viçosa, no que tange à sua hierarquização, estes, em sua maioria, se classificam como canais de primeira ordem, seguidos pelos canais de segunda, terceira e por fim, de quarta ordem (**Figura 33**), de acordo com o método Strahler (1952)⁵³. Essa hierarquização é um importante instrumento, pois facilita os estudos da dinâmica fluvial local, permitindo compreender como ocorrem os processos de inundações, por exemplo.

O rio Turvo Sujo (A) é o curso d'água de maior expressão, dando origem à bacia hidrográfica principal que compõe o município de Viçosa e que corta parte da área urbana, já com ordenamento 4, trazendo forte carga de sedimentos para jusante. Um de seus afluentes, o ribeirão São Bartolomeu (B), é o principal curso d'água urbano de Viçosa, de classificação de 4ª ordem, interceptando toda área central até desaguar no rio Turvo Sujo, no limite da área urbana/rural. O ribeirão São Bartolomeu, assim como o rio Turvo Sujo, sofre represamento para captação e abastecimento de água para o município. O córrego da Conceição (C), de 3ª ordem, é um dos braços do ribeirão São Bartolomeu dentro da área urbana e, atualmente, ocasiona inundações esporádicas (a depender do volume, intensidade da chuva, etc.) próximo ao seu ponto de confluência com o ribeirão São Bartolomeu, trecho que se encontra canalizado.

Em suma, as áreas de maior risco de inundação são compostas por drenagens de 4ª Ordem ou 3ª Ordem. As áreas de riscos inferiores são compostas por cursos d'água de 2ª e 1ª Ordem, para riscos de grau médio e baixo, respectivamente.

Em evento ocorrido em março de 2015, choveu 111 milímetros (acumulado aproximado de 3 horas), o que gerou transbordamento do córrego da Conceição, que subiu cerca de 7 metros acima do nível normal e atingiu construções que margeiam o curso d'água na Avenida Santa Rita, Rua Francisco Machado e mediações da Praça Mário Del Giudice no Centro da cidade. Esse trecho do córrego, conforme mencionado anteriormente, é canalizado (com galeria subterrânea), e o excesso de lixo acumulado entupiu a entrada dessa galeria e impediu que a água escoasse, causando o transbordamento no trecho em questão⁶¹. Além da contribuição humana para a gravidade do evento, os fatores físicos devem ser considerados. O rápido escoamento superficial, a forte carga de sedimentos originadas a montante e o acumulado excessivo de volume pluviométrico são fatores que impulsionaram a ocorrência, mencionando também que a área em questão é de grau 3, em relação a risco de inundações (**Figuras 34 e 35**).

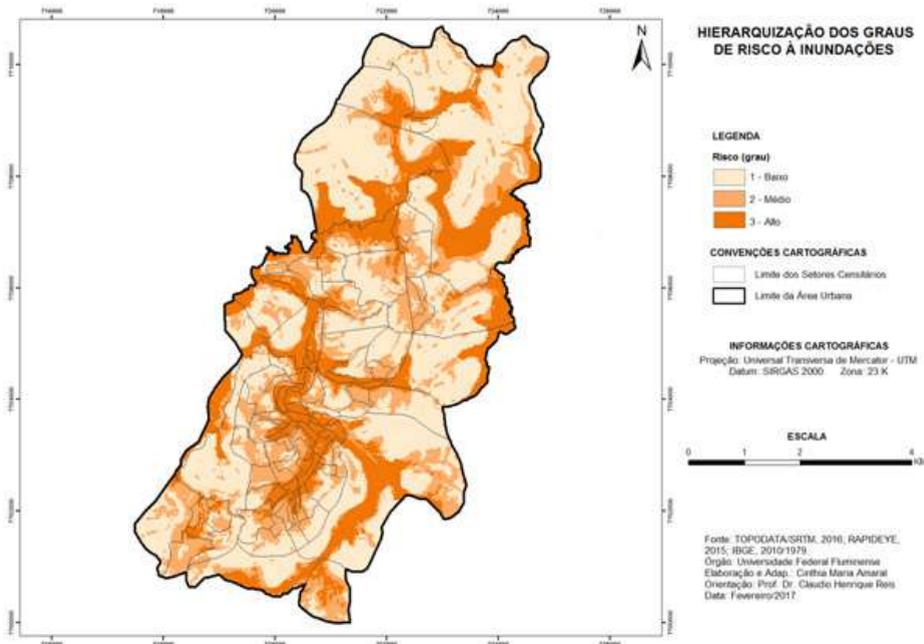


Figura 32 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundação e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2017)

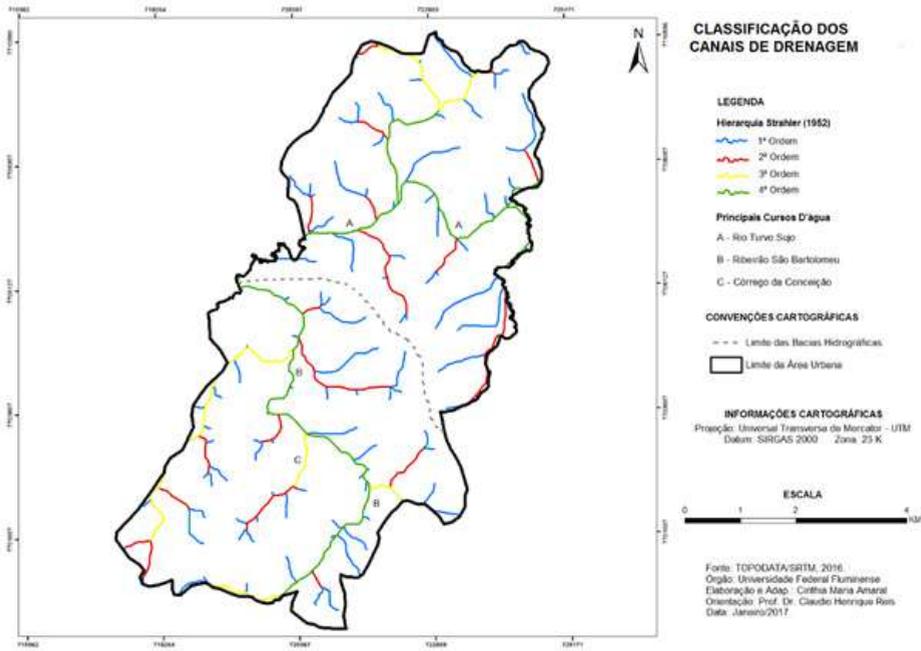


Figura 33 - Hierarquização fluvial – método Strahler (1952)

Fonte: Próprio Autor (2017)



Figura 34 - Inundação causada pelo transbordamento do córrego da Conceição. Centro, Viçosa, MG

Fonte: Enviada para a Defesa Civil (2015)



Figura 35 - Leito do córrego da Conceição após inundação sofrida. Centro, Viçosa, MG

Fonte: Enviada para a Defesa Civil (2015)

As inundações que mais ocorrem na área urbana do município de Viçosa são a do tipo brusca, devido ao grande volume de chuva (mm) em relação ao curto espaço de tempo (min/hora). Esses eventos estão concentrados nos meses de maior volume de chuva, mas podem ocorrer, esporadicamente, em outras ocasiões. Com exceção dos processos naturais (inundações), comumente ocorrem problemas de alagamentos nas áreas centrais devido ao rápido escoamento superficial oriundo das partes mais declivosas, bueiros insuficientes ou entupidos e impermeabilização do solo, que é quase total nas áreas urbanas. Esses problemas são agravados pela m  condição do sistema urbano de drenagem (como a rede de captação pluvial) do município.

399

Vulnerabilidade Social

Após definição do mapa a ser utilizado para esta análise, chegou-se   conclusão de que o maior número de setores (40,62%)   de vulnerabilidade alta, pertencentes ao Grupo 3. Em seguida, estão os setores que somam vulnerabilidade média (36,46%) e vulnerabilidade baixa (22,92%), pertencentes aos Grupos 2 e 1, respectivamente.

O Grupo 3 soma ao todo 32 754 habitantes, pouco mais da metade dos 63 752 habitantes inseridos em toda área urbana, isto é, 51,38% dessas pessoas são de vulnerabilidade alta, e mais de 20 953 habitantes (32,87%) são de vulnerabilidade média (Grupo 2). O Grupo 1 é de menor expressividade, tanto para o número de setores quanto para o total da população residente nessas áreas (**Tabela 8**), somando um total de 10 045 habitantes (15,75%).

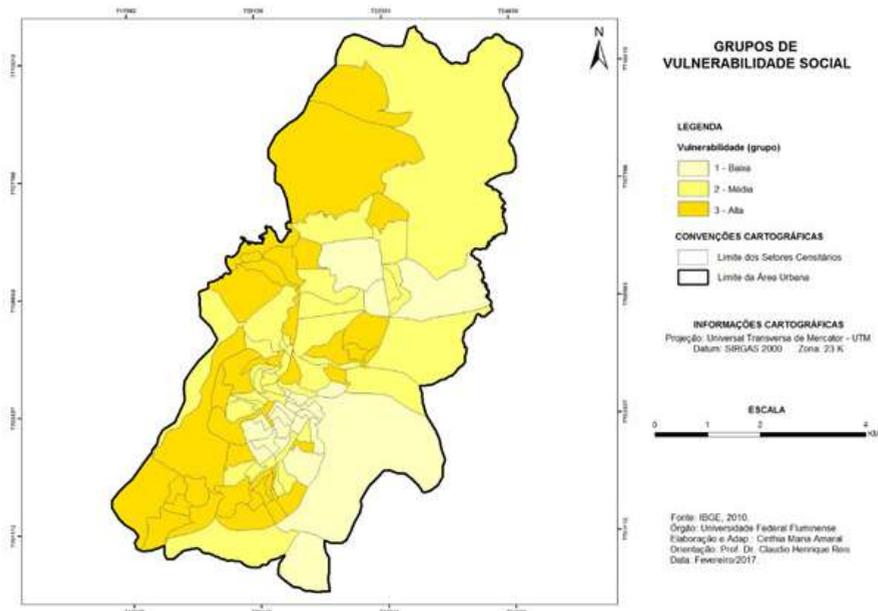
Tabela 8 - Total de setores censitários e população por cada classe de vulnerabilidade

Grupos	Vulnerabilidade	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	População Total (Absoluto)	População Total (%)
1	Baixa	22	22,92	10045	15,75
2	Média	35	36,46	20953	32,87
3	Alta	39	40,62	32754	51,38
Total	-	96	100	63752	100,00

Fonte: IBGE (2010).Elaboração: Próprio Autor (2017)

Sobre a espacialização da Vulnerabilidade Social (**Figura 36**), o Grupo 1 é representado principalmente pelos setores da área central, UFV e os bairros Acamari, João Brás, Violeira e Inconfidência. O Grupo 2 encontra-se bem dissipado e se estabelece em todos os sentidos da área urbana, perfazendo também parte da região central e bairros localizados ao sul e a leste da área urbana. O Grupo 3, o qual merece maior destaque em razão dos objetivos deste trabalho, pois é o que apresenta maior vulnerabilidade, ocupa, em sua maior parte, a porção oeste e determinadas áreas próximas às centrais.

É válido ressaltar que o resultado dos grupos de vulnerabilidade estabelece relação com o mapa de sobreposição das curvas de nível com os setores censitários (**Figura 16**). Já foi mencionado que, provavelmente, essas delimitações não só acompanhariam as limitações do relevo local, mas também funcionariam como uma pré-caracterização da população residente.

**Figura 36 - Grupos de vulnerabilidade social e setores censitários**

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Análise do cruzamento de informações dos mapas de risco de escorregamentos e inundações com identificação dos grupos de vulnerabilidade social para cada setor censitário

Na sobreposição dos resultados de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos e inundações com os grupos de vulnerabilidade social, alguns setores, devido à sua localização e disposição no território, apresentam dois ou três tipos de riscos e um ou mais grupos de vulnerabilidade, conforme observado nas **Figuras 37 e 38**. Mas há, também, áreas que estão quase ou totalmente inseridas nas áreas de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) e outras áreas que apresentam Grau 3 para os riscos de escorregamentos e inundações simultaneamente. Essas áreas, que são consideradas neste trabalho como áreas de estado prioritário, apresentam maior abrangência territorial urbana e, por esse motivo, merecem maior atenção frente a políticas de prevenção e mitigação de riscos e desastres naturais.

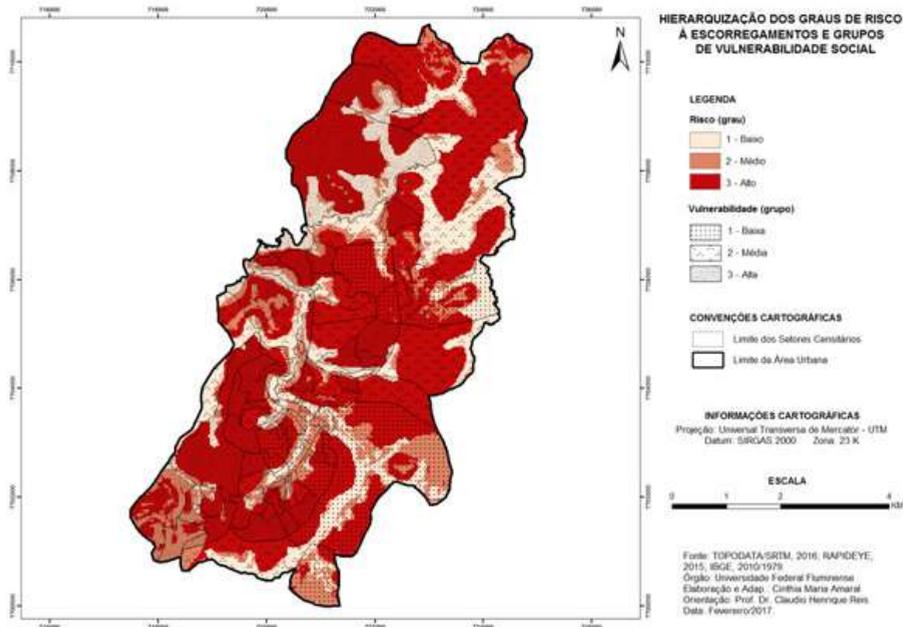


Figura 37 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos e grupos de vulnerabilidade social

Elaboração: Próprio Autor (2017)

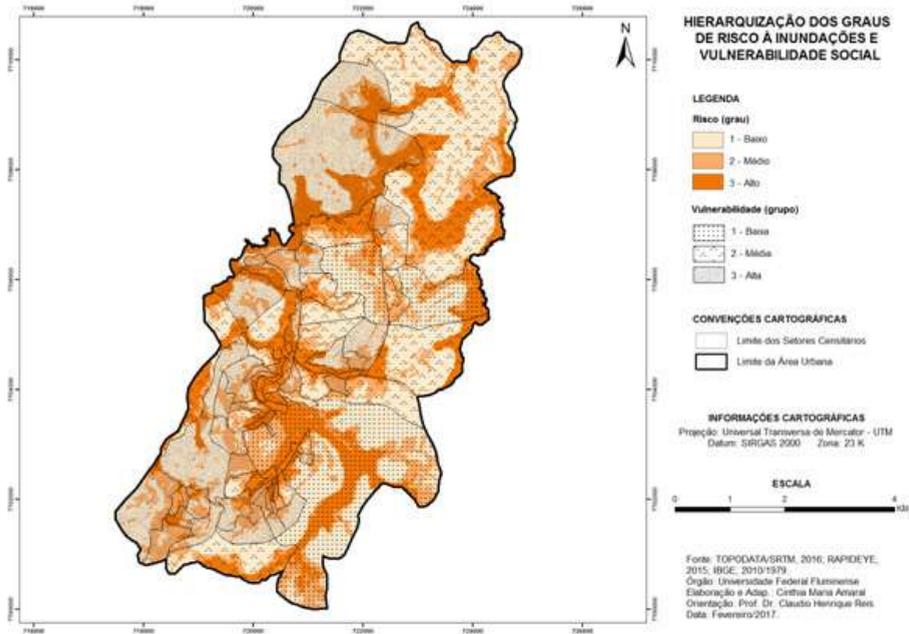


Figura 38 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações e vulnerabilidade social

Elaboração: Próprio Autor (2017)

402

Desse modo, as análises e mapeamentos realizados permitiram estabelecer quais são os setores censitários que são de atenção prioritária frente aos riscos de escorregamentos e inundações, junto à caracterização da população de vulnerabilidade alta residente nessas áreas.

O **Quadro 13** elenca os setores que somam alto risco (escorregamento e/ou inundações) e alta vulnerabilidade. Cabe ressaltar que alguns setores, que não estão inseridos nesta listagem, apresentam áreas de risco de Grau 3, porém em menor proporção de área. As localizações mencionadas são referência base, podendo haver um ou mais bairros/ruas por setor ou vice-versa.

Quadro 13 - Quadro síntese dos setores de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) (continua)

Setor	Risco	Localização
49	Inundações	Laranjal
8	Escorregamento	Bom Jesus
12	Escorregamento	Bom Jesus; Sagrada Família.
15	Escorregamento	Sagrada Família

Quadro 13 - Quadro síntese dos setores de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) (conclusão)

Setor	Risco	Localização
16	Escorregamento	Estrelas
17	Escorregamento	Posses
19	Escorregamento	Fátima
29	Escorregamento	Santa Clara
35	Escorregamento	São Sebastião
36	Escorregamento	Maria Eugênia
37	Escorregamento	Santa Clara
41	Escorregamento	João Mariano
50	Escorregamento	Amoras
53	Escorregamento	Santo Antônio
54	Escorregamento	Santo Antônio
58	Escorregamento	Santo Antônio
64	Escorregamento	Nova Viçosa
65	Escorregamento	Nova Viçosa
80	Escorregamento	São José
81	Escorregamento	Vau Açu; Morro do Escorpião.
6	Escorregamento/Inundação	Bela Vista; Centro; Rua São José.
10	Escorregamento/Inundação	Bom Jesus; Centro
11	Escorregamento/Inundação	Bom Jesus
13	Escorregamento/Inundação	Fátima; Rua da Conceição
14	Escorregamento/Inundação	Fátima
31	Escorregamento/Inundação	Lourdes
44	Escorregamento/Inundação	Morro do Café; Vale do Sol
46	Escorregamento/Inundação	Nova Era
48	Escorregamento/Inundação	Vau Açu
63	Escorregamento/Inundação	Santo Antônio
85	Escorregamento/Inundação	Posses e adjacências.
87	Escorregamento/Inundação	Silvestre
89	Escorregamento/Inundação	Novo Silvestre
95	Escorregamento/Inundação	Silvestre

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Dos 96 setores censitários analisados nesta pesquisa, 34 são considerados de alto risco e têm vulnerabilidade social alta, ou seja, somando-se o número de habitantes em todos esses setores, aproximadamente 40% da população da área urbana de Viçosa encontram-se nas áreas de alto risco e são pertencentes ao Grupo 3 de vulnerabilidade. Em relação à área (Km²) abrangida, 31,25% do total de 41,98 Km² configuram essa identificação de alerta (**Tabela 9**).

Tabela 9 - Resultado referente ao número de setores, área (Km²) e população para as áreas identificadas como prioridade

	Número de Setores (Abs.)	Número de Setores (%)	Área (Km ²) (Abs.)	Área (Km ²) (%)	População Total (Abs.)	População Total (%)
Apontados	34	35,41	13,12	31,25	25919	40,65
Analisados	96	100	41,98	100	63752	100
Município	110	-	299,41	-	72220	-

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Em Viçosa, assim como acontece na maioria das áreas urbanas brasileiras, as áreas de risco são, majoritariamente, ocupadas por população de baixo poder aquisitivo, mas frequentemente os eventos atingem todo tipo de população, sem diferenciação socioeconômica. O que difere, portanto, é o impacto que o evento/fenômeno causa nessas pessoas.

É de conhecimento que não há planejamento eficiente para as instalações urbanas e tampouco fiscalização vigente e atuante para que outras áreas de risco ou proteção não sejam ocupadas de forma irregular. O Art. 5º do Capítulo I da Lei municipal n. 1.469/2001, que institui o parcelamento do solo do município de Viçosa e dá outras providências, ressalta que nenhuma modalidade de parcelamento do solo será permitida em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações sem que haja obras específicas que assegurem o escoamento adequado das águas, e também não poderá ocorrer em terrenos com declividade superior a 40% e de condições geológicas desfavoráveis à ocupação antrópica. Em instância nacional, o Novo Código Florestal (Lei n. 12.651/2012), Art. 4º, considera essas áreas, dentre outras, como Áreas de Preservação Permanente (APP), e que, para cada especificidade de ocupação, deve-se observar o cumprimento da lei.

Parte das instalações antrópicas em áreas de risco foi concretizada antes da sanção das leis citadas, e, mesmo essas leis estando vigentes, boa parcela da população continua a se instalar nessas áreas, de forma inapropriada, em razão, na maioria das vezes, de suas condições socioeconômicas. A remoção da população das áreas de risco é uma questão social, que deve ser planejada junto ao poder público, com intervenção dos setores compatíveis com essa problemática, não desfavorecendo e não colocando em risco a vida dos que ali habitam.

Conclusões

A identificação de áreas de risco é um importante procedimento para auxílio ao planejamento e gestão pública. A hierarquização desses riscos e a caracterização dos grupos de vulnerabilidade permitem esclarecer quais são as áreas de intervenção prioritária e qual o tipo de população ali residente.

Os riscos de escorregamentos e inundações tendem a existir em áreas em que o solo não possui proteção adequada e/ou onde ocorreu ou ainda ocorre interferência antrópica acentuada que pode agravar e/ou acelerar esses processos, já que estes são de ordem natural e ocorrem independentemente da ação do homem.

A área urbana de Viçosa se configura entre médias e altas declividades (>15%), com formação predominante de morros, amplitudes elevadas, vales mais encaixados e exutórios mais estreitos. As áreas de declividades menos acentuadas (<15%), próximas aos cursos d'água, estão demasiadamente ocupadas, e, atualmente, esse processo de instalação urbana ramifica-se pelas encostas, na maioria das vezes de forma inapropriada.

Em referência socioeconômica, mais de 70% dos setores censitários urbanos analisados apresentam baixa e média densidade populacional. Sobre a renda média salarial, cerca de 75% da população ganham abaixo de 5 salários mínimos, sendo que, desse total, mais de 30% ganham até 2 salários mínimos. Assim, identificou-se que a maior parcela (51,38%) da população é de vulnerabilidade alta (Grupo 3), a parcela de 32,87% é de vulnerabilidade média (Grupo 2) e a parcela de 15,75% é classificada como de vulnerabilidade baixa (Grupo 1).

O mapeamento de risco de escorregamentos apontou que 62,28% da área urbana de Viçosa é considerada de Alto Risco (Grau 3), seguida pelas áreas de baixo (Grau 1), com 21,14%, e médio risco (Grau 2), com 16,58%. Para o mapeamento de risco de inundações, as áreas de Grau 3 representam 24,11% da área urbana, as áreas de Grau 2 representam 25,25%, e as áreas de Grau 1 correspondem a 50,64%.

As áreas de maior vulnerabilidade social (Grupo 3) e as áreas de alto risco (Grau 3), somadas, indicam as áreas (por setor censitário) que precisam de maior atenção e intervenção, frente aos riscos de escorregamentos e inundações. Esses setores identificados como estado de prioridade são comumente ligados a eventos dos processos acima citados, principalmente nos meses entre novembro e março, que concentram maior volume pluviométrico.

A aplicação dessa metodologia, além do baixo custo de execução, mostrou-se viável e com resultados satisfatórios para a realidade da área em estudo e passível de ser aplicada e adaptada para outras realidades. Entretanto, é importante frisar que os resultados podem não ser, em sua totalidade, condizentes com a área real, pois dependem da valoração e ponderação aplicada aos fatores e classes correspondentes, nas equações 1 e 2. Essa determinação dependerá do objetivo proposto e do pesquisador em questão, que deve realizar, quando possível, trabalhos de campo para comprovação ou refutação dos resultados alcançados.

Desse modo, a utilização das geotecnologias para pesquisas voltadas à identificação de áreas de riscos, além de promover maior capacidade de análise frente a diferentes escalas, apresenta importância significativa para subsídios aos planejamentos aplicados às medidas preventivas e mitigadoras de riscos de desastres naturais.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Laboratório de Geotecnologias (LAGEOT) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense – UFF Campos.

GEOTECNOLOGIAS NA FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL: O USO DE VANTS, SIG E MAPAS COLABORATIVOS PARA FINS MILITARES

José Francisco de Oliveira Júnior (PMERJ) · José Augusto Ferreira da Silva (IFFluminense)
Jader Lugon Junior (IFFluminense)

Introdução

As geotecnologias são consideradas ferramentas importantes nos estudos das paisagens, possibilitando a extração de dados georreferenciados necessários à construção de um modelo da realidade e/ou à obtenção de imagens em tempo real para o monitoramento ambiental.

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTS) para os mais diversos fins vem se tornando cada vez mais frequente nos últimos anos. Com um desenvolvimento inicial nas atividades militares, devido à segurança proporcionada nas missões, por não haver tripulação embarcada, e à redução de investimento em relação a uma aeronave convencional, a utilização dos VANTS tornou-se praticamente indispensável nos mais diversos cenários operacionais.

Pode-se definir VANT como:

Um veículo aéreo projetado para operar sem piloto a bordo, que possua uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins meramente recreativos. Nesta definição incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e aeromodelos¹.

Em proposta de Instrução Suplementar exarada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a definição de VANT é englobada pela definição de aeronave, conforme consta no RBAC 01, Emenda 02, atualmente vigente (ANAC, 2012). Informa ainda que, conforme o Art. 25 da Lei 7.565, de 19 de setembro de 1986 (Código Brasileiro de Aeronáutica), os componentes do SisVANT podem ser considerados infraestrutura aeronáutica, e compete à ANAC sua regularização, a emissão do CAVE, com objetivos de pesquisa, treinamento de pessoal (não autorizando a operação da aeronave para fins lucrativos) e fiscalização².

¹ BRASIL. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Subdepartamento de operações. **AIC-N21 Veículos aéreos não tripulados**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=3499>. Acesso em: 26 jul. 2014.

² BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar IS n° 21 - 002**. Proposta de instrução suplementar, intitulada "emissão de certificado de autorização de voo experimental para sistemas de veículo aéreo não tripulado". São José dos Campos: Superintendência de Aeronavegabilidade, 2012. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/IS/2012/IS%2021-002A.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2014.

Segundo especialistas da Organização das Nações Unidas (ONU), o aumento exponencial do uso da tecnologia dos VANTS representa um verdadeiro desafio para o direito internacional atual. Para especialistas da Defesa Civil do Rio de Janeiro, a aeronave não tripulada irá revolucionar o trabalho de prevenção a desastres; já os especialistas da Polícia Militar do Estado da Bahia contribuem dizendo que o VANT é uma excelente ferramenta, tanto para o patrulhamento de rodovias e acompanhamento de queimadas, quanto para monitorar ações de traficantes.

Um especialista da Organização Brasileira para o Desenvolvimento da Certificação Aeronáutica (DCABR) opina que o emprego do VANT no Brasil é muito promissor, principalmente para fotos aéreas, planejamento urbano, controle de tráfego de rodovias, identificação de pontos críticos em estradas ou em grandes obras, controle de plantações ou na pecuária. A ANAC se posiciona em relação ao assunto, alegando que são necessárias adequações na regulamentação desse tipo de aeronave. Já o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) contribui alegando que, no mundo todo, o maior desafio é tentar integrar os VANTS às aeronaves pilotadas. Para a Associação Internacional de Veículos não Tripulados (AUVSI), o governo brasileiro está sendo o mais ativo na América Latina na abertura de seus céus para as aeronaves remotamente controladas³.

Devido ao risco de morte em serviço inerente à atividade policial militar, à diversidade de atividades desenvolvidas cotidianamente e à facilitação que a implementação de um VANT proporcionaria no desenvolvimento de algumas dessas atividades, além dos baixos custo e risco, se comparados aos de uma aeronave convencional, é que se busca avaliar as possibilidades de implantação dessa tecnologia associada ao Sensoriamento Remoto (SR) e ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), enfatizando sua versatilidade e aplicabilidade.

Em função das atividades desenvolvidas na Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro, são trazidos à discussão exemplos de aplicação de VANTS em Corporações Militares, como o estudo de caso de aplicação dessa tecnologia pela Polícia Militar de São Paulo. Também muito próxima a essa realidade, aborda-se a utilização do VANT pela Marinha Mexicana, a qual também é desenvolvedora de sua tecnologia, e um estudo de caso e análise do modelo de VANT, piloto automático e finalidades da utilização, realizado pelos Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil, que podem ser considerados a vanguarda na utilização dessa tecnologia com fins militares no Brasil.

Para aplicação da tecnologia VANT, são abordados aspectos legais, dando-se ênfase aos órgãos ANAC, Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), que regulam a atividade, e aspectos de segurança, uma vez que o VANT acaba sendo um intruso no espaço aéreo ocupado pelas aeronaves convencionais, podendo ocasionar riscos de colisão. A abordagem da aprendizagem da pilotagem do modelo proposto passa por um processo de experimentação que se inicia com a utilização de um *software* simulador, passando por

³ POLÉMICOS e revolucionários, mais de 200 "drones" voam no país sem regra. **G1Brasil, Globo**, 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/03/polemicos-e-revolucionarios-mais-de-200-drones-voam-no-brasil-sem-regra.html>. Acesso em: 26 jul. 2014.

aulas de campo em modelos semelhantes ao VANT e também em modelo a combustão. Também são testados o *software* e o *hardware* utilizados no piloto automático do VANT, sendo respeitados todos os parâmetros regulados pela legislação de aerodelismo; contudo, fatores como alcance da telemetria e geração de produtos como imagens não são feitos, por não haver a permissão que se daria por meio do CAVE emitido pela ANAC.

Avalia-se a utilização de um tipo específico de VANT, associado ao aerolevante e SIG, para desenvolvimento de atividades de monitoramento ambiental pela Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro e para desenvolvimento de habilidades para o uso dessas geotecnologias.

Na metodologia, utilizam-se informantes chave, junto aos quais são abordados aspectos relevantes para a pesquisa, a exemplo da viabilidade de implementação do uso de geotecnologias na atividade policial militar, nível de confiabilidade dos modelos de VANTS, possibilidades de utilização de sensores embarcados, além de produtos que podem ser gerados com o uso de VANT, SR, SIG. Foi adotada pesquisa exploratória de gabinete e entrevistas qualificadas com informantes chave. Segundo Vieira, Berkes e Seixas (2005), esses informantes são as pessoas mais capazes de informar sobre um tópico especial ou fornecer pontos de vista particulares, dado seu conhecimento e experiência sobre o assunto abordado. Foram escolhidos como informantes chave gestores das seguintes corporações: Comando da Polícia Militar Ambiental do Estado de São Paulo, Batalhão de Controle Aerotáctico e Defesa Antiaérea do Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil e o Comando de Policiamento Ambiental da Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro.

O manuseio e a pilotagem de VANTS requerem aprendizagem de processos de aerodelismo, necessários para a decolagem, recuperação e pouso dos VANTS, além de controle manual em caso de perda do *link* do piloto automático, sendo necessário treinamento em um simulador, a exemplo do *Real Flight Generation 4*, com um modelo Nexstar.

O treinamento em campo assistido por um aerodelista credenciado é fundamental para o desenvolvimento das habilidades de pilotagem. O profissional pode assumir o controle do aerodelo a qualquer momento e fazer as correções necessárias durante o voo.

A interface do VANT com o programa *Mission Planner* passa por um processo de calibração do VANT, elaboração da missão (com a delimitação dos pontos a serem sobrevoados) e carregamento dos dados no VANT através da conexão feita pela telemetria do equipamento, sendo que a calibração é feita antes do primeiro voo e depois apenas é conferido o apontamento do VANT nos demais voos.

O processo de calibração é feito com o VANT conectado ao *Mission Planner* e com conexão à internet. No programa, primeiro se utiliza a opção *Auto Dec* e, em seguida, *Live Calibration*, sendo necessário girar o VANT em torno dos três eixos nos sentidos horário e anti-horário; durante sessenta segundos, o equipamento coletará dados para atualizar as configurações de *offset*, sendo desmarcada a opção *Auto Dec* após o procedimento e armazenada a informação referente à coordenada geográfica utilizada para a calibração.

⁴ BONS voos: Configurações da asa bons voos version 1.2.982. Rio de Janeiro: [S.n.], 2014. 1 CD ROM.

A configuração dos modos de voo é feita por meio da chave IDL de três posições do controle (lado direito), sendo voo manual, estabilizado, automático e RTL (*Return To Landing*), combinada com uma segunda chave. Cada posição da chave irá enviar um valor PWM, que será interpretado pelo programa e iniciará um modo de voo conforme programação estabelecida:

- IDL 0 - *Mode 1* – Manual – usado quando o piloto precisa ter o controle da plataforma VANT, para procedimento de decolagem e aterrissagem ou por deficiência nos ajustes dos sensores que gerem problemas no voo.
- IDL 1 - *Mode 2* – *Stabilize* – voo estabilizado, mas que permite o controle da asa. Mais utilizado por pilotos inexperientes ou para pouso em locais difíceis ou sob fortes ventos.
- IDL 2 - *Mode 3* – *Auto* – voo autônomo que será executado conforme o plano de voo transferido para o VANT, não acionando o motor se o VANT estiver parado.
- IDL 3 - *Mode 4* – *RTL* – *Return to Landing* – comanda o retorno ao ponto de decolagem (*home*). Pode ser configurado pela chave do rádio ou função *FAIL SAFE* do receptor. No caso de perda do sinal de rádio, o comando de mudança de modo é enviado, fazendo o VANT retornar ao ponto de lançamento e executar o voo *LOITTER* (em círculos)⁴.

O modelo do VANT utilizado foi:

- **Asa FPV 150 bons voos:** Feita de isopor de alta densidade, isopor P3, (Figura 1) a asa possui envergadura de 1,46m, peso 1,4kg (incluindo a carga paga e as três baterias de LIPO de 2.2 mAh); a câmera com aproximadamente 300g é o sensor embarcado, ou carga paga (*payload*), que possibilitará a captura das imagens para o levantamento aéreo e posterior obtenção do mosaico. Separadamente, também é embarcada uma minicâmera de vídeo com gravação em cartão de memória. A altitude pode ser superior aos 1000m, mas, por respeito à legislação, será operada dentro do campo de controle visual, com um teto de 50m e uma “caixa de voo” estabelecida, numa pista de aerodelismo credenciada. A autonomia total é de uma hora e trinta minutos com as três baterias carregadas, sendo utilizada como autonomia operacional apenas uma hora, com margem de segurança de trinta minutos. A área média de levantamento fotogramétrico é de 500 hectares, com velocidade de voo de cruzeiro de 60km/h e um alcance linear de 60km. O levantamento aerofotogramétrico e a filmagem não são feitos simultaneamente por questões de segurança⁴.

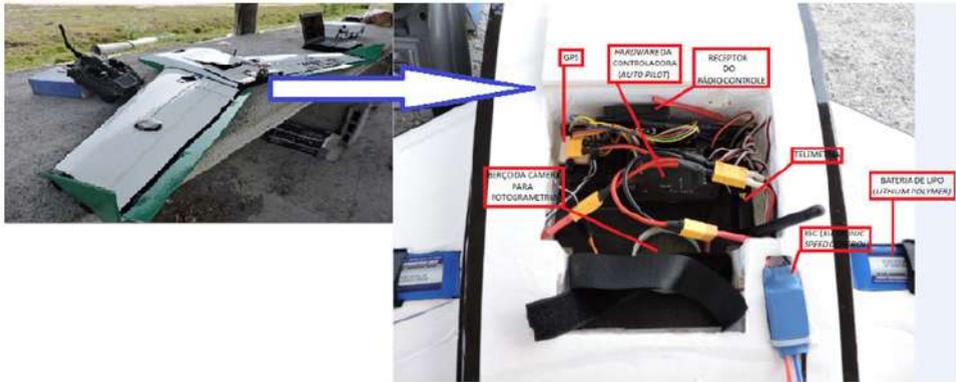


Figura 1 - Foto ilustrativa do VANT e componentes

Fonte: Do autor (2014)

- **Rádio controle** – rádio da marca turnigy gx com nove canais, display digital, módulo CT8J- 9X e receptor CR8F-9X para controle do VANT (TURNIGY, 2010).

- **Computador** - *notebook* da marca lenovo com processador Intel Core I3, quatro *gigabytes* de memória RAM, quinhentos *gigabytes* de memória ROM.

- **Mission Planner** – aplicativo *open-source*, ou seja, um aplicativo gratuito desenvolvido por Michael Osborne como projeto de piloto automático (APM – *Auto Pilot Multiplatform*), uma estação de controle de solo compatível com o *Windows*, podendo ser usado como utilitário de configuração ou suplemento de controle dinâmico para veículo automático (considerando que o piloto pode assumir o controle da aeronave a qualquer momento se assim julgar necessário). Dentre as possibilidades do aplicativo, estão planejar, salvar e carregar missões automáticas no piloto automático utilizando o sistema ponto e clique para a entrada dos *way points* no *Google* ou em outra base cartográfica. Com a utilização de um *hardware* de telemetria adequado, é possível: monitorar o status do veículo durante a operação, analisar *logs* de telemetria e operar o veículo em visão de primeira pessoa (*First Person View - FPV*). O ícone “ajuda” na parte superior da interface do aplicativo abre uma tela com informações gerais, sendo possível também obter auxílio da comunidade de usuários, uma vez que toda documentação é criada por utilizadores. Com a tabela de conteúdos, é possível dirigir a pergunta para temas determinados, sendo também desenvolvidos fóruns pela comunidade de usuários. Com o botão *Check for Updates*, é possível verificar se há atualizações disponíveis, sendo sempre aconselhada a execução da versão mais atual. Por se tratar de um software livre, pode ser redistribuído ou modificado sob os termos da *General Public License (GNU)*, publicada pela Free Software Foundation. Quanto à segurança, é importante que sejam observados alguns aspectos: utilizar dentro de todas as leis e regulamentos locais; nunca operar o veículo ou *software* de forma a pôr em risco pessoas ou bens; ter em mente que falhas de *software* podem acontecer; nunca utilizar o *software* ou *hardware* para veículos tripulados⁵.

⁵ OSBORNE, M. **Mission Planner Overview**. [S.l.]: 3D Robotics, [2014?]. Disponível em: <http://planner.ardupilot.com/wiki/mission-planner-overview/>. Acesso em: 8 dez. 2014.

O uso de VANTs para fins militares

A utilização dos VANTs no monitoramento e fiscalização ambiental vem crescendo no mundo inteiro. No Brasil, a Secretaria de Segurança Pública do Estado do Pará, desde 2010, vem utilizando VANTs de asas rotativas com motor a combustão, tendo partes de sua fuselagem feitas com fibra de carbono. Possuindo uma câmera *full HD* em cores e uma viatura técnica com toda a infraestrutura que uma missão não tripulada requer, esses VANTs vêm sendo operados principalmente na chamada Operação Veraneio. A Brigada Militar do Rio Grande do Sul começou a testar, em 2010, VANTs multirrotores durante partidas de futebol, como ocorreu na Copa Libertadores da América daquele ano e no campeonato local. Durante a realização da Vigésima Festa Nacional da Cebola, em 2011, no município de Ituporanga, a Polícia Militar de Santa Catarina (PMSC), em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), testou com sucesso modelos de VANTs de asas fixas, do tipo “asa voadora” e de design convencional⁶.

A polícia militar do Estado de São Paulo

Em 2010, foi desenvolvido um projeto experimental para emprego de VANTs como apoio à fiscalização ambiental. Dentre os objetivos do emprego experimental dessa tecnologia, foram destacados: localização de destruição de península existente no rio da União Mogi-Guaçu; localização de drenos em várzea existente paralela ao mesmo rio, que resultou em multas e penalizações para os donos de uma fazenda localizada junto ao citado rio (?); localização de lagoa marginal utilizada para pesca predatória.

Em 2011, foi realizado o primeiro Curso de Operadores de VANTs da Polícia Militar Ambiental, também o primeiro da América Latina a fazer uso desse tipo de tecnologia para esse fim (?), realizado em parceria com a Universidade de São Paulo (USP) e com a empresa AGX Tecnologia, que disponibilizou dois VANTs, Tiriba 2 e um VANT Arara (RECANTA, 2013). O curso formou quinze policiais integrantes da Polícia Militar Ambiental de diferentes localidades do estado, envolvendo além da Polícia Militar Ambiental de São Paulo, DECEA, ANAC, Universidade de São Paulo (USP), Polícia Federal, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em parceria com pesquisadores de áreas multidisciplinares (MUNARETO, 2014) (?). A Figura 2 ilustra, à esquerda, policiais militares de São Paulo em Curso de Operadores de VANT e, à direita, VANT Tiriba da AGX Tecnologia

No processo de fiscalização, foram criados e adaptados algoritmos já existentes para reconhecimento de áreas Protegidas baseado em informações já existentes em bancos de dados, a exemplo do georreferenciamento de propriedades pelo INCRA e

⁶ BASTOS, A. **VANTs em segurança pública e defesa civil**. Bahia: AOPMBA, 2 set. 2013. Disponível em: <http://www.aopmba.com.br/2012/?menu=artigos&id=54>. Acesso em: 5 jan. 2015.

⁷ XAVIER, S. **Laboratório do ICMC pesquisa uso de VANTs para monitoramento ambiental**. São Paulo: USP, 19 nov. 2013. Disponível em: <http://www5.usp.br/36624/laboratorio-do-icmc-pesquisa-uso-de-vants-para-monitoramento-ambiental/>. Acesso em: 5 jan. 2015.

de áreas de reserva legal já averbadas em cartório de imóveis; também foi feita a criação e adaptação de algoritmos para cálculo de propriedade com adequação ao conceito de Módulos Rurais proposto pelo novo Código Florestal para tratar do distanciamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) (OLIVEIRA, 2011).



Figura 2 - Curso de Operadores de VANT da Polícia Militar Ambiental de São Paulo

Fonte^{9,9}

Dentre as propostas efetivas, é possível destacar a criação de algoritmo de identificação de eventos como desastres, desmatamentos e queimadas, além da criação de um banco de dados único que possa ser acessado e alimentado pelas instituições parceiras de forma *on-line*, sendo priorizada uma formatação padrão, levando em conta a utilização de *softwares* preferencialmente livres.¹⁰

413

Marinha mexicana

O Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Marinha e a SecretariadaMarinha do México (SEMAR) compõem equipes, em 2010, do projeto para o desenvolvimento do *design*, tecnologia, piloto automático, biônica e os algoritmos, conjunto mecânico, construção da fuselagem, pintura e revestimento, planos e dimensões. Todos os equipamentos do avião e a torre de recepção cabem em uma maleta. Da esquerda para a direita, a Figura 3 mostra a maleta que contém computador e antena de telemetria, a torre de transmissão e, por fim, piloto com radiocontrole e VANT.

O objetivo do projeto foi reforçar as operações de inteligência, aumentar o desempenho no combate ao crime organizado, bem como auxiliar a população civil durante desastres e patrulhar o seu extenso litoral de 11.000 quilômetros.^{10,11}

⁸ *Ibid.*

⁹ RECANTA. **Monitoramento nas áreas rurais de São Paulo será feito por três veículos aéreos não tripulados (VANTS).** [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: http://www.recanta.org.br/vants_deteccao_crimes_ambientais_sp.html. Acesso em: 5 jan. 2015.

¹⁰ OLIVEIRA, L. J. **Realidade e necessidades da polícia militar ambiental VANTS.** São Paulo: PMESP, [2011?]. Disponível em: http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=workshopvants:workshopvants:ten_leandro_apresentacao_inpe.pdf. Acesso em: 5 jan. 2015.

¹¹ DEFESANET. **Treinamento de fuzileiros navais simula condições reais de combate.** 6 set. 2011. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/naval/noticia/2666/Treinamento-de-fuzileiros-navais-simula-operacoes-reais-de-combate/>. Acesso em: 14 jun. 2015.

O principal objetivo desses VANTS táticos é o de apoiar as operações da Marinha Mexicana. O funcionamento com piloto automático lhes dá autonomia dentro de uma missão planejada.^{10,11}



Figura 3 - Sistema VANT da Marinha Mexicana

Fonte¹¹: Dialogo (2012). Organização: o autor (2015).

Os miniVANTS, ilustrados na **Figura 4**, menores do que o VANT convencional e não equipados com trem de pouso, são considerados mais táticos, porque podem operar em áreas menores e não necessitam de uma pista de pouso para aterrissar. Enviam imagens de vídeo padrão para estações terrestres em tempo real, tiram fotos de alta resolução e criam mosaicos de fotos com 44 imagens de uma área específica, sendo considerados uma ferramenta de valor inestimável para o reconhecimento de áreas afetadas por desastres naturais, o que gera economia de recursos para a Marinha, pois o uso de aeronaves tripuladas pode ser reservado para as operações de resgate em locais específicos, evitando voos de reconhecimento tripulados com um custo estimado de 800 a 900 dólares por voo.^{12,13}

414



Figura 4 - MiniVANT em procedimento de decolagem

Fonte: Dialogo (2012)¹¹

¹² INOVAÇÃO que voa alto. **Dialogo Revista Militar Digital**, 1 out. 2012. Disponível em: http://dialogo-americas.com/pt/articles/rmisa/features/security_technology/2012/10/01/feature-pr-20. Acesso em: 30 dez. 2014.

¹³ DEFESANET. **Treinamento de fuzileiros navais simula condições reais de combate**. 6 set. 2011. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/naval/noticia/2666/Treinamento-de-fuzileiros-navais-simula-operacoes-reais-de-combate/>. Acesso em: 14 jun. 2015.

O Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil

Na Marinha do Brasil, foi ativado em 2003 o Batalhão de Controle Aerotático e Defesa Antiaérea, subordinado ao Comando da Divisão Anfíbia, passando a ocupar as instalações da extinta Companhia de Comando da Divisão Anfíbia e marcando a última etapa da reestruturação da Força de Fuzileiros da Esquadra. Essa nova Organização Militar do Corpo de Fuzileiros Navais passa a reunir numa só unidade os meios de busca e vigilância do espaço aéreo, tendo por finalidade melhor explorar a terceira dimensão do combate, preenchendo lacunas advindas da não existência de um núcleo de comando permanentemente constituído para o Componente de Combate Aéreo. Essa unidade centralizará o controle do apoio aerotático, exercendo sua coordenação com a defesa antiaérea (**Figura 5**)¹⁴.



Figura 5 - VANT Carcará II utilizado pelo Corpo de Fuzileiros Navais

Fonte: DEFESANET (2011)¹⁵

Legislação e segurança

A utilização de um sistema VANT requer atenção especial às questões de segurança para prevenção de acidentes catastróficos com risco potencial de perda de vidas humanas ou instalações em solo (instalações residenciais, comerciais, fabris e espaços de uso coletivo em geral)¹⁶.

Uma grande preocupação a ser observada pelos operadores de VANTs são as implicações para a tráfego aéreo, valendo ressaltar que, além da possibilidade de derrubar um outro avião em voo, o VANT também está sujeito a queda, seja por falha humana, falha de programação ou falha no sistema. Ilustrados na **Figura 6**, da esquerda para a direita, avião Hércules após colisão com VANT durante voo e VANT incendiado, após queda.

¹⁴ FILHO, J. C. Batalhão de controle aerotático e defesa antiaérea. **Âncoras e fuzis**, ano V, n. 22, 5 nov. 2003. Disponível em: https://www.mar.mil.br/cgcfm/downloads/ancoras_efuzis/22ancfuz.pdf. Acesso em: 9 fev. 2015.

¹⁵ DEFESANET. **Treinamento de fuzileiros navais simula condições reais de combate**, 6 set. 2011. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/naval/noticia/2666/Treinamento-de-fuzileiros-navais-simula-operacoes-reais-de-combate/>. Acesso em: 14 jun. 2015.

¹⁶ TRINDADE JÚNIOR, O. **Fatores de sucesso na operação de sisvants**. São Paulo: ICMC, USP, 2013.

Atualmente, no espaço aéreo brasileiro, já existe um aparato de aeronaves funcionando dentro de uma regulamentação estabelecida com planos de voo. O VANT é considerado um “intruso” nesse contexto, sendo de fundamental importância o conhecimento desse contexto por parte de quem pilota o VANT, principalmente no que se refere aos “corredores visuais” ou de visibilidade e aerovias, além da autorização para fazer uso daquele espaço, evitando o conflito do mesmo ponto de voo com outra aeronave¹⁷.



Figura 6 - Acidentes com VANT

Fonte: Munaretto (2014)

Quando ao marco regulatório para o setor, no Brasil, há uma grande dificuldade dos legisladores na definição da legislação, dada a diversidade de modelos de VANTs atualmente no mercado, não havendo legislações internacionais de consenso. No Brasil, os aeromodelos têm regulamentação já estabelecida, considerando que esse tipo de aeronave não é um VANT, porém não deixa de ser um precursor dos VANTs. A partir de 2012, foi definida a regulamentação experimental para o uso de VANTs. Quanto ao uso específico ou comercial, a ANAC vem desenvolvendo a legislação que visa regulamentar esse tipo de atividade, sendo esperado que, quanto maior o peso ou o risco que a aeronave represente no desenvolvimento de sua atividade, maior o nível de regulamentação, já sendo sinalizado pela ANAC que os VANTs serão classificados em classes, sendo a classe 1 até 25 kg, a classe 2 de 26 a 150 kg e a classe 3 acima de 150 kg, o que gerará também critérios para o piloto que opera a aeronave, desde um aeromodelista, possivelmente no caso da classe 1, até um piloto com as mesmas características dos pilotos de aeronaves tripuladas, possivelmente no caso da classe 3 (¹⁷).

A regulamentação aplicada à aeronáutica civil no Brasil funciona por meio de quatro órgãos regulamentadores: a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), que emite padrões via Anexos ou SARP, abrigadas pelo Código Brasileiro de Aeronáutica e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA); o Ministério da Defesa, que regulamenta empresas de aerolevante; a Organização Internacional de Telecomunicações (OIT), à qual a ANATEL é vinculada, que faz a homologação e emite autorização para todos os equipamentos transmissores no país por meio

¹⁷ MUNARETTO, L. VANT: Sistema, aplicações e legislação. **Minicurso Webinar/Mundogeo**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://global.gotowebinar.com/join/over.tmp?jsessionid=abcf3X61PAp055NDPE28u?webinar=7096727794898350850>. Acesso em: 6 nov. 2014.

de Regulamentações, abrangendo também o sistema de transmissão e telemetria dos VANTs; Organizações Normatizadoras no mundo, que, apesar de não terem ingerência no Brasil, têm suas normas adotadas. A ANAC legisla por meio dos Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil (RBAC), sendo que, no futuro, o RBAC 92 será o que regulamentará os VANTs.

O processo de regulamentação ou certificação do VANT passa pelos estágios de: Tipo, Suplementar de tipo, Produção, Aeronavegabilidade (todos relacionados ao projeto e fabricação do VANT), Empresa Operadora (de responsabilidade da ANAC e Ministério da Defesa, no caso de aerolevanteamento), Pessoas, Oficina de Manutenção, Registro e Matrícula, Transmissores (de responsabilidade da ANATEL), e Espaço Aéreo, de responsabilidade do DECEA, que faz uso do NOTAM, uma autorização especial em que consta o período e o local onde o voo será realizado¹⁸.

A legislação que trata do aeromodelismo, a Portaria DAC n.º 207, está em vigor desde 07 de abril de 1999 e prevê que essa atividade deve se realizar em local distante de áreas densamente povoadas; que não devem ser realizadas operações de acrobacia na presença de público sem que o aeromodelo tenha sido testado e o operador tenha certeza de êxito; que nenhum aeromodelo deve ser operado a mais de 400 pés; e que somente se podem utilizar aeródromos após a autorização do órgão responsável.

Os VANTs experimentais são regulados pela Instrução Suplementar 21-002 da ANAC, que visa orientar sobre a emissão do Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE), com base no RBAC 21 para Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANTs), e pela AIC n.º 21/10, de 23 de setembro de 2010 (ANAC, 2010). Emitida pelo DECEA, a Circular de Informações Aeronáuticas visa fornecer as informações necessárias para o uso do espaço aéreo brasileiro pelos VANTs, estando definidas no item quatro todas as características que devem necessariamente ser informadas para obtenção da permissão de utilização do espaço aéreo (BRASIL, 2010). Os transmissores do VANT, que são regulados pela ANATEL, passam por um processo de homologação que segue o seguinte critério: o fabricante ou representante dos transmissores mandará a documentação referente ao transmissor para a ANATEL; paralelamente, as especificações técnicas serão enviadas para um Organismo de Certificação, designado pela ANATEL, e o equipamento será enviado para um laboratório, onde são feitos os testes; estando tudo certo, é enviado um Relatório de Ensaio do laboratório para o Organismo de Certificação, designado pela ANATEL, que emite um Certificado de Conformidade para a ANATEL, que, por sua vez, emite o Certificado de Homologação dos transmissores, ilustrado na **Figura 7**, sendo que a licença para operação dos transmissores é feita por outro processo, também regulado pela ANATEL¹⁸.

¹⁸ MUNARETTO, L. VANT: Sistema, aplicações e legislação. **Minicurso Webinar/Mundogeo**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://global.gotowebinar.com/join/over.html?sessionId=abcf3X61PAp055NDPE28u?webinar=7096727794898350850>. Acesso em: 6 nov. 2014.

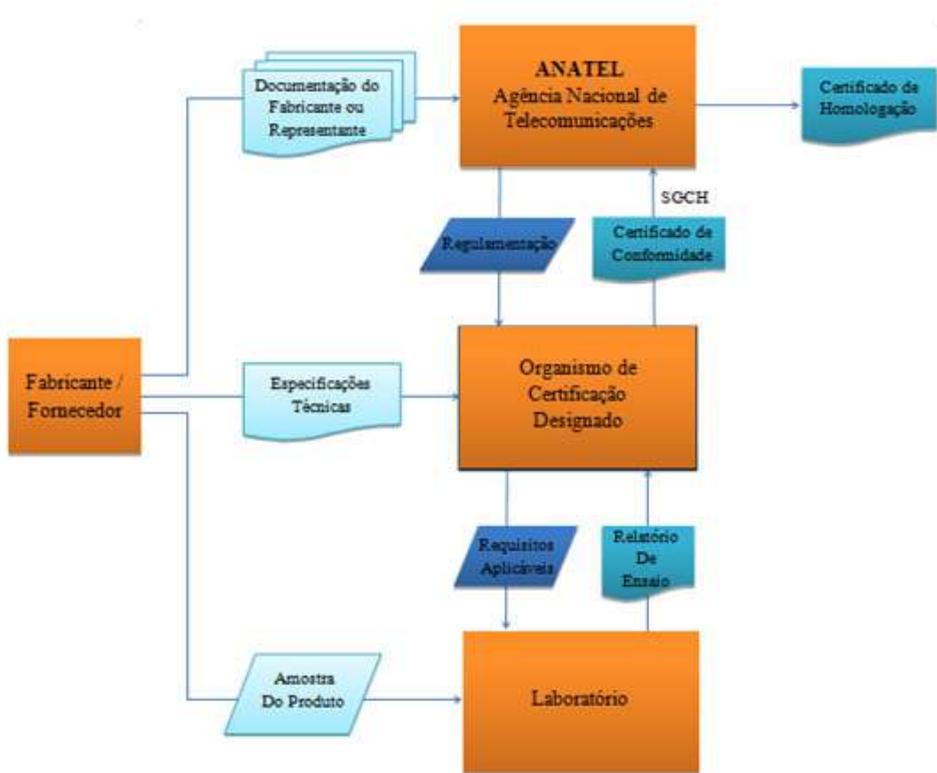


Figura 7 - Fluxograma do Modelo de Processo de Homologação adotado pela ANATEL

Fonte: Munaretto (2014). Adaptado pelo autor (2015)

A operação de qualquer tipo de VANT poderá ocorrer em espaço aéreo segregado, definido por NOTAM, ficando proibida a operação em área compartilhada com aeronaves tripuladas. Dessa forma, visa-se à redução do risco para pessoas e propriedades no ar ou no solo (ÉBOLI; GRANJEIA, 2014).

Aerolevantamento com o uso de plataforma VANT

Os VANTS já vêm sendo utilizados na aquisição de imagens por aerolevantamento devido ao seu baixo custo operacional, se comparado ao de uma aeronave convencional, a exemplo da figura seguinte.

O Instituto Militar de Engenharia realizou um estudo intitulado Detecção do Contorno de Alvos em Imagens Adquiridas por VANTS. Permitindo a identificação de imagens coloridas obtidas por meio de câmera de vídeo de baixo custo acoplada em plataforma não estabilizada embarcada em plataforma VANT, que permite navegar a distância e identificar alvos na superfície do terreno. Tendo como objetivo a identificação de alvos na superfície do terreno, as imagens de vídeo são convertidas através de pré-processamento

do vídeo e das cenas selecionadas utilizando a transformação por componente principal, filtragem e manipulação de histograma. Logo após, é feita a detecção de bordas utilizando o método de Canny com delimitação supervisionada do contorno (geração de imagem binária), perseguição da borda por meio da cadeia de Freeman, transformação para o espaço da função de ângulo tangente e detecção do objeto, sendo que os resultados apresentados indicam a exequibilidade da modelagem proposta e a viabilidade da utilização do procedimento para a detecção de alvos em imagens de baixa qualidade¹⁹.

A aerofotogrametria tem sido usada por engenheiros rodoviários, inicialmente apenas com finalidade de estudo de alternativas aos itinerários, em seguida passando a ser usada em todas as fases dos projetos de estradas. Nas fases preliminares, fornece informações para todos os projetos complementares, além de permitir os estudos de variantes, sendo questionada a comparação da precisão da altimetria realizada pela fotogrametria e topografia, devido às restrições apresentadas pela primeira. Fato que pode ser corrigido utilizando-se uma escala grande de fotografia (1:3.000) com pré-sinalização dos pontos de apoio à fototriangulação e restituição de equipamentos de alta qualidade²⁰, como ilustrado na **Figura 8**.

Marcato Junior *et al.* (2009) realizaram um trabalho com objetivo de atualizar a base cartográfica da FCT/Unesp utilizando imagens coletadas com câmera digital não métrica *Hasselblad H1D*, no ano de 2007, e produzir uma ortofoto da área de estudo, com a base cartográfica gerada a partir de imagens obtidas com câmera analógica métrica *Wild RC 10*, em 2003.



Figura 8 - Imagem gerada a partir de fotografias obtidas por VANT

Fonte: Bons Voos (2014)

¹⁹ FIGUEIRA, N. M.; VOLOTÃO, C. F. S. Detecção do contorno de alvos em imagens adquiridas por vant. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 65/4, p. 643-650, 2013.

²⁰ SILVA, D. C.; COSTA, G. C. Aerofotogrametria em projetos de estradas. In: Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologias da Informação, 3., 2010, Pernambuco. **Anais [...]**, p. 001-013, 2010.

Sistemas de Informação Geográfica e mapas colaborativos: ferramentas de apoio no planejamento e gestão para fiscalização ambiental

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são aplicados para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial; oferecem ao administrador todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto, inter-relacionadas com base na localização geográfica, fazendo-se necessário que a geometria e os atributos dos dados em um SIG estejam georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica²¹.

A terceira geração de SIGs é caracterizada pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, via WWW (*World Wide Web*). Esses sistemas deverão seguir os requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos, podendo ainda serem vistos como o desenvolvimento de sistemas orientados para troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade (*society-oriented GIS*). Essas diferentes tecnologias podem trabalhar de maneira complementar: os GIS *desktop* podem utilizar gerenciadores de dados geográficos, que podem estar ligados a servidores *web*, e os usuários desses dados podem ter interfaces personalizadas, construídas a partir de componentes GIS²².

A cartografia do mapeamento colaborativo na internet permite uma personalização dos conteúdos em termos de formatos visuais ou inserção de elementos informacionais (RIBEIRO; LIMA, 2011). Um bom exemplo é o aplicativo *waze*, cuja finalidade é o compartilhamento de informações sobre o trânsito em tempo real, permitindo que os usuários interajam atualizando o aplicativo com informações relevantes, por meio do próprio *waze* ou do *facebook*. Tratam o mapa colaborativo como mídia locativa, no sentido de se agregar conteúdo digital a uma localidade por meio da troca de dados dinâmicos de dispositivos móveis e computadores²³.

Na gestão de crises, o mapa colaborativo *web* pode ser desenvolvido dispondo métodos de interface multimodal para dispositivos móveis, até mesmo como portal de apoio logístico para ajuda humanitária, permitindo coordenação dentro e entre equipes e visão do progresso do trabalho realizado por meio de informações relevantes para realização das tarefas ao alcance da mão²⁴.

²¹ CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

²² *Ibid.*

²³ PARASKEVOPOLOU, O.; CHARITOS, D.; RIZOPOULOS, C. Prácticas artísticas basadas en La localización que desafian La noción tradicional de cartografía. **Artnodes revista de arte, ciência y tecnología**. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya, 2008.

²⁴ MACEARCHREN, A. M. et al. Geocollaborative crisis management: designing technologies to meet real-world needs. In: ANNUAL NATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL GOVERNMENT RESEARCH, 7., 2006, San Diego, CA. **Proceedings** [...].

A fiscalização ambiental na PMERJ/CPAM: breve histórico

No estado do Rio de Janeiro, foi criado por meio do Decreto Estadual n° 9520, de 15 de dezembro de 1986, o 23° Batalhão de Polícia Militar, que passa a denominar-se, pelo Decreto Estadual n° 10376, de 25 de setembro de 1987, Batalhão de Polícia Florestal e de Meio Ambiente (BPFMA), tendo sua área de atuação ampliada para a preservação do Meio Ambiente em todo o Estado. No ano de 2012, por meio do decreto n° 43.641, o BPFMA passa a ser denominado Comando de Policiamento Ambiental (CPAm), funcionando como Comando Intermediário entre o Comando-Geral da corporação e as Unidades de Policiamento Ambiental. Está subdividido em sete Unidades de Policiamento Ambiental (UPAm), com sede nos Parques Estaduais de Três Picos, Pedra Branca, Tiririca, Ilha Grande, Desengano, ilustrado na Figura 9, uma UPAm fluvial e uma UPAm móvel²⁵.

A UPAm do Desengano trabalha diariamente com oito policiais no patrulhamento ostensivo, cobrindo 28 municípios, conforme mapa seguinte. O patrulhamento é feito mediante atendimento a denúncias telefônicas e programação do comando. A atividade policial militar baseia-se no Artigo 144, § 6º, previsto na Constituição Federal Brasileira; no caso ambiental, o amparo legal é o Código Penal Brasileiro (Lei n.º 7.209 de 11.7.1984), Código de Processo Penal Brasileiro (Decreto-Lei n.º 3.689 de 3.10.1941), Lei de Crimes Ambientais (Lei n.º 9.605 de 12.2.1998), Lei da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei n.º 6.938 de 31.8.1981), Lei de criação do SNUC (Lei 9.985 de 18.17.2000), Lei de Recursos Hídricos (Lei n.º 9.433 de 8.1.1997), entre outras.

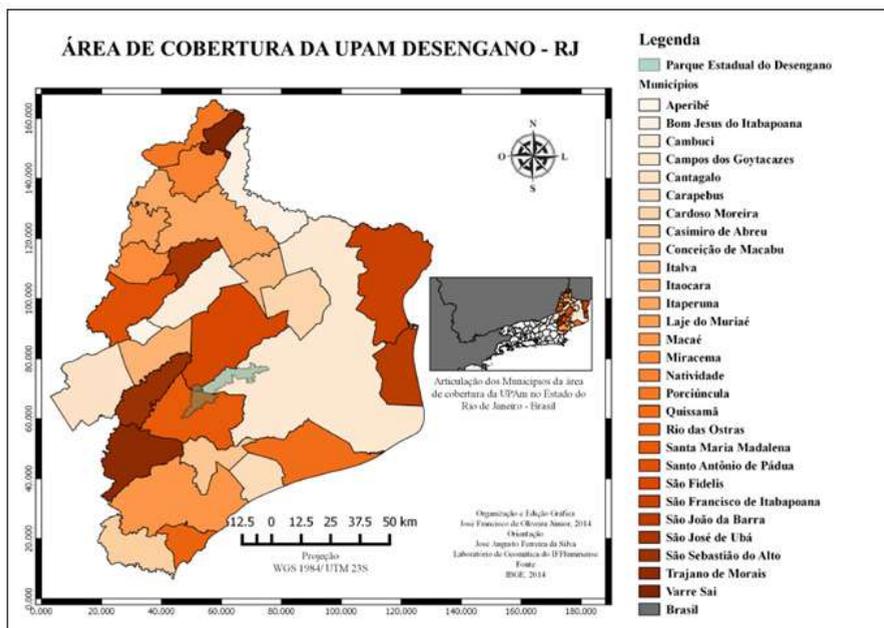


Figura 9 - Unidades de Policiamento Ambiental (UPAm)

Fonte: Autores (2015)

²⁵ COMANDO de Policiamento Ambiental. CPAm. **Síntese histórica**. Disponível em: http://www.cpampmerj.org/sintese_historica.html. Acesso em: 18 jun. 2013.

Os Parques Estaduais são áreas geográficas extensas e delimitadas, terrestres ou marinhas, dotadas de atributos naturais excepcionais, objeto de preservação permanente (SNUC, 2000). Destinam-se a fins científicos, culturais, educativos, espirituais, recreativos, constituindo-se em bens de uso comum do povo, auxiliando no desenvolvimento regional, cabendo às autoridades preservá-los e mantê-los intocáveis (BRASIL, 1988), preservando os ecossistemas naturais contra quaisquer alterações que os desvirtuem (PED, 2003).

Criado em 1970, com uma área de 224 km², o Parque Estadual do Desengano (PED) é o segundo de maior extensão do Estado e um dos últimos remanescentes contínuos de Mata Atlântica, e ocupa parte dos municípios de Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes. O Administrador, além de desenvolver atividades de gerenciamento, de educação ambiental e acompanhamento de eventuais pesquisas, tem a função de fiscalização e de vigilância dos limites da UC e da zona de entorno que se estende por 10 km. As atividades provenientes da visitação pública, caçadores, coletores, extrativistas, cientistas e até mesmo dos responsáveis pela manutenção e fiscalização do Parque são consideradas capazes de impactar seus recursos, sendo as áreas de maior risco localizadas principalmente na parte junto às vertentes (PED, 2003).

Cabe à fiscalização do Parque auxiliar no combate a incêndios e no controle da caça, e coibir desbastes na vegetação, comercialização e transporte de produtos da fauna e flora, trânsito de madeira, lenha, carvão, saibro, areia e outros produtos extrativos, transporte ou condução de armas e apetrechos de caça. Cabe à administração proceder ao entrosamento com o Batalhão da Polícia Militar mais próximo (PED, 2003).

Ações e proposições para o uso de geotecnologias na fiscalização ambiental na PMERJ/CPAm

A necessidade de registro de imagem de situações que pudessem se revelar infrações, administrativas ou penais, contra a ordem e segurança ambiental foi o principal fator que levou à utilização dos VANTs pela Polícia Militar Ambiental de São Paulo. Como o projeto VANT está em fase inicial, e ainda experimental, espera-se que o seu emprego traga a possibilidade de análise de situações críticas, como, por exemplo, desmatamentos de reservas florestais, extração mineral, fiscalização e monitoramento de Unidades de Conservação, otimizando o emprego de efetivo e recobrando de forma eficaz o território fiscalizado, uma vez que a tecnologia propicia 100% de recobrimento real.

Atualmente, a operação é realizada seguindo norma da ANAC, do DECEA e da ANATEL. O voo do VANT é realizado em espaço aéreo segredado e por meio de NOTAM. Por isso, foi escolhido o ambiente rural para seu emprego. A aceitação da tropa foi boa. Trouxe expectativas positivas, e a inovação tecnológica foi bem recebida; atualmente, outros Comandos estudam seu emprego em serviços urbanos de inteligência, controle de “distúrbios” civis e policiamento de locais de difícil acesso. O curso de operação do VANT

foi ministrado pelo fabricante em parceria com a universidade desenvolvedora. É um dos principais gargalos do projeto, uma vez que o curso demanda tempo considerável e habilidades próprias do indivíduo escolhido para operar o equipamento, principalmente baixa ansiedade e bons reflexos e coordenação motora. Quanto aos índices e indicadores, ainda não foram desenvolvidos. Pretende-se, num primeiro momento, direcionar seu emprego para a fiscalização de reservas legais averbadas e unidades de conservação, cujos indicadores devem ser tomados no tocante às constatações de não conformidades em comparação com as declarações e matrículas (Informante chave).

O planejamento do voo é realizado em conjunto com a SMA/SP, levantando-se as principais áreas de interesse do Estado. Os principais objetivos são: identificação de não conformidades; formação de banco histórico de imagens para comparações; planejamento de desenvolvimento ambiental e de obras públicas; e estímulo ao licenciamento das atividades. O VANT empregado foi configurado levando-se em conta o mercado de fabricantes, bem como a utilização por outras instituições. Dessa forma, atualmente, sua autonomia alcança 20 minutos de bateria, altura de operação entre 90 metros e 450 metros em relação ao solo, carga embargada até 2kg, peso total de decolagem até 10kg, decolagem por arremesso pelo operador, pouso por rolagem em pista, alcance até 10km de raio (visando à segurança de frequência), sistema de segurança redundante. Busca-se o pouso vertical, uma vez que esse momento é crítico para a operação do VANT, gerando inúmeros danos. O sensor em operação atualmente é uma máquina digital superior a 15 megapixels, mas se busca a implantação de máquina de melhor resolução, por volta de 36 megapixels. O sensor visa à obtenção de imagens fotográficas que, por processamento, formam um mosaico que pode ser ortorretificado. Também pode ser instalada câmera digital para filmagem e transmissão por TV, mas ainda não foi implantada tal solução, que é interessante para o monitoramento de áreas de interesse em segurança pública e em segurança ambiental. As estações de controle possuem capacidade para o processamento das imagens geradas, bem como para armazenamento. No caso das fotografias, o armazenamento ocorre no próprio VANT, e elas são posteriormente transferidas para a estação de comando, ao se encerrar a missão. (Informante chave).

A utilização de sistema de informação geográfica é feita na edição da missão do VANT e para o processamento das imagens, após realizada a missão. A finalidade é direcionar o policiamento para as áreas críticas, formar banco de imagens georreferenciadas e analisar teatros de operação. O planejamento minucioso da missão, o treinamento constante dos operadores, a manutenção constante e, ainda, a escolha detalhada dos locais de pouso e de decolagem têm por objetivo minimizar ou, até mesmo, evitar danos e perda do equipamento. A operação ocorre em alcance visual, por exigência da ANAC, o que eleva a segurança e controle sobre o vetor. (Informante chave).

O Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil tem como principal motivo para a utilização dos VANTS o levantamento de dados estratégicos, com melhorias observadas principalmente na segurança operacional (meios e pessoal). A aceitação na corporação foi positiva, melhorando consideravelmente o andamento das operações e trazendo realismo para os diversos tipos de adestramento. O treinamento

foi realizado pela empresa fornecedora do equipamento e voltado para as necessidades dos militares, sanando e melhorando algumas variáveis de interesse da Força. Os SIGs são utilizados com a finalidade de navegação e levantamento de dados. Para evitar a perda do VANT, a empresa responsável pelo equipamento forneceu dados de segurança como: altitude mínima, distância máxima segura do *link* de dados, do *link* de vídeo, dos mais diferentes *waypoints*, voltagem mínima de bateria, limite de velocidade de vento, precipitação máxima, *checklist* antes do lançamento, manutenção periódica e vida útil de cada material (Informante Chave).

Na realização de voo, feito com o equipamento proposto no Corpo de Fuzileiros Navais, foram avaliados pelos militares dessa força todos os equipamentos relacionados ao SisVANT. O Informante chave B afirma que as características aerodinâmicas da plataforma VANT utilizada são aceitáveis, mas que existem outros modelos que poderiam ser utilizados e ofereceriam menos arrasto no voo. O *hardware* utilizado foi considerado robusto, confiável e com bom desempenho, sendo compatível com vários recursos a serem instalados (OSD, GPS, Tubo de Pitot, Temperatura, amperagem). Um ponto fraco observado foi a pouca memória para processar todos os dados, além da bússola muito grande e pesada que ocasiona arrasto e desequilíbrio. O *software* utilizado é bastante confiável, com uma infinidade de recursos e possibilidades para operar outros meios (Multirrotores, avião, asas tipo zagi, carros de controle remoto e meio náutico). O controle remoto *Turnigy 9X* tem como pontos fortes: baixo custo, *firmware* atualizável, boa quantidade de canais, de fácil configuração, e vários módulos compatíveis. Um ponto fraco observado foi o módulo não confiável (histórico de interferência), sendo confirmada perda momentânea de sinal várias vezes ao longo dos testes realizados (Informante shave).

O SisVANT é potencialmente utilizável para monitoramento ambiental, já que não necessita de grande estabilização de imagem/plataforma, tem boa mobilidade para acesso em locais de vegetação, rápida inicialização, baixo custo, é de fácil aprendizagem, resistente e ideal para treinamento de pessoal.

Em se tratando de crimes contra a flora, os casos de supressão ilegal de vegetação são de difícil identificação, uma vez que os criminosos evitam desmatar junto às rodovias, estradas ou trilhas, deixando cobertura vegetal a fim de que aqueles que passem pelas estradas não percebam.

é de fundamental importância a utilização de um VANT, pois, permite um ponto privilegiado de observação, num plano elevado, sendo possível observar uma grande área em pouco tempo otimizando a ação do policiamento. Ainda se tratando de policiamento ambiental, um VANT permitiria observarmos com maior rapidez e menor custo os casos de poluição hídrica, sobrevoando rios, lagos e lagoas, localizando os pontos e potenciais poluidores. No que tange a outros tipos de policiamento, ele pode servir como plataforma de observação dando suporte a operações de equipes que estejam em terra com informações sobre obstáculos, criminosos, pontos críticos etc. Ainda podemos citar como ponto forte o custo de operação e manutenção infinitamente inferior ao de um helicóptero, que seria outra plataforma que permitiria a execução das mesmas tarefas. Um ponto fraco que identifique no momento é ainda não termos nenhum profissional habilitado e com conhecimento técnico na área. (Informante chave).

A transmissão de vídeo em tempo real e fotografias aéreas são fundamentais, para orientar as equipes em terra e materializar os danos ambientais detectados nos sobrevoos, sendo de grande importância sensores térmicos e visores noturnos, a fim de se adaptar o equipamento à missão.

O CPAm, desde janeiro de 2013, georreferencia todas as suas ocorrências, a fim de obter uma análise e uma mancha criminal ambiental, de modo a melhor orientar seu policiamento ostensivo. Para georreferenciar as ocorrências, o CPAm utilizava o BATGEO, que é um sistema gratuito e disponível na Internet. Acredito que, possuindo um profissional habilitado tecnicamente na área e utilizando um software mais preciso, podemos otimizar ainda mais o emprego do policiamento ostensivo. O ponto negativo continua sendo a falta de profissionais habilitados e com conhecimento técnico na área. (Informante chave).

A utilização de aplicativos *open source*, reduzindo o custo, facilitaria a aceitação do investimento, se comparado com os *softwares* pagos, principalmente no caso da implementação de um SisVANT e um SIG, valendo ressaltar que um pelotão de VANT permitiria executar o policiamento ambiental de forma mais eficaz com um custo bem inferior ao de um helicóptero, além de estimular a capacitação de outros profissionais para o desenvolvimento desse tipo de serviço.

Em relação à utilização de mapas colaborativos, o Informante revela:

Acredito que essa tecnologia deva ser o próximo investimento do CPAm. A otimização das ações do CPAm se deu quando passamos a dirigir o nosso policiamento de forma mais inteligente, privilegiando as denúncias recebidas nas unidades, anônimas em sua maioria, por meio do Disque-Denúncia, telefone, e-mail etc. Em 2013, conseguimos triplicar o número de registros criminais, em comparação com o ano de 2012, com um efetivo menor; além disso, obtivemos um índice de confiabilidade nas denúncias de aproximadamente 50%, ou seja, a cada duas denúncias recebidas, uma se confirmou, resultando em um registro de ocorrência em uma delegacia circunscricional. Se ampliarmos essas denúncias para colaboradores, previamente cadastrados, acredito que seria mais um passo para otimização das ações de policiamento ostensivo ambiental. Chegamos inclusive a desenvolver um software em conjunto com uma empresa privada para esse fim, mas deixou de ser implementado por falta de recursos financeiros. (Informante chave).

A dificuldade de licenciamento para pesquisa junto à ANAC (CAVE), mesmo após visita à sede no Rio de Janeiro e vários contatos via e-mail, impossibilitaram testes para determinar uma distância segura do *link* da telemetria, bem como a geração de produtos de filmagem ou fotografias do terreno sobrevoado, ficando os testes limitados a voo do equipamento obedecendo à legislação de aeromodelismo.

Essas geotecnologias podem ser usadas não só pelo CPAm, mas por toda corporação, principalmente no que diz respeito ao SIG.

Foi desenvolvido então um sistema que atendesse ao Programa Educacional de Resistência às Drogas (PROERD), em que foram marcadas as escolas atendidas na área do Trigésimo Segundo Batalhão de Polícia Militar, que compreende os Municípios de Macaé, Quissamã, Carapebus, Rio das Ostras e Conceição de Macabu, com o

intuito de facilitar visitas de supervisão, além de auxiliar a Coordenação Estadual do Programa, uma vez que é possível gerar essas informações para todos os batalhões em que o programa é aplicado, podendo ser criado um SIG em nível estadual. Na **Figura 10**: 1 - Visualização geral da localização da escola no mapa; 2 - Localização precisa da escola com endereço; 3 - Ferramenta de evento eVis do QGIS com todas as informações referentes à escola e fotografia da entrada dos alunos.

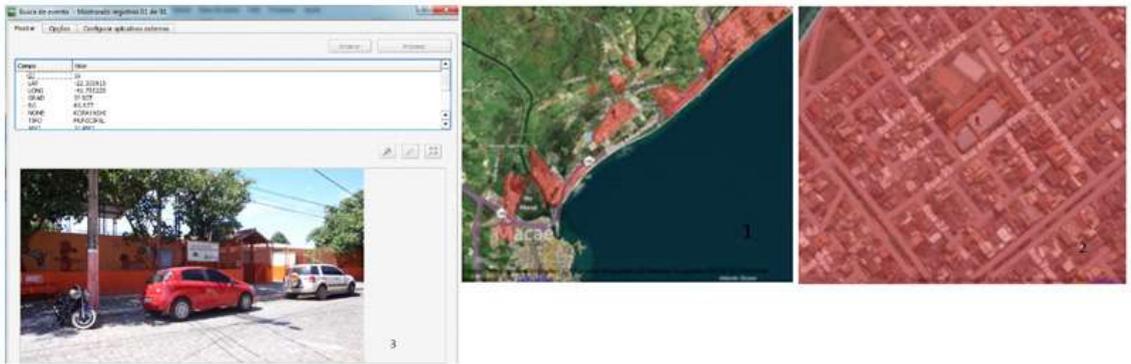


Figura 10 - Ferramentas WMS e de evento ID eVis do QGIS

Fonte: Do autor (2014)

Para uma análise espacial no Parque Estadual do Desengano (PED) através do *software* QGIS 2.8, foram utilizados conceitos e parâmetros constantes em resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, Lei 9.985/2000), no Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) e no Plano de Manejo do PED.

O PED está distribuído por três municípios: Santa Maria Madalena (34%), São Fidélis (5%) e Campos dos Goytacazes (61%), como ilustrado na **Figura 11**.

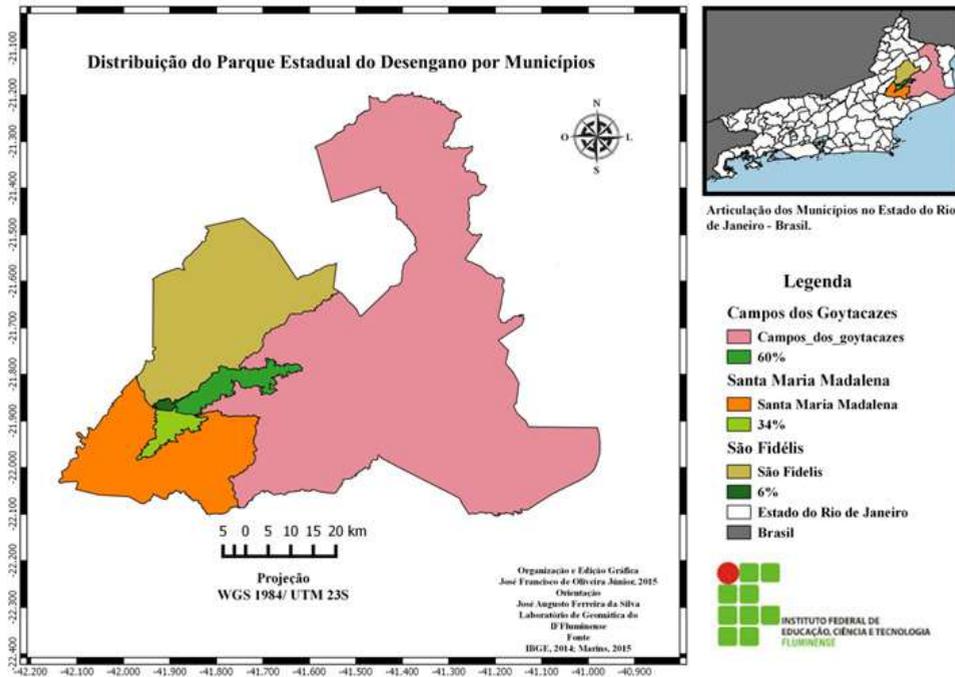


Figura 11 - Mapa da Distribuição do PED por Municípios

Fonte: Do autor (2015)

O SNUC²⁶ define Zona de Amortecimento (ZA) como: “o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade”. A resolução 428/2013, que normatiza o licenciamento de empreendimentos não sujeitos à EIA-RIMA em áreas de reserva com alta diversidade ecológica, do CONAMA, estabelece como ZA uma extensão de três quilômetros da Unidade de Conservação, com exceção de Reservas Particulares do Patrimônio Nacional (RPPNs), Áreas de Proteção Permanente (APPs) e áreas Urbanas Consolidadas, caso não haja dispositivo em contrário especificado no Plano de Manejo da Unidade de Conservação²⁷.

O Plano de Manejo do PED propõe aproximadamente 141.921 ha como área de Zona de Entorno do PED (ZEPED), que abrange terras dos municípios de Santa Maria Madalena, Campos dos Goytacazes e São Fidélis, adotando-se como critério para delimitação da ZEPED o emprego das principais rodovias e estradas vicinais que a circundam, propiciando um meio eficaz para a fiscalização realizada pelos agentes florestais, tendo como base as Folhas IBGE Cambuci, São Fidélis, Travessão, Renascença,

²⁶ BRASIL. **Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002**. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, SNUC, e dá outras providências. Brasília, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm. Acesso em: 1 ago. 2014.

²⁷ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>. Acesso em: 1 ago. 2014.

Dores de Macabu, Campos, Conceição de Macabu e Carapebus, escala 1:50.000; e cujo perímetro se baseia nas rodovias RJ-146 e RJ-182, na cidade de Santa Maria Madalena, rodovia RJ-192, estradas de terra, rodovia RJ-158, rodovias BR-101 e RJ-180. Com esse critério, foi possível incluir nessa área protegida todo o sistema de drenagem do parque, incluindo a Lagoa de Cima, e todo o Vale do Imbé, sendo protegidos todos os rios que correm para a vertente atlântica, desde a nascente até a foz, e os que correm para a vertente continental, mesmo com nascente fora do PED; tributários do Paraíba do Sul com o Rio do Colégio também estão protegidos em todo o seu percurso (RIO DE JANEIRO, 2003). Pode ser verificado que algumas áreas compreendidas no Município de Santa Maria Madalena têm borda inferior a 3km, contudo a área proposta pelo plano de manejo do PED é 3,83 vezes maior do que a proposta pela Resolução CONAMA 428/13, conforme ilustrado na **Figura 12**.

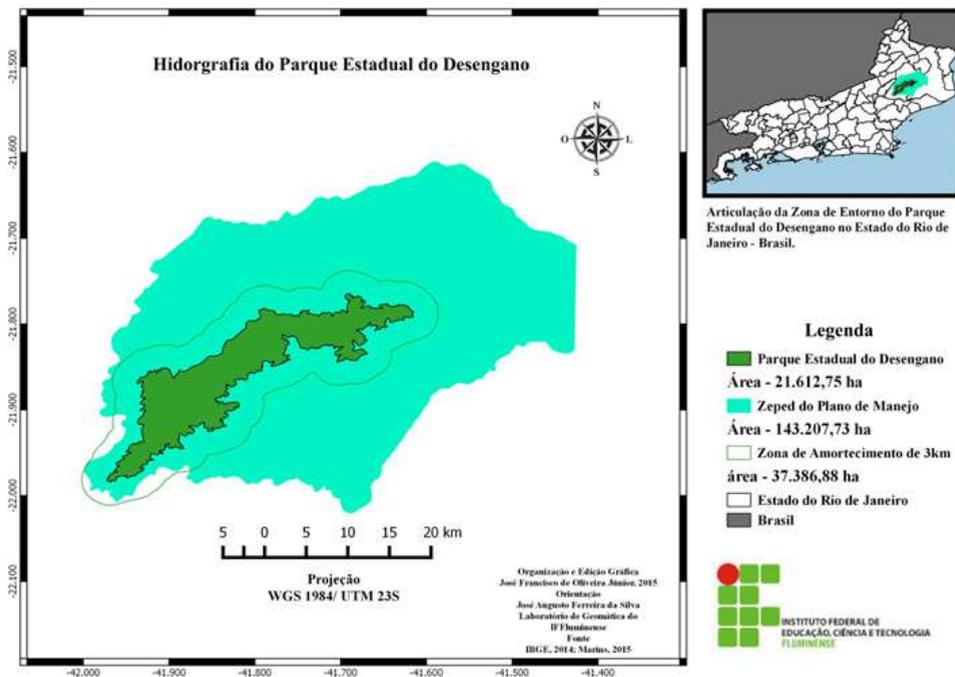


Figura 12 - Mapa da Zona de Entorno do Parque Estadual do Desengano

Fonte: Do autor (2015)

Segundo o artigo 4º do Código Florestal Brasileiro (2012), são consideradas Áreas de Proteção Permanente em zonas rurais ou urbanas:

- as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos

- d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de: a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
 - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento, observado o disposto nos §§ 1º e 2º;
 - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;
 - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
 - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
 - os manguezais, em toda a sua extensão;
 - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
 - topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;
 - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

Para efeito de cálculo das áreas de APP de topo de morro, complementando o artigo 4º inciso IX do Código Florestal Brasileiro, pode ser utilizada a resolução CONAMA 303 (2002) que, em seu artigo 2º, inciso VI, define: “base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor”.

Foram confrontadas a hidrografia do PED fornecida pelo IBGE e a fornecida pela administração do PED, ilustrada na **Figura13**.

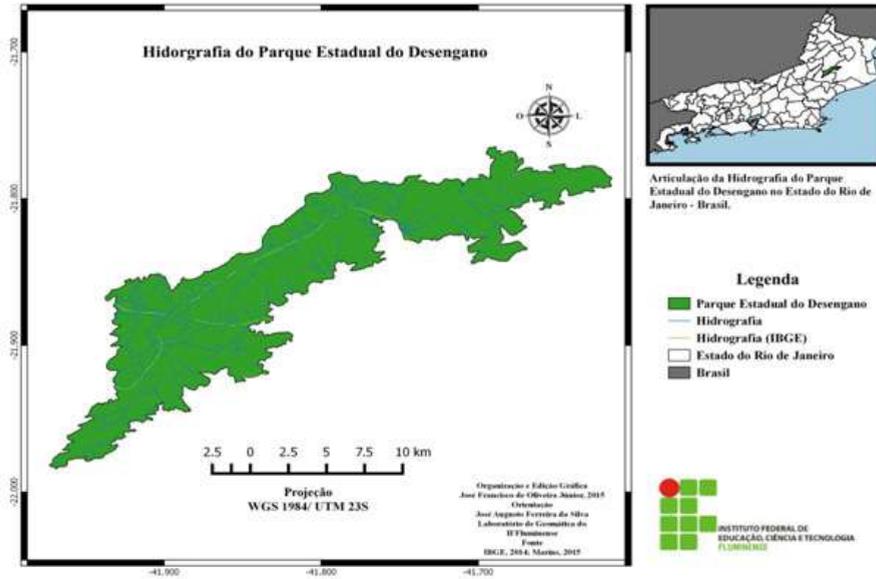


Figura 13 - Hidrografia do Parque Estadual do Desengano

Fonte: Do autor (2015)

Para estudo do relevo, foi elaborado um modelo digital de elevação do terreno do PED, em que se verifica a distribuição das altitudes entre 1 e 181 metros (ilustrado na Figura 14).

430

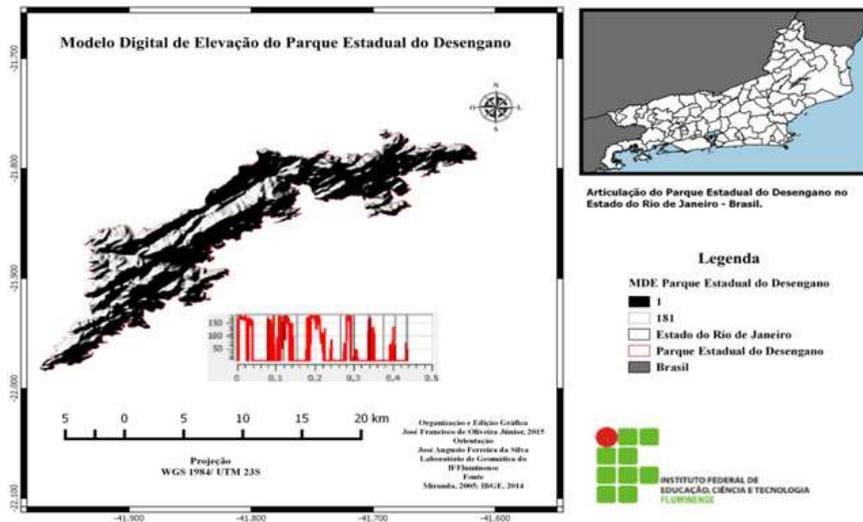


Figura 14 - Modelo Digital de Elevação do PED

Fonte: Do autor (2015)

Conclusões

No Brasil, atualmente, a utilização dos VANTs se dá de forma legal e ilegal, sendo que a ocupação indiscriminada do espaço aéreo pode levar a acidentes catastróficos. A flexibilidade exigida pelo cliente em relação a baixo custo e pressa na decolagem faz com que o mercado ilegal ocupe algo em torno de 95% do mercado nacional, uma vez que o mercado legal é mais caro e exige o cumprimento de uma série de normas e autorizações para fazer o voo. De acordo com o “nicho” de mercado, a escolha do modelo do VANT é feita tendo como variáveis: a função, a aplicação ou operação, a carga paga (*pay load*) e o tamanho do VANT²⁸.

O modelo de VANT proposto apresenta *software* e *hardware* confiáveis, tendo limitações aerodinâmicas, sendo também observado um risco elevado de danos ao equipamento na aterrissagem e lançamento. O problema pode ser resolvido com um quadricóptero, que proporcionaria pousos e decolagens suaves na vertical (*VTOL*), diminuindo também a necessidade de pista, principalmente para a aterrissagem, podendo-se efetuar o lançamento e recuperação do equipamento em espaços reduzidos.

A experiência com os VANTs em outras instituições militares tem sido positiva e promissora; a contribuição da tecnologia observada na PMESP demonstra que é possível e pertinente sua utilização, principalmente na atividade de policiamento ambiental.

A utilização dos VANTs é bastante recomendada nas atividades operacionais do CPAm, bem como em outras áreas de atuação da polícia, tendo como atrativos o baixo custo de implementação, operação (principalmente se comparado a uma aeronave tripulada que tem custo estipulado de oito mil reais a hora de voo), manutenção e, principalmente, a anulação do risco de morte por não possuir tripulação.

Um grande problema na implementação desse tipo de tecnologia encontra-se na indefinição da legislação, a qual submete cada projeto a uma avaliação individual por colegiado.

Os recursos *open source* são recomendados para utilização na instituição, devido à gratuidade, qualidade e diversidade dos produtos gerados, sendo um obstáculo a falta de pessoal especializado. A utilização de SIG para geração e implementação de bases *on-line* é de grande importância para a produção dos mapas colaborativos como ferramenta para geração de denúncias, pela população, e para trocas de informação entre os órgãos de proteção ambiental e de segurança pública.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos ao IFFluminense-PPEA pelo apoio na realização das pesquisas.

²⁸ MUNARETTO, L. VANT: Sistema, aplicações e legislação. **Minicurso Webinar/Mundogeo**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://global.gotowebinar.com/join/over.html?sessionId=abcf3X61PApo55NDPE28u?webinar=7096727794898350850>. Acesso em: 6 nov. 2014.

MODELAGEM DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES E IDENTIFICAÇÃO DE FONTES COM ESTUDO DE CASO NO BAIXO MACAÉ

Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues (UERJ) · Wagner Rambaldi Telles (UFF)
Radael de Souza Parolin (UNIPAMPA) · Jader Lugon Junior (IFFluminense) · Antônio José da Silva Neto (UERJ)

Introdução

Uma das questões mais relevantes que se apresentam para a sociedade contemporânea é a conservação dos recursos hídricos existentes. O correto manejo desses recursos a cada dia torna-se mais crítico, uma vez que sua escassez e deterioração já afetam parcela significativa da população mundial. Pode-se dizer que virtualmente todo e qualquer corpo de água do planeta está submetido a alguma alteração de suas condições naturais. Nesse contexto, foi elaborada e promulgada a Lei 9433/97, que veio disciplinar os usos das águas no país, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa lei veio estabelecer alguns fundamentos, dentre os quais a água ser tida como um recurso finito, de domínio público e valor econômico definido, devendo a sua gestão ter a participação de toda a sociedade. A Lei 9433/97 define, ainda, que a aplicação do quadro normativo hídrico terá como unidade territorial a “bacia hidrográfica”. De fato, o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos na escala de bacias se justifica porque há uma “conexão hidráulica” entre os seus usuários¹.

O diagnóstico da qualidade de um corpo hídrico convencionalmente se baseia na análise de alguns parâmetros. No Brasil, as Resoluções CONAMA 01/1986 e 357/2005 estabeleceram níveis de concentração de acordo com os usos aos quais se destina a água. A gestão de recursos hídricos não envolve, entretanto, somente diagnóstico, mas também monitoramento e previsão de cenários futuros. Historicamente, a avaliação do comportamento de constituintes dissolvidos e em suspensão em rios, canais e estuários iniciou-se pelo desenvolvimento de modelos chamados do tipo “caixa-preta”, em que a remoção ou produção do constituinte era avaliada pelo balanço de massa existente entre sua entrada e sua saída em um dado trecho do corpo hídrico. Tal abordagem baseia-se em monitoramento intensivo, com óbvias limitações logísticas e econômicas. Alternativamente, o comportamento de substâncias nesses corpos d’água pode ser estimado por modelos

¹ KELMAN, J. Evolution of Brazil’s Water Resources Management System. In: CANALI, G. V. et al. **Water Resources Management**. Porto Alegre: ABRH, 1999. p. 19–36.

matemáticos e computacionais². Tais modelos possibilitam descrever a hidrodinâmica e o transporte de solutos ou suspensões dentro do corpo hídrico estudado. Idealmente, apresentam-se como as ferramentas mais adequadas de diagnóstico e prognóstico de ambientes aquáticos, pois, uma vez calibrados, diversos cenários podem ser gerados, bastando-se que para isso sejam modificadas algumas das informações impostas ao modelo.

São inúmeras as aplicações da modelagem matemática e computacional na solução de problemas de qualidade de água de rios, canais e estuários, como, por exemplo, o estudo do comportamento de plumas de efluentes industriais nesses corpos. Nesse aspecto, a resolução CONAMA 357/2005 estabeleceu que o melhor entendimento do comportamento e extensão da zona de mistura de efluentes é uma das premissas básicas para a definição dos limites aceitáveis de poluentes em corpos hídricos. Em seu texto, a resolução destaca, ainda, que o critério de diluição de efluentes deve se basear em pesquisas específicas que definam a zona de mistura³.

Neste capítulo são apresentadas duas aplicações de modelos computacionais na previsão e identificação do comportamento de descargas de poluentes, respectivamente, em meio fluvial e estuarino. Os resultados decorrem de pesquisas que vêm sendo conduzidas no Centro de Tecnologia Aplicadas ao Meio Ambiente (CETEMA) e no Laboratório Patrícia Oliva Soares de Experimentação e Simulação Numérica em Transferência de Calor e Massa (LEMA), ambos do Instituto Politécnico Campus Regional da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em Nova Friburgo. Esses laboratórios trabalham em parceria há mais de uma década na construção, calibração e validação de modelos aplicados ao transporte de substâncias em meios hídricos. Essas pesquisas já geraram diversas dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de dezenas de publicações em periódicos nacionais e internacionais.

Os casos estudados referem-se a cenários hipotéticos envolvendo o baixo curso do rio Macaé. Qualquer estudo que se desenvolva nesse trecho do rio se reveste de muita importância, pois é aí que se dá a captação de água para abastecimento doméstico e industrial do município de Macaé. Além disso, nas margens do rio, na altura do limite superior de sua região estuarina, está instalada a termoeletrica Mário Lago, o que, potencialmente, pode representar risco de eventuais acidentes e derramamentos nas águas do rio. Por fim, deve-se destacar que boa parte da sede do município de Macaé está assentada no entorno da região estuarina do rio Macaé, sendo que, nesse trecho, o rio recebe o aporte de diversos canais que drenam a região urbana da cidade de Macaé, muitas vezes transportando cargas consideráveis de esgotos domésticos.

Implementação de um modelo de qualidade de água

Nesta seção, são discutidos os principais procedimentos a serem seguidos na implementação de um modelo matemático ou computacional de qualidade de água. Para fins de simplificação e adequação aos estudos de caso aqui apresentados, todo o desenvolvimento se baseia no hipotético lançamento de um poluente em meio fluvial.

² RODRIGUES, P.P.G.W.; LUGON JUNIOR, J.; TAVARES, M.C. Importância de modelos matemáticos em estudos ambientais: estudo de caso: o Rio Macaé. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 1, n. 2, p. 115–128, 2007.

³ RODRIGUES, P.P.G.W. *et al.* Evaluation of dispersion parameters for River São Pedro, Brazil, by the simulated annealing method. **Inverse Problems in Science and Engineering**, v. 21, n. 1, p. 34–51, 2013.

Definição do domínio

O primeiro passo na construção de um modelo dessa natureza consiste em se delimitar a região do corpo hídrico que será estudada. Embora arbitrário, esse procedimento deve atender às necessidades do estudo para o qual se pretende implementar a simulação. Assim, se o objetivo é avaliar o impacto de um dado lançamento em um rio qualquer, não faz sentido que o curso em toda a sua totalidade seja contemplado na simulação, mas apenas um trecho em que o lançamento efetivamente possa ter alguma consequência. Dessa forma, as margens do curso, bem como uma dada distância a montante e jusante do ponto de lançamento, irão delimitar o espaço físico de interesse. Finalmente, a geometria da região de interesse estará completamente definida se for imposta ao modelo a distribuição espacial das profundidades, entendida como a batimetria do trecho abordado.

Equações governantes

Estabelecido o domínio físico do problema, devem ser definidas as equações matemáticas cuja solução fornecerá a distribuição no espaço e no tempo da concentração do poluente que hipoteticamente está sendo lançado. Considerando que essa descarga se dê de forma instantânea, ou mesmo durante um lapso finito de tempo, ainda que a vazão do rio se mantenha inalterada durante o tempo de simulação, o problema aqui tratado é transiente. Ainda, estritamente falando, ele deve ser considerado nas três dimensões, embora os gradientes das concentrações progressivamente sejam atenuados a partir do ponto de descarga e com o transcorrer do tempo. O modelo matemático que normalmente é utilizado para simular problemas dessa natureza se divide em três grupos de equações que, respectivamente, podem ser denominados como “Equação de Transporte (ET)”, “Equações do Movimento (EMs)” e “Equações de Reação (ERs)”. A solução desse conjunto de equações diferenciais irá, portanto, gerar a simulação do comportamento do poluente que uma vez tenha atingido o meio fluvial. A equação de transporte (ET), como o nome sugere, modela o transporte desse poluente por meio do seguinte balanço de massa

$$\text{Variação no tempo} = \text{difusão} - \text{advecção} \pm \text{reação} \quad (1)$$

Ou seja, a variação da concentração no tempo (lado esquerdo da expressão) resultará do balanço entre três mecanismos de transporte (lado direito da expressão). A difusão, que pode ser meramente molecular ou turbulenta, é impulsionada pelo gradiente de concentração do poluente. Isso significa dizer que, mesmo em águas paradas, um poluente irá ser transportado das regiões em que ocorra em maiores concentrações para aquelas em que esteja em menores concentrações. Já a advecção é um mecanismo conduzido pelo campo de velocidades que prevaleça no meio. No caso de um rio, ela se dará necessariamente de montante para jusante. Por último, a reação contempla todos os processos biogeoquímicos que possam resultar em adição ou subtração do poluente do meio hídrico.

O balanço expresso pela equação 1 (ET) impõe a necessidade de aplicação dos outros dois conjuntos de equações. Para a definição do campo de velocidades do curso, é necessário resolver as equações de movimento (EM), compostas por duas equações diferenciais, cuja solução gera, simultaneamente, o campo de velocidades e a altura da lâmina de água do meio hídrico que está sendo simulado. Essas equações são compostas por termos que modelam as principais forças capazes de controlar o movimento das águas, como o gradiente de pressão, os aportes laterais de água, o arrasto do vento, bem como todos os mecanismos dissipativos, como o atrito nas margens e no fundo do curso.

Finalmente, as reações que interferem na concentração do poluente obedecerão igualmente a diversas formulações matemáticas que compõem as equações de reação (ER), sendo que a escolha do conjunto a ser utilizado dependerá do poluente considerado. Se conservativo, as equações de reação (ER) sequer serão empregadas. Caso contrário, cada um dos processos biogeoquímicos que alteram a concentração do poluente será expresso por uma equação. Exemplificando, para o caso de metais pesados, adsorção, quelação e complexação serão consideradas. No caso de compostos nitrogenados, amonificação, nitrificação e desnitrificação serão contempladas. No caso de materiais em suspensão, tanto a sedimentação como a ressuspensão deverão estar devidamente equacionadas.

Condições de Contorno e Iniciais

435

O problema matemático assim formulado será dito “fechado” se condições de contorno e iniciais forem impostas. No caso específico das simulações aqui descritas, entendem-se como condições de contorno as concentrações definidas para as fronteiras que delimitam o espaço físico do problema. Exemplificando, no caso de um estuário, serão, respectivamente, as concentrações medidas ou impostas na região oceânica adjacente (fronteira marinha) e no limite detectável da intrusão salina no continente (fronteira fluvial), para uma dada condição de maré e vazão fluvial. Ainda, nos locais em que ocorram aportes laterais – oriundos, por exemplo, de lançamentos pontuais ou confluência com tributários – também terão que ser especificadas concentrações. As condições de contorno podem ou não se manter constantes ao longo do período de tempo simulado.

Já a condição inicial deve ser compreendida como a distribuição espacial da concentração do poluente no momento que antecede o início da simulação.

Simplificações

O conjunto de equações que compõem a equação 1 (ET) e as equações de movimento (EMs) consideram em princípio as três dimensões. No entanto, dependendo da geometria do corpo hídrico considerado, é razoável que se adotem simplificações.

Tais simplificações reduzem a complexidade do problema, muitas vezes sem perda considerável de informação. Considerando que essas equações muitas vezes não possuem solução analítica, somente numérica, a adoção de hipóteses simplificadoras pode reduzir drasticamente o custo computacional das simulações. Exemplificando, se o domínio físico a ser modelado apresenta largura e profundidades com ordens de grandeza inferior a seu comprimento, qualquer substância lançada em seu interior apresentará homogeneização proporcionalmente muito mais eficaz nas direções lateral e vertical do que na direção longitudinal. Tal é o caso de trechos estreitos e pouco profundos de rios e estuários. Nessas condições, uma abordagem unidimensional, que considere apenas a variação longitudinal das concentrações, seria satisfatória.

Modelagem do transporte de contaminantes em meio fluvial - estudo de caso baixo Macaé

Nesta seção é apresentada a modelagem matemática e computacional da simulação do transporte de uma pluma de contaminante em um trecho do rio Macaé, tendo como base um trabalho de campo realizado nas proximidades da Usina Termoelétrica (UTE) Mário Lago.

Os resultados apresentados aqui referem-se a uma versão revisada e compactada do trabalho de Telles e colaboradores datado de 2013⁴.

Descrição da região de interesse

A região de interesse na qual foi realizado o estudo envolvendo a modelagem do problema de transporte de contaminantes localiza-se no baixo curso do rio Macaé. Nesse trecho, a rede de drenagem do referido rio sofreu várias alterações em sua geometria, sendo a principal delas uma retificação de 25 km em seu curso, realizada pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) – extinto em 1990 (SEMADS, 2001)⁵. Segundo Costa, essa retificação fez com que o rio sofra com problemas de assoreamento ocasionados pela falta de mata ciliar⁶. Na Figura 1, é apresentada a região de interesse, onde está localizada essa retificação.

⁴ TELLES, W. et al. Simulação de uma Pluma de Contaminantes no Rio Macaé Utilizando Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 165–174, 2013.

⁵ SEMADS. **Bacias hidrográficas e rios fluminenses**: síntese informativa por macrorregião ambiental. Rio de Janeiro: [S.n.], 2001.

⁶ RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro. **Subsídios para gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Macacu, São Joao, Macaé e Macabu**. Rio de Janeiro, 1999. Projeto PLANAGUA SEMADS, GTZ de Cooperação Técnica Brasil - Alemanha, 1999.

Nessa região, o rio apresenta profundidade média em torno de 1 m e largura praticamente uniforme de 40 m, assemelhando-se a um canal. No cenário aqui simulado (estio), as velocidades médias não excedem 1 m/s, sendo que as vazões se situam em torno de $6 \text{ m}^3/\text{s}^{10}$, condições que propiciam uma maior sensibilidade à diluição de efluentes¹¹.

O lançamento da solução salina – o traçador – no rio ocorreu de maneira instantânea, de modo que os dois recipientes foram imersos simultaneamente no leito do rio no ponto de lançamento, localizado a 0,50 m da margem do rio. As coletas das amostras foram obtidas em dois pontos situados a 50 m a jusante do local de lançamento, o primeiro situado a 0,50 m, e o segundo, a 3,00 m da margem. O trecho simulado compreendeu uma região com 182 m de comprimento por 40 m de largura. Todo o experimento foi conduzido em um intervalo de tempo de 360 s. As concentrações coletadas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores das concentrações obtidas durante o experimento

Concentração das amostras coletadas					
0,5 m da margem				3,0 m da margem	
t(s)	C (mg/l)	t(s)	C (mg/l)	t(s)	C (mg/l)
0	37,00	214	112,84	0	37,00
12	40,29	222	108,82	100	44,97
24	38,16	230	102,39	108	111,93
35	39,48	240	93,22	116	130,01
42	38,48	258	82,11	124	179,56
49	37,99	275	70,16	136	251,26
75	39,77	280	67,34	180	144,02
86	41,67	300	56,56	212	110,75
92	41,34	307	57,63	266	79,04
100	126,88	312	57,36	314	55,58
109	196,70	320	56,56	342	47,01
136	363,12	328	52,03		
146	230,86	335	47,34		

Modelagem do problema proposto

Equação de Advecção-Difusão

A modelagem do transporte de contaminantes em corpos hídricos é dada pela equação de advecção-difusão, correspondente à equação 1 mencionada na seção 1.1, a qual tem como base a equação de conservação da massa¹². Matematicamente, a equação 2 de advecção-difusão é expressa por Bird¹³:

¹⁰ AMARAL, J. **Estuário do Rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, COPPE, 2003.

¹¹ LUGON; SILVA NETO; RODRIGUES. Assessment of dispersion mechanisms in rivers by means of an inverse problem approach.

¹² MARTIN, J. L.; MCCUTCHEON, S. C. **Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling**. Boca Raton: CRC Press, 2017. Disponível em: <https://www.crcpress.com/Hydrodynamics-and-Transport-for-Water-Quality-Modeling/Martin-McCutcheon/p/book/9780873716123>. Acesso em: 25 mar. 2017.

¹³ BIRD, R. B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. **Transport Phenomena**. 2nd ed. New York: Toronto: John Wiley & Sons Inc., 2006.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \nabla \cdot (E \nabla C) - \nabla \cdot (VC) + S \tag{2}$$

onde:

$C=C(x,y,z,t)$ é a concentração do poluente em análise [mg/l];

t é o tempo [s];

$V=(u,v,w)$ corresponde ao vetor de velocidade nas direções x,y e z , respectivamente [m/s];

$E=E(x,y,z,t)$ representa o coeficiente de dispersão do poluente no rio [m²/s];

$S=S(x,y,z,t)$ é o termo fonte ou sumidouro relativo ao poluente.

O trecho do rio Macaé em que foi realizado o experimento aqui descrito apresenta geometria bastante regular, podendo ser considerado como um canal, uma vez que sua largura e profundidade são praticamente constantes ao longo de seu curso, praticamente retilíneo. Além disso, de acordo com Amaral¹⁴, a região em questão possui baixa profundidade e pode ser classificada como bem misturada verticalmente, levando a quase homogeneidade ao longo da coluna d'água¹⁵. Medições realizadas durante o trabalho de campo constataram pequenas variações da velocidade longitudinal – podendo esta ser considerada constante – ao passo que, no sentido transversal, foi constatada uma velocidade muito pequena, podendo esta ser desprezada.

Diante dessas considerações, apesar de um modelo tridimensional ser sempre preferível, uma abordagem bidimensional, levando em consideração apenas as variações dispersivas na longitudinal e transversal, bem como os gradientes de velocidade no sentido longitudinal, pode ser adotada. Assim, tomando constantes os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal, a simulação do transporte de contaminantes para o problema descrito aqui é dada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = E_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) + E_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right) + u \frac{\partial C}{\partial x} \tag{3}$$

com as seguintes condições de contorno e inicial:

$$\begin{aligned} C(0,y,t) &= C_0, 0 \leq y \leq L_y, t > 0 \\ \frac{\partial C(L_x,y,t)}{\partial x} &= 0, 0 \leq y \leq L_y, t > 0 \\ \frac{\partial C(x,0,t)}{\partial y} &= \frac{\partial C(x,L_y,t)}{\partial y} = 0, 0 \leq x \leq L_x, t > 0 \\ C(x,y,0) &= C_1(x,y), 0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y \end{aligned} \tag{4}$$

¹⁴ AMARAL. **Estuário do Rio Macaé**: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, *op. cit.*

¹⁵ TELLES. **Simulação do transporte bidimensional horizontal de substância conservativa**, *op.cit.*

onde:

x, y e z são as coordenadas cartesianas no domínio espacial [m];

u e v são as componentes do vetor velocidade, correspondente às direções x e y , respectivamente [m/s];

E_l^E e E_t^E são os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal, respectivamente [m²/s];

L_x^L é o comprimento longitudinal do trecho do rio em análise [m];

L_y^L é o comprimento transversal do trecho do rio em análise [m].

Redes Neurais Artificiais

As equações que modelam o problema aqui tratado possuem parâmetros cujos valores são de difícil determinação. Como a solução dessas equações muitas vezes é bastante sensível a esses parâmetros, faz-se necessário defini-los com a maior precisão possível. Alternativamente, prescindindo-se, portanto, dessa definição para os parâmetros, podem ser adotadas algumas técnicas computacionais, como as Redes Neurais Artificiais (RNAs), conforme pode ser visto em diversos trabalhos^{16,17,18,19}. Usando operações computacionais bem simples, as redes conseguem resolver problemas matemáticos mal definidos, complexos, não lineares e estocásticos²⁰.

As RNAs são estruturas paralelas compostas de neurônios artificiais – os quais simulam os neurônios biológicos humanos – densamente conectados que apresentam duas fases distintas de operação: a aprendizagem ou treinamento e a execução ou generalização²¹. Basicamente, um neurônio artificial pode ser entendido como uma estrutura matemática, a qual transforma uma ou mais entradas, associadas a um peso, em uma saída, conforme é mostrado na Figura 2.

¹⁶ LIMA, E. B. **Problemas inversos aplicados à identificação de parâmetros hidrodinâmicos de um modelo do estuário do rio Macaé**. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, Brasil, 2012.

¹⁷ DORNELLES, F.; PEDROLLO, O. C.; GOLDENFUM, J. A. A. Análise comparativa da aplicação de redes neurais e sistemas de inferência difusa na previsão de nível do rio Quaraí, utilizando previsão de chuva. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2006. **Anais** [...]. Curitiba: ABRH, 2006. v. 1.

¹⁸ GONÇALVES, F. V.; RAMOS, H. M.; REIS, L. F. R. Produção de energia em sistemas de abastecimento baseada em fontes renováveis: Redes Neurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009. **Anais** [...]. Campo Grande: ABRH, 2009. v. 1.

¹⁹ GOMES, L. F. C. Modelo Baseado na Técnica de Redes Neurais para Previsão de Vazões na Bacia do Rio São Francisco. **RBRH, Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 1, p. 5-15, 2010.

²⁰ GRAUPE, D. **Principles of artificial neural networks**. 2. ed. [S.l.]: World Scientific, 2007. v. 6.

²¹ BIONDI NETO, L. et al. Classificação de solos usando-se redes neurais artificiais. **Engvista (UFF)**, v. 8, p. 37-48, 2006.

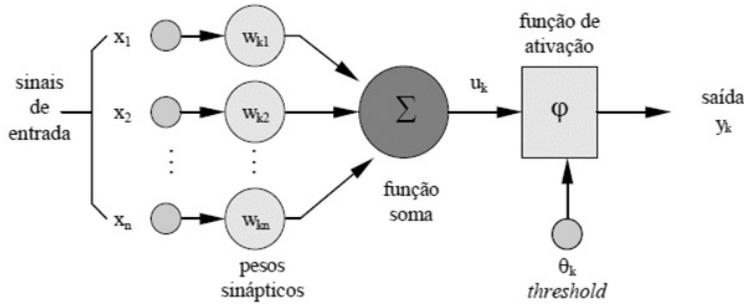


Figura 2 - Estrutura de um neurônio artificial

Fonte: Adaptado de Haykin (1994)²²

Os elementos mais importantes na estrutura de um neurônio artificial²³ são:

1. Sinapses: são representadas por um peso (w), o qual indica sua intensidade. Cada peso w_{kj} multiplica o sinal x_j na entrada da sinapse j , a qual está conectada a um neurônio k . O peso w_{kj} é positivo se a sinapse associada é excitatória, e negativo se a sinapse é inibitória;

Somatório: soma as entradas ponderadas pelos respectivos pesos, ou seja:

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j \quad (5)$$

2. Limiar (*threshold*) (θ_k): determina a ativação ou não do neurônio. Se o valor do somatório u_k for menor do que θ_k , então a saída do neurônio fica inibida. Caso contrário, o neurônio fica ativo.

3. Função de ativação (ϕ): funciona como um limitante à amplitude da saída do neurônio, ou seja, a entrada é normalizada dentro de um intervalo fechado, comumente $[0, 1]$ ou $[-1, 1]$;

Saída: resultado gerado pelo neurônio, y_k , onde:

$$y_k = \phi(u_k - \theta_k) \quad (6)$$

A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, em que os pesos e suas conexões são ajustados com os padrões apresentados, ou seja, elas aprendem por meio de exemplos²⁴.

Para o problema aqui descrito, foi utilizada a rede perceptron de múltiplas camadas (MLP), com o algoritmo *backpropagation* para o treinamento e o método de Levenberg-Marquardt para a determinação dos pesos e bias, o qual aumenta a velocidade de treinamento sem perda de desempenho da rede²⁵.

²² HAYKIN, S.S. **Neural networks**: a comprehensive foundation. New York : Toronto : New York: Macmillan; Maxwell Macmillan Canada; Maxwell Macmillan International, 1994.

²³ RAIJA JR., A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

²⁴ YAMAMOTO, Y.; NIKIFORUK, P. N. A new supervised learning algorithm for multilayered and interconnected neural networks, **IEEE transactions on neural networks**, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2000.

²⁵ KINOSHITA, S. K.; MARQUES, P. M.A.; FRÉRE, A. F. Utilização de análise de componentes principais e redes neurais artificiais para a classificação de nódulos em mamogramas digitalizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 17., Florianópolis, 2000. **Anais [...]**. Florianópolis: [S.n.], 2000. v. 1, p. 1214-1216.

O método de Levenberg-Marquardt procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, obtendo um novo vetor de pesos w_{n+1} que parta do vetor de pesos w_n , ou seja:

$$w_{n+1} = w_n + \Delta w_n \quad (7)$$

onde:

$$\Delta w_n = -[J_n^T J_n + \mu I]^{-1} J_n^T e(w) \quad (8)$$

sendo $e(w)$ a função erro, μ o parâmetro (fator de amortecimento) de Marquardt, I a matriz identidade e J a matriz Jacobiana que contém a derivada primeira dos erros da rede com relação aos pesos e bias.

Solução do problema proposto

Para gerar os padrões a serem utilizados no treinamento das RNAs, foi utilizada a solução do modelo de transporte. Para a solução do modelo matemático descrito pelas Eqs. (3) e (4), foi utilizado o método dos Volumes Finitos, baseado em uma formulação implícita e aproximação do termo advectivo por meio do esquema *UpWind* (UDS)²⁶. Essa discretização gera um sistema da forma $Ax=b$, onde A é uma matriz pentadiagonal, sendo então resolvida pelo Algoritmo de Thomas (TDMA)²⁷.

Para a concentração inicial $C(x,y,0)=C(x,y)$, foi adotada uma concentração igual à verificada no rio, ou seja, 37 mg/l, exceto na célula que receberá a descarga (lançamento instantâneo), que terá uma concentração variável de acordo com a discretização adotada para a malha. Já os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal foram adotados como $E_l = 0,008 \text{ m}^2/\text{s}$ e $E_t = 0,033 \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. Toda a implementação foi realizada na linguagem de programação C.

Por outro lado, para o modelo matemático baseado em redes neurais artificiais, foram passadas como padrão de treinamento 44 informações referentes a 6 parâmetros de influência significativa na modelagem da pluma de contaminante; são eles: posição de lançamento na direção longitudinal (50 m), posição de lançamento na direção transversal (0,5 m), concentração do traçador lançada no rio (175 g/l), posição de coleta na direção longitudinal (100 m), posição de coleta na direção transversal (0,5 m para o primeiro ponto e 3,0 m para o segundo ponto) e tempo de coleta das amostras (vide Tabela 1).

²² HAYKIN, S.S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. New York : Toronto : New York: Macmillan; Maxwell Macmillan Canada; Maxwell Macmillan International, 1994.

²³ RAIJA JR., A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

²⁴ YAMAMOTO, Y.; NIKIFORUK, P. N. A new supervised learning algorithm for multilayered and interconnected neural networks, **IEEE transactions on neural networks**, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2000.

²⁵ KINOSHITA, S. K.; MARQUES, P. M.A.; FRÉRE, A. F. Utilização de análise de componentes principais e redes neurais artificiais para a classificação de nódulos em mamogramas digitalizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 17., Florianópolis, 2000. **Anais** [...]. Florianópolis: [S.n.], 2000. v. 1, p. 1214-1216.

²⁶ TELLES. **Simulação do transporte bidimensional horizontal de substância conservativa**, *op.cit.*

²⁷ PLETCHER, R.H.; TANNEHILL, J.C.; ANDERSON, D. **Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

De posse dessas informações, a rede pode ser caracterizada por uma matriz $P_{6 \times 44}$ como padrão de entrada, a qual mapeia um vetor $T_{1 \times 44}$ que representa as concentrações oriundas do trabalho de campo (Tabela 1).

Devido à aleatoriedade na escolha da primeira estimativa dos pesos e bias, cada simulação realizada nesse trabalho foi processada em torno de 30 vezes a fim de encontrar os melhores resultados numéricos, tendo como referência os dados experimentais obtidos no trabalho de campo. Para efeito de validação do treinamento, a rede foi testada com um conjunto de dados que não fizeram parte do treinamento, dentro do intervalo $[0, 360]$ s, para os dois pontos de coleta.

A implementação da RNA foi realizada no programa Matlab®, assim como a construção dos gráficos referentes às simulações.

Resultados e discussão

Solução utilizando o modelo matemático

Foram realizados alguns testes com o objetivo de se determinar a melhor configuração de malha necessária à simulação envolvendo o modelo matemático, sendo adotados $\Delta t=2$ s, $\Delta x=0,7$ m e $\Delta t=0,7$ m. Na Figura 3, são apresentados os resultados obtidos nas simulações.

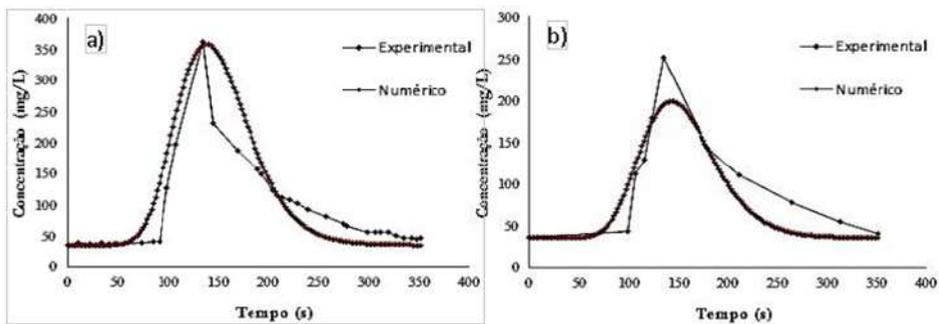


Figura 3: Concentrações numéricas e experimentais a 0,5 m da margem do rio (a) e a 3,0 m da margem do rio (b).

Como pode ser observado na Figura 3(b), não houve um bom ajuste entre o modelo matemático e os dados experimentais. Isso se deve ao fato da dificuldade de calibração dos parâmetros, como já mencionado anteriormente. Conseqüentemente, é realizada a substituição do modelo matemático por redes neurais artificiais.

Solução utilizando redes neurais

Foram realizadas simulações variando o número de camadas ocultas (de 1 a 5 camadas) da rede neural, bem como o número de neurônios (de 5 a 50 neurônios) presentes em cada camada, a fim de se obter o melhor ajuste entre os resultados numéricos e os dados experimentais.

Inicialmente, foi realizado o treinamento da rede neural utilizando apenas uma camada oculta e variando a sua quantidade de neurônios. No entanto, verificou-se que esse treinamento não conseguiu modelar satisfatoriamente o pico de concentração da pluma de contaminante.

Diante disso, foi realizado então o treinamento da rede neural utilizando duas camadas ocultas e variando o número de neurônios dessas camadas a fim de se obter o melhor conjunto de parâmetros que representasse numericamente os dados obtidos no trabalho de campo. Na Figura 4, são apresentados os resultados obtidos com o treinamento da rede com a melhor configuração, contendo 14 e 8 neurônios na primeira e na segunda camadas escondidas, respectivamente. As funções de ativação utilizadas foram a tangente hiperbólica e a linear, sendo a taxa de aprendizagem igual a 0,001, e o número máximo de épocas avaliado em 5000. Para a definição da taxa de aprendizagem e da época, vide²⁸.

Observa-se na Figura 4 um ajuste muito melhor entre o resultado numérico e os dados experimentais quando comparado ao desempenho do modelo matemático com adoção de valores pré-definidos para os parâmetros. Em particular, com a utilização das RNAs, obteve-se maior acurácia na reprodução do pico de concentração observado em campo, algo bastante relevante sob o ponto de vista ambiental.

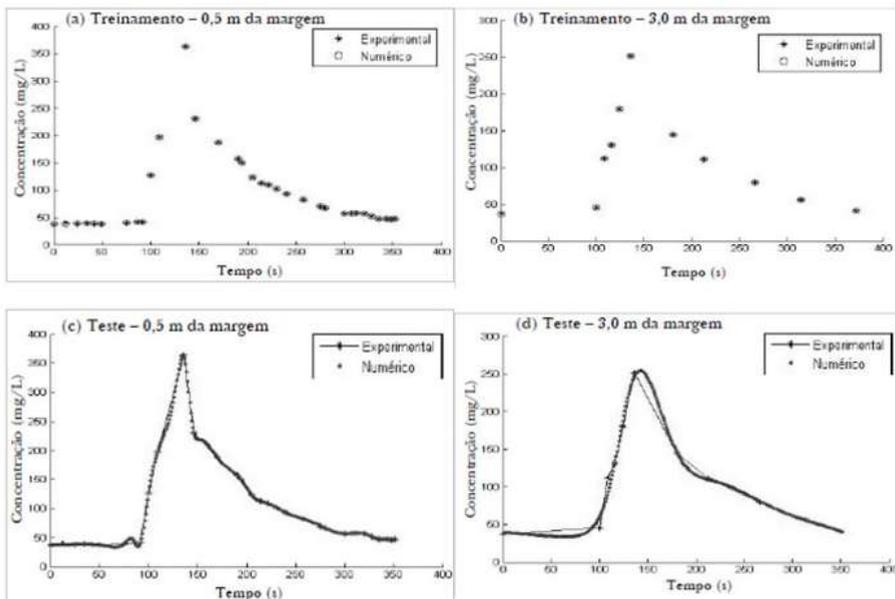


Figura 4: Concentrações nos pontos de coleta a 0,5 m da margem após o treinamento e teste da rede neural com 14 e 8 neurônios na primeira e segunda camada escondida, respectivamente, após 1280 épocas.

²⁸ HAYKIN. *Neural networks*.

Outros testes foram realizados com a rede contendo três, quatro e cinco camadas ocultas. No entanto, os resultados mostraram-se inferiores aos obtidos no treinamento com duas camadas ocultas.

Modelagem do transporte de contaminantes em região estuarina - estudo de caso baixo Macaé

A modelagem proposta nesta seção consiste em analisar o comportamento de contaminantes conservativos sem uma dada região estuarina, uma vez que tenham sido lançados a montante do limite superior da intrusão salina. Tratou-se como objetivo principal a aplicação de métodos de inteligência computacional para formular uma metodologia de identificação da procedência e magnitude de um hipotético lançamento de poluente nas águas do estuário do rio Macaé.

Modelo matemático

A Equação de Transporte 1(ET) de contaminantes que descreve o balanço entre advecção-difusão foi integrada verticalmente, assumindo que a variação da concentração é desprezível na direção vertical, tomando, assim, uma representação bidimensional do transporte.

Como solução da equação 1, foi realizada a aplicação do Método de Elementos Finitos (MEF) para a discretização no espaço²⁹ e do Método de Diferenças Finitas (MDF) para a discretização no tempo³⁰.

A aplicação do MEF transforma a equação 1 (ET), que é uma equação diferencial parcial, em um sistema de equações diferenciais ordinárias (EDOs), e a aplicação do MDF transforma o sistema de EDOs em um sistema de equações lineares algébricas (SELA). Ao final, o SELA foi solucionado utilizando o Método de Gauss-Seidel (MGS)³¹.

Vale destacar na equação 1 (ET) o termo que se refere a fontes ou sumidouros, que aqui influencia diretamente no objetivo de identificação da origem do poluente. Tal fonte pode ser única ou múltipla; pontual ou distribuída; instantânea, contínua ou intermitente; interna ou externa ao domínio de interesse. Neste estudo, foi considerada uma fonte única, pontual no meio e constante ao longo do tempo.

Quanto às Equações do Movimento (EMs), foi considerada para o meio estuarino uma pequena amplitude de maré, que deve garantir eficiente homogeneização vertical da coluna d'água, de modo que o estuário pode ter sua hidrodinâmica modelada pela formulação bidimensional, assumindo, assim, pouca variação vertical das variáveis de escoamento.

²⁹ ZIENKIEWICZ, O. C.; TAYLOR, R.L.; ZHU, J. Z. **The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals**. 7. ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2013.

³⁰ SMITH, G. D. **Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods**. 3 ed. Oxford: Oxfordshire; New York: Clarendon Press, 1986.

³¹ CUNHA, M.C.C. Métodos Numéricos. Campinas, SP: UNICAMP, [2009?].

As componentes horizontais de velocidade foram obtidas da solução do modelo hidrodinâmico implementado por Lima em 2012³², utilizando a plataforma MOHID³³. Esse modelo hidrodinâmico gerou a variação temporal dos campos de velocidades e o nível da superfície livre, os quais foram tratados como dados de entrada para o problema aqui resolvido.

O poluente considerado foi do tipo conservativo, o qual não possui reações que interfiram na sua concentração, sendo dispensado, portanto, o emprego das Equações de Reação (ERs).

Domínio de estudo do estuário do rio Macaé

Situado no município de Macaé, o domínio de estudo que envolve o estuário do rio Macaé foi definido através de fotografias via satélite, considerando-se uma extensão de quase 20km da cabeceira até a costa. Na Figura 5, é apresentada uma fotografia via satélite utilizada na definição do domínio de estudo.

Os dados de batimetria da região costeira foram tomados da carta náutica 1507, editada pela Marinha do Brasil em 1974, os quais se referenciaram com a batimetria existente mais próxima dos pontos da malha. Da região superior, foi utilizada a batimetria empregada por Amaral³⁴, utilizando-se de dados interpolados linearmente em função da existência de poucos dados disponíveis.



Figura 5 - Fotografia via satélite do estuário do rio Macaé

Fonte: Google Maps (2012)

³² LIMA. **Problemas inversos aplicados à identificação de parâmetros hidrodinâmicos de um modelo do estuário do rio Macaé.**

³³ MOHID. Disponível em: <http://mohid.com/>. Acesso em: 26 mar. 2017.

³⁴ AMARAL. **Estuário do Rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos**, op. cit.

A vinculação entre os dados do modelo hidrodinâmico e do modelo de transporte foi realizada por meio da aproximação das malhas espacial e temporal. O modelo proposto contém elementos de diferentes tamanhos, utilizando-se assim dos dados hidrodinâmicos mais próximos na geometria do modelo de referência. O mesmo ocorreu com a discretização temporal, ao optar-se por adotar um passo maior e múltiplo do modelo hidrodinâmico.

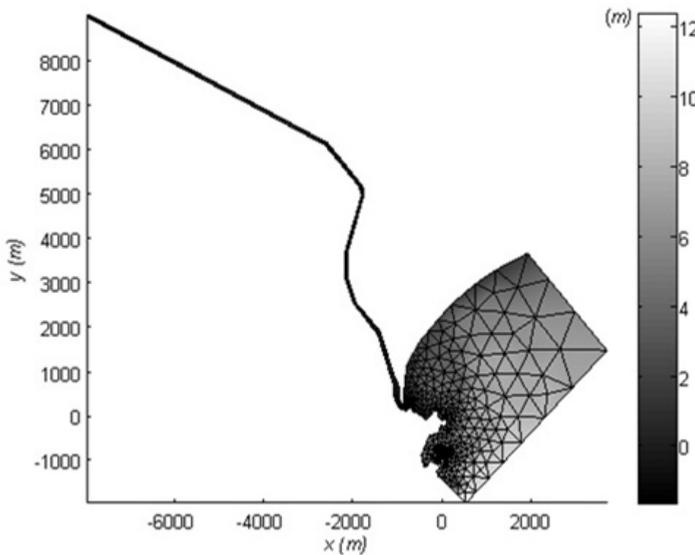


Figura 6 - Geometria e dados de batimetria do estuário do rio Macaé

Fonte: Parolin *et al.* (2015)³⁵

A geometria do estuário e os dados de batimetria são apresentados na Figura 6. É importante destacar que a proposição da malha espacial, composta por elementos finitos triangulares, foi definida após um estudo de consistência, estabilidade e convergência do método de discretização^{36,37}.

Modelagem computacional de estimação da fonte de poluentes

O transporte de constituintes, representado pela equação 1 (ET), vinculado às variáveis hidrodinâmicas das EMs, com as condições de contorno e os parâmetros adotados, compreendem o Problema Direto (PD).

³⁵ PAROLIN, R.S. *et al.* Análise de sensibilidade e estimação de uma fonte de contaminantes no estuário do Rio Macaé. RBRH, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 24–33, 2015.

³⁶ PAROLIN, R. S. **Determinação de uma fonte de contaminantes no estuário do Rio Macaé através da técnica de problemas inversos**. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, Brasil, 2013.

³⁷ PAROLIN, R.S. *et al.* Estimation of a contaminant source in an estuary with an inverse problem approach. **Applied Mathematics and Computation**, v. 260, p. 331–341, 2015.

O problema de estimação da fonte de poluentes foi formulado como um Problema Inverso (PI), no qual se considera conhecer medidas experimentais de concentração com o intuito de estimar a localização e a intensidade da fonte, ambas representadas por parâmetros no PD.

Nesse processo, tratado como um problema de otimização, procura-se minimizar a função objetivo, que é o somatório do quadrado dos resíduos entre os valores calculados e os valores experimentais de concentração.

Como um processo computacional iterativo, o PI de estimação da fonte de poluentes proposto é representado na Figura 7.

Para uma avaliação da possibilidade de identificação dos parâmetros da fonte de poluentes frente ao modelo de transporte, foi realizada uma análise de sensibilidade³⁸.

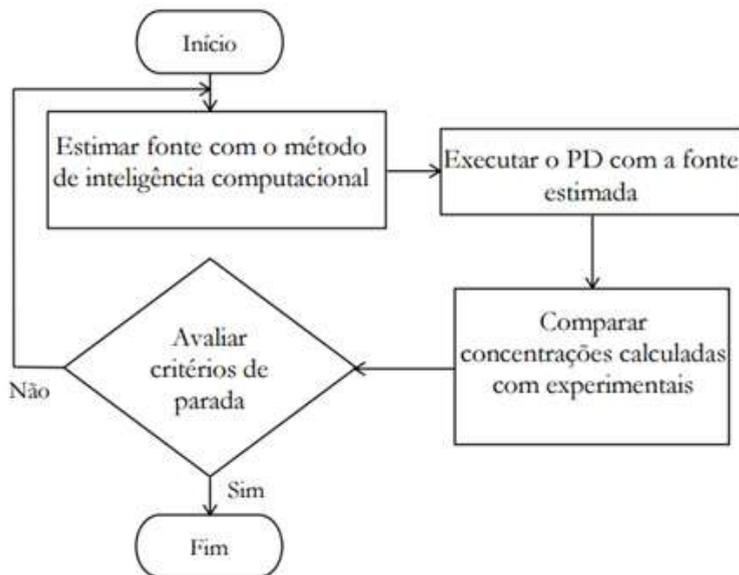


Figura 7 - Fluxograma com processo iterativo do Problema Inverso

Fonte: Parolin et al. (2015)³⁹

Assim, foram escolhidas aleatoriamente na região fluvial três possíveis posições de fontes para serem analisadas separadamente, com um mesmo fluxo de massa, considerando cinco possíveis sensores de coleta dos dados de concentração⁴⁰, como pode ser visto na Figura 8.

Como resultado dessa análise, percebeu-se que alguns sensores apresentam sensibilidade em localizações distintas da fonte, característica esta importante de uma boa localização para captura de dados de concentração, evidenciando diferenças na comparação de distintas localizações de fontes.

³⁸ BECK, J. V.; BLACKWELL, B.; JR, C. R. S. C. **Inverse Heat Conduction: Ill-Posed Problems**. [S.l.]: James Beck, 1985.

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ PAROLIN et al. Análise de sensibilidade e estimação de uma fonte de contaminantes no estuário do Rio Macaé, *op. cit.*

Em análise posterior, percebeu-se uma correlação linear forte entre os parâmetros de estimação: localização e intensidade da fonte. Como consequência, escolheu-se realizar primeiramente a estimação da localização da fonte, e então estimar a intensidade para essa localização específica.

Compreendidas as particularidades de estimação da fonte no problema, foram escolhidos como métodos de inteligência computacional para a solução do Problema Inverso: Luus-Jaakola (LJ)⁴¹, Algoritmo de Colisão de Partículas (ACP)⁴² e Otimização por Colônia de Formigas (OCF)^{43,44}, para a estimação da localização da fonte, e o Método Seção Áurea (SA)⁴⁵, para a estimação da intensidade da fonte.

Para a aplicação do Problema Inverso, foram utilizados dados experimentais sintéticos, que foram gerados a partir da solução do Problema Direto, conhecendo-se os parâmetros da fonte em um período total de 24h.

Considerou-se como fonte a localizada em L2 (vide Figura 8), com um fluxo de massa de 0,1kg/s. Os dados de concentração amostrais são aqueles das localizações S1, S2, S3, S4, S5 para cada hora em um período de 24 horas (Figura 8). A fim de reproduzir uma situação mais realista, também foram introduzidos artificialmente nos dados experimentais um erro da ordem de $\pm 5\%$.

A programação dos Problemas Direto e Inverso foi desenvolvida em linguagem C++, bem como a maioria das análises numéricas realizadas. Já a malha e os gráficos foram desenvolvidos com o programa MATLAB^{R46}.

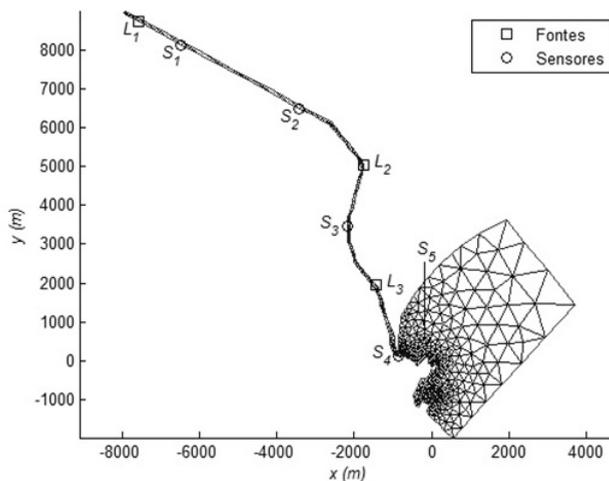


Figura 8 - Localização das fontes e dos sensores de coleta de dados

Fonte: Parolin et al. (2015)⁴⁷

⁴¹ LUUS, R.; JAAKOLA, T. H. I. Optimization by direct search and systematic reduction of the size of search region. *AIChE Journal*, v. 19, n. 4, p. 760–766, 1973.

⁴² SACCO, W. F.; OLIVEIRA, C. R. E.; PEREIRA, C. M. N. A., Two stochastic optimization algorithms applied to nuclear reactor core design. *Progress in Nuclear Energy*, v. 48, n. 6, p. 525–539, 2006.

⁴³ DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Part B, Cybernetics: a publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*, v. 26, n. 1, p. 29–41, 1996.

⁴⁴ SILVA NETO, A. J.; BECCENERI, J. C.; CAMPOS VELHO, H. F. *Inteligência Computacional Aplicada a Problemas Inversos em Transferência Radiativa*. Rio de Janeiro, Brazil: EdUERJ, 2016.

⁴⁵ BAZARAA, M. S.; SHERALI, H. D.; SHETTY, C. M. *Nonlinear programming: theory and algorithms*, 3. ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006.

⁴⁶ MATHWORKS Makers of MATLAB and Simulink. Disponível em: <http://www.mathworks.com/>. Acesso em: 26 mar. 2017.

⁴⁷ *Ibid.*

Resultados de estimação da fonte de poluentes

Para cada método de inteligência computacional, foram realizadas 20 execuções na solução do PI, utilizando tanto os dados amostrais sem ruído quanto os com ruído. Os resultados das médias dessas aplicações são apresentados na Tabela 2.

Como podemos verificar, utilizando-se dados sem ruído, obteve-se um êxito de pelo menos 95% na estimação da localização e da intensidade da fonte de poluentes. Ao se utilizarem dados com ruído, o êxito obtido foi de 80%, igualmente nos três métodos aplicados.

De maneira a comparar mais precisamente a eficiência dos métodos, foi utilizado um teste não paramétrico, o teste de ranque de sinal de Wilcoxon⁴⁸, considerando um nível de confiança de 95%. Os critérios comparados foram: função objetivo (somatório do quadrado dos resíduos entre os valores calculados e os valores experimentais de concentração), número de diferentes pontos estimados para a localização (NP); custo computacional (tempo).

Nessa comparação, utilizando-se de dados amostrais sem ruído, os métodos não apresentaram diferença significativa, sendo igualmente eficientes na resolução do PI. Já se utilizando de dados com ruído, o método LJ-SA mostrou-se superior quanto aos critérios de número de diferentes pontos estimados e ao custo computacional⁴⁹.

Tabela 2 - Médias das aplicações do Problema Inverso

Métodos	Êxito (%)	Distância da Fonte (m)	Diferença da Fonte (kg/s)	NP	Tempo (s)
LJ-AS	95	3,14	$6,75 \cdot 10^{-4}$	32,4	1658,05
ACP-AS	95	3,14	$6,75 \cdot 10^{-4}$	29,8	1585,15
OCF-AS	100	0	0	33,55	1926
LJ-SA (r)	80	805,34	0,0096	31,65	1653,6
ACP-SA (r)	80	12,52	0,0187	44,2	2322,75
OCF-SA (r)	80	201,71	0,0065	40,05	2299,2

Nota: (r) significa que foram utilizados dados de amostragem com ruído, NP significa o número de diferentes pontos estimados para a localização.

Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentadas duas aplicações de modelos e técnicas computacionais na simulação do lançamento e transporte de poluentes em meio fluvial e estuarino. No primeiro cenário estudado, buscou-se simular o comportamento de uma pluma de poluente que poderia se desenvolver a partir do lançamento pontual e instantâneo de uma substância conservativa, não passível de reação, em meio hídrico. Para tanto, realizou-se um experimento de campo que posteriormente foi reproduzido por meio de duas abordagens, sendo que a que envolveu a aplicação de RNAs pôde com maior acurácia gerar o perfil de concentrações observado no próprio experimento. Já no segundo estudo, tentou-se identificar a localização e intensidade de uma fonte de poluente conservativo hipoteticamente lançado na região estuarina do rio Macaé. Aqui, também, a estratégia computacional obteve sucesso.

⁴⁸ DERRAC, J. et al. A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 1, n. 1, p. 3-18, 2011.

⁴⁹ PAROLIN. **Determinação de uma fonte de contaminantes no estuário do Rio Macaé através da técnica de problemas inversos**, op. cit.

Os resultados aqui discutidos, portanto, destacam a importância e o alcance que modelos computacionais podem ter enquanto ferramentas na gestão de recursos hídricos. Futuros desdobramentos dessas pesquisas devem envolver o aprimoramento e desenvolvimento de soluções numéricas e analíticas dos modelos matemáticos utilizados na simulação de transporte de poluentes em meio hídrico. Além disso, há demanda pela construção de algoritmos que agilizem o processo de calibração automática de tais modelos. Por fim, para que simulação e monitoramento se complementem, pesquisas devem se intensificar no desenvolvimento de sensores remotos e automáticos capazes de gerar, armazenar e transmitir dados com frequência e precisão suficientes.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERJ, Fundação Carlos Chagas de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da CAPES, Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.