

FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI

**MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO
UNA APÓS REVERSÃO DOS EFLUENTES TRATADOS DE IGUABA
GRANDE, SÃO PEDRO DA ALDEIA E CABO FRIO**

Marcos von Sperling

**Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Minas Gerais**

Fundação Christiano Ottoni

Fevereiro 2008

MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO UNA APÓS REVERSÃO DOS EFLUENTES TRATADOS DE IGUABA GRANDE, SÃO PEDRO DA ALDEIA E CABO FRIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	SISTEMA HIDROGRÁFICO ESTUDADO	3
3	PONTOS DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES TRATADOS, APÓS REVERSÃO PARA A BACIA DO UNA.....	7
4	MODELO MATEMÁTICO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS UTILIZADO	11
4.1	Preliminares	11
4.2	Descrição sucinta do modelo Qual2-E.....	11
4.3	Descrição sucinta do modelo QUAL-UFMG	13
5	CENÁRIOS CONSIDERADOS PARA A SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS	16
6	DADOS DE ENTRADA DO MODELO	17
6.1	Vazões dos cursos d'água	17
6.2	Vazões de esgotos	18
6.3	Características hidráulicas dos cursos d'água.....	18
6.4	Qualidade da água nos trechos de montante e na vazão incremental	19
6.5	Concentrações nos esgotos tratados lançados nos corpos d'água.....	20
6.6	Coeficientes do modelo.....	21
6.7	Síntese dos principais dados em diagramas unifilares	23
7	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	32
7.1	Preliminares	32
7.2	Avaliação da qualidade das águas do Rio Una	32
7.3	Atendimento aos padrões dos corpos d'água no Rio Una e tributários receptores dos efluentes tratados.....	41
8	CONCLUSÕES	46
9	REFERÊNCIAS.....	48

MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO UNA APÓS REVERSÃO DOS EFLUENTES TRATADOS DE IGUABA GRANDE, SÃO PEDRO DA ALDEIA E CABO FRIO

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os estudos de qualidade das águas efetuados no Rio Una, simulando as futuras condições de recepção dos efluentes tratados revertidos das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) de Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio.

Atualmente, os efluentes dessas estações têm como corpo receptor final a Lagoa de Araruama. De forma a contribuir no esforço de melhoria da qualidade da água da lagoa, decidiu-se pela reversão dos esgotos, por meio de bombeamento, para a bacia do Rio Una, o qual segue para o Oceano Atlântico, sem interferir com a Lagoa de Araruama ou com praias usadas na região.

No entanto, de forma a avaliar se essa solução traz realmente melhorias ambientais, cumpre analisar o impacto do aporte dos efluentes tratados nessas três ETES sobre a qualidade da água do Rio Una.

Para tanto, foram obtidos dados de campo e de monitoramento da qualidade da água atual e feitas simulações da qualidade da água futura. O modelo matemático utilizado foi o QUAL-UFMG, o qual é uma versão simplificada do Qual2-E, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), utilizado mundialmente em estudos similares.

Os cursos d'água estudados foram o Rio Una e os corpos receptores imediatos dos futuros lançamentos, a saber:

- Rio Arrozal-Papicu – futuro receptor dos efluentes da ETE Iguaba Grande
- Rio Frecheiras – futuro receptor dos efluentes da ETE São Pedro da Aldeia
- Córrego da Malhada – futuro receptor dos efluentes da ETE Cabo Frio (margem direita do canal) e da futura ETE Cabo Frio (margem esquerda do canal)

Os constituintes simulados foram:

- Oxigênio dissolvido
- Demanda bioquímica de oxigênio
- Nitrogênio (nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato)
- Fósforo (fósforo orgânico, fósforo inorgânico)
- Coliformes termotolerantes (fecais)

De forma a ampliar o alcance do estudo, foram construídos distintos cenários de simulações, os quais são apresentados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1. Cenários das simulações de qualidade das águas efetuadas no Rio Una e tributários

Cenário	Período	Condição geral da qualidade das águas dos rios	Reversão dos esgotos para a bacia do Una?	Tratamento com remoção de nutrientes (N e P)?
1	Atual	Rios bastante poluídos	Não	Sim
2			Sim	Sim
3	Futura	Rios bastante poluídos	Não	Sim
4			Sim	Sim
5		Não	Não	
6		Sim	Sim	
7	Rios pouco poluídos	Rios pouco poluídos	Não	Sim
8			Sim	Não

Os tópicos acima serão detalhados nos itens apresentados a seguir.

2 SISTEMA HIDROGRÁFICO ESTUDADO

A bacia hidrográfica do Rio Una possui aproximadamente **461 km²** e tem como limites geográficos ao norte e oeste a bacia do rio São João, a sul e sudoeste a bacia de Araruama e a leste o oceano Atlântico (Fig. 2.1).



Fig. 2.1. Bacia do Rio Una (em cinza) e demais bacias circunvizinhas

Fonte: Site do Consórcio Lagoas São João, com hidrografia (<http://www.lagossaojoao.org.br/hidrografia-regional.htm>)

As figuras 2.2 e 2.3 apresentam vistas de satélite da região da bacia do Una, no contexto regional, e com visualização das principais localidades intervenientes, destacando-se Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio, objetos do presente estudo.



Fig. 2.2. Vista aérea da bacia do Una e entorno
Fonte: Geoport (2005)

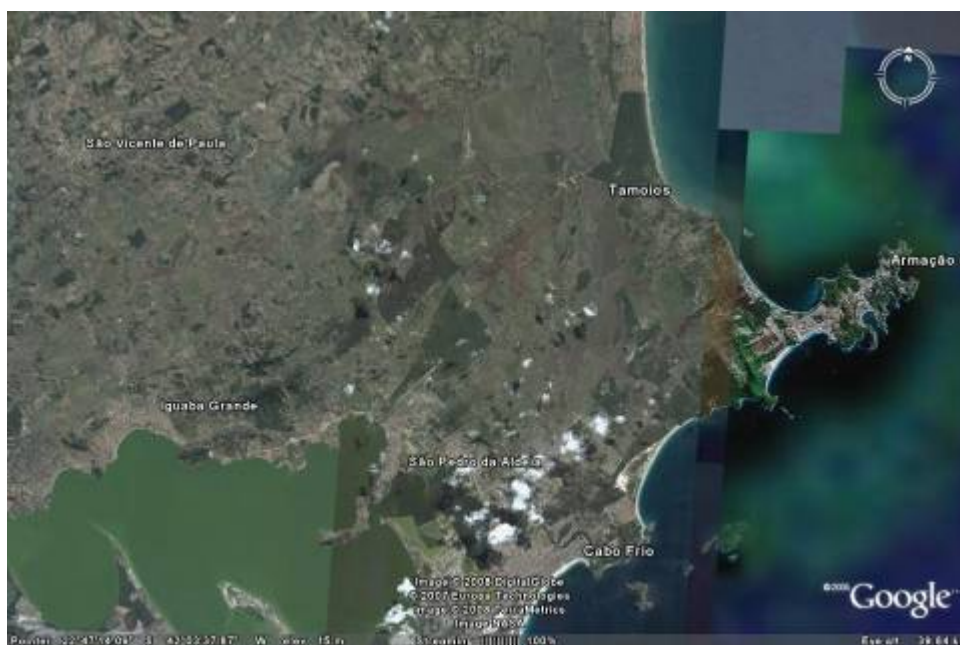


Fig. 2.3. Vista aérea da região de estudo
Fonte: Google Earth

A Figura 2.4 apresenta uma vista geral da bacia, com base em planta do IBGE escala 1:50.000, mostrando diversos elementos de importância. Na presente escala a visualização dos pontos relevantes não é boa, mas o arquivo digital, em Autocad, encontra-se disponível na Prolagos.

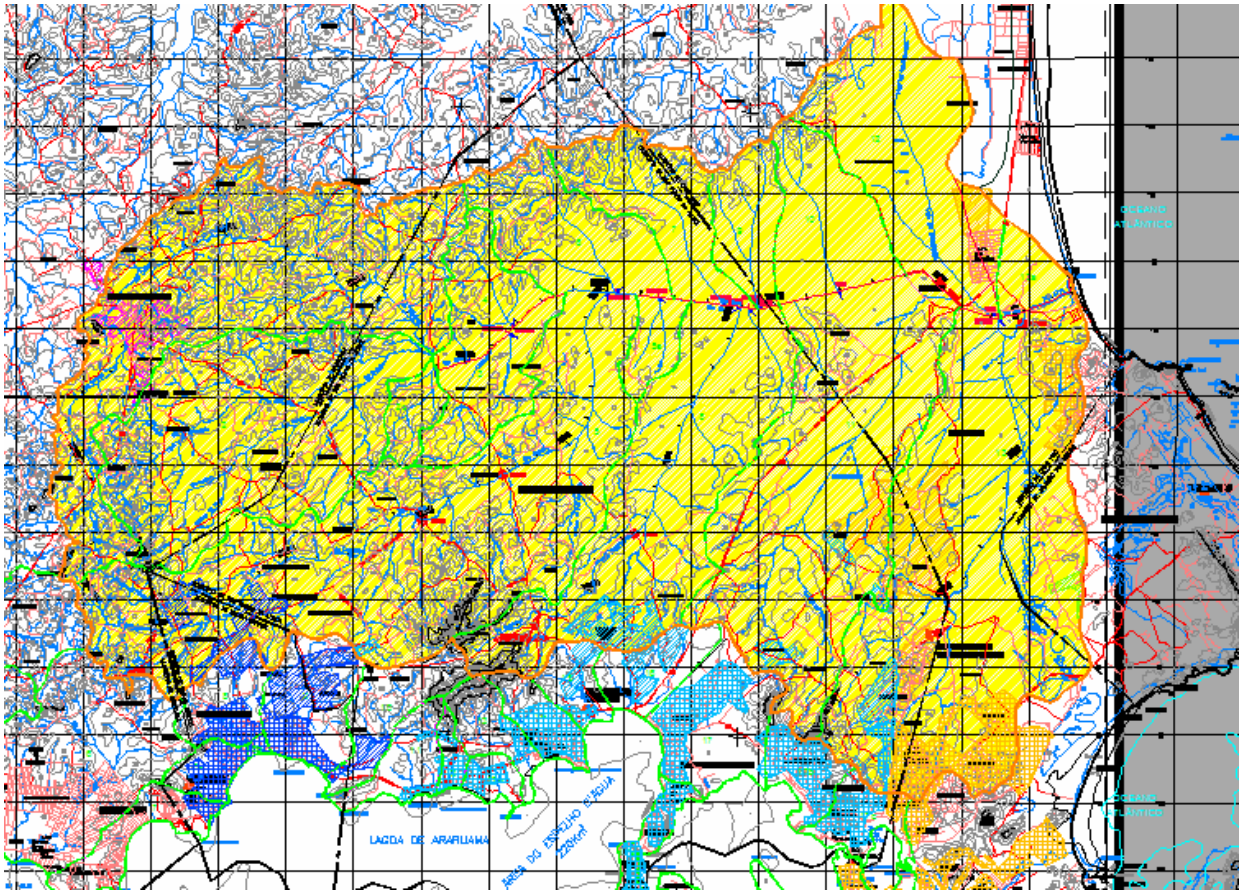


Fig. 2.4. Vista geral da bacia do Rio Una (em amarelo). Planta base do IBGE (disponível em Autocad).

O Rio Una, principal curso d'água da bacia e que lhe dá nome, possui cerca de **30 km de extensão**, no sentido leste-oeste, apresentando em seu percurso trechos retificados por obra do DNOS (GEOPORT, 2004). O trecho estudado, entre a confluência com o Rio Papicu e a foz no oceano, possui **15 km de extensão**.

A Figura 2.5 apresenta o diagrama unifilar do trecho estudado do Rio Una (15 km), com os principais tributários de interesse, áreas de drenagem, declividades médias e extensões de percurso. Na figura notam-se os tributários que serão os futuros corpos receptores (objeto de modelagem da qualidade da água), a saber:

- *esgotos de Iguaba Grande*: **Rio Arrozal**, seguido pelo Rio Papicu, com uma extensão total de 18 km entre o futuro ponto de lançamento dos efluentes e a foz no Rio Una.
- *esgotos São Pedro da Aldeia*: **Rio Frecheiras**, com uma extensão total de 12 km entre o futuro ponto de lançamento dos efluentes e a foz no Rio Una.
- *esgotos de Cabo Frio (ETE margem direita – existente – e ETE margem esquerda – futura)*: **Córrego da Malhada**, com uma extensão total de 11 km entre o futuro ponto de lançamento dos efluentes e a foz no Rio Una.

Nota-se também na figura a existência de outros tributários, os quais não foram simulados, mas entraram na simulação geral do Rio Una, em função do seu aporte de vazão e/ou carga de poluentes.

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA

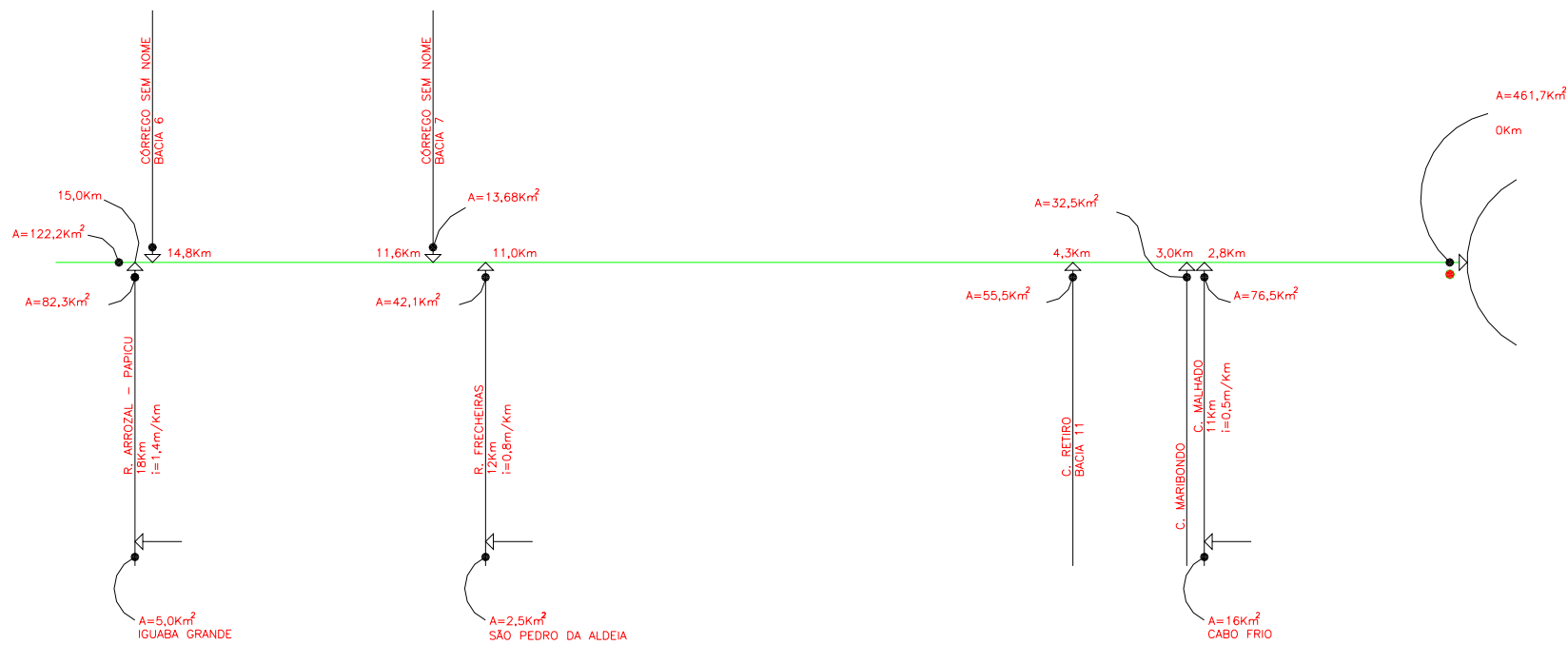


Fig. 2.5. Diagrama unifilar do Rio Una e principais tributários, com distâncias de percurso, declividades médias e áreas de drenagem

3 PONTOS DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES TRATADOS, APÓS REVERSÃO PARA A BACIA DO UNA

Os pontos dos lançamentos dos efluentes tratados, após reversão, foram adotados como os mesmos definidos nos relatórios da GEOPORT, intitulados “*Projeto Estudo de Alternativas para o Lançamento dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto dos Municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Cabo Frio, Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia*”, e elaborados entre dezembro 2004 e agosto 2005. O relatório da GEOPORT contemplou a seleção dos pontos mais adequados para o lançamento dos esgotos tratados nos três tributários, a investigação de possíveis caminhamentos das linhas de recalque e emissários e a verificação da capacidade hidráulica de transporte da nova vazão (utilização da equação de Manning). Não foram efetuados estudos de qualidade das águas dos corpos receptores.

Apresentam-se a seguir descrições resumidas dos futuros pontos de lançamento dos efluentes tratados, após reversão, extraídas dos relatórios da GOEPORT (2005). Incluem-se também fotos dos locais, obtidas em visitas de campo que integraram os presentes estudos. As fotos permitem que se tenha uma noção do porte e de algumas características físicas dos futuros corpos receptores.

a) Efluentes da ETE de Iguaba Grande

Definiu-se como melhor opção para a transposição dos efluentes o trecho que passa pela Fazenda Santana e atravessa a propriedade no sentido aproximadamente S-N até atingir a bacia do Rio Una. Após passar pela Fazenda Santana, o percurso escolhido passa por outra propriedade até chegar ao córrego Arrozal, afluente do córrego Fundo. Trata-se de um córrego perene cujo leito percorre uma região plana formada por pequenas lagoas e brejos até a confluência com o córrego Fundo, que deságua no Rio Papicú, afluente do Rio Una. A distância medida no plano entre a ETE e o ponto de lançamento é de 5070m, porém somente com um levantamento topográfico poderá se precisar o valor real, considerando as ondulações do relevo.

Localização: ver Figura 3.1.

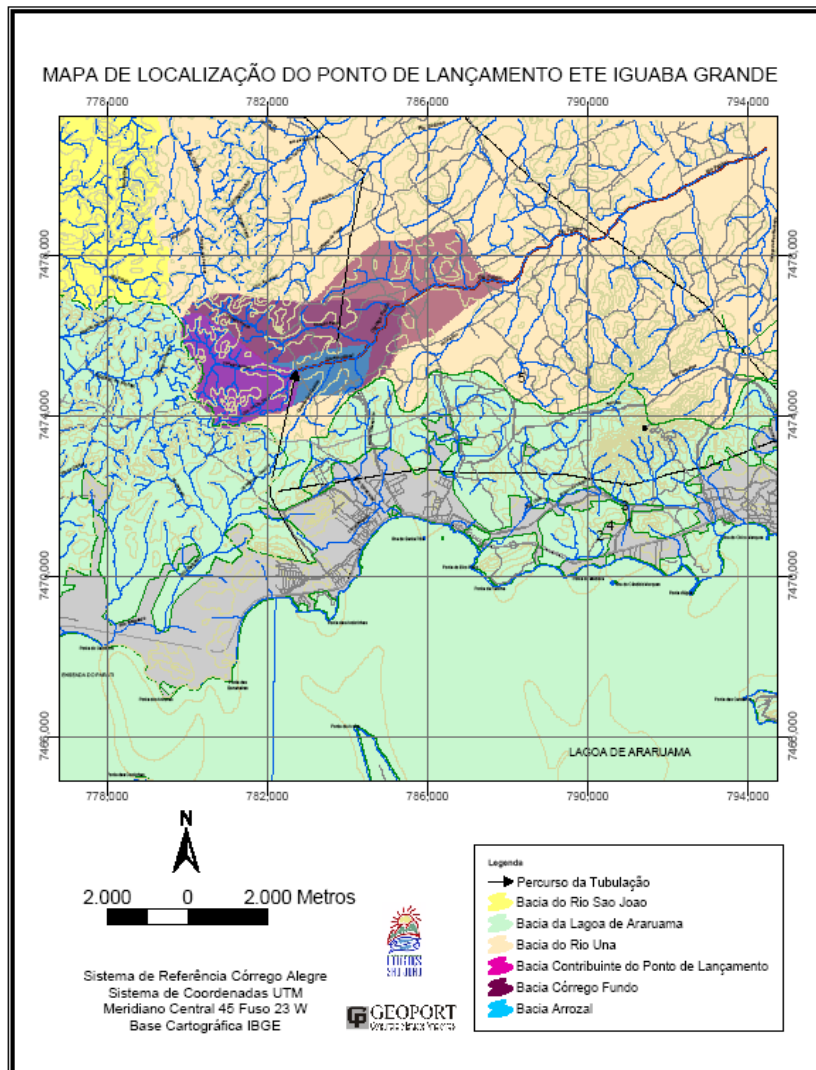


Fig. 3.1. Localização do futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE Iguaba Grande



Fig. 3.2. Córrego Arrozal, próximo ao futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE Iguaba Grande

Fonte: Prolagos (2008)

b) Efluentes da ETE de São Pedro da Aldeia

... A segunda alternativa se situa mais a montante da mesma sub-bacia, próximo à bifurcação do trecho de via que interliga a Rua do Fogo, denominado “waypoint” 64. Em ambas descarta-se o efluente tratado no Rio Frecheiras, após seu cruzamento com as rodovias em questão. Trata-se de área notadamente com características rurais, utilizada basicamente para pastejo. ... A alternativa de descarte no WP 64 se configura como a mais adequada, tendo em vista que o canal de drenagem a partir desse ponto não é obstruído por estrada.

Localização: ver Figura 3.3.

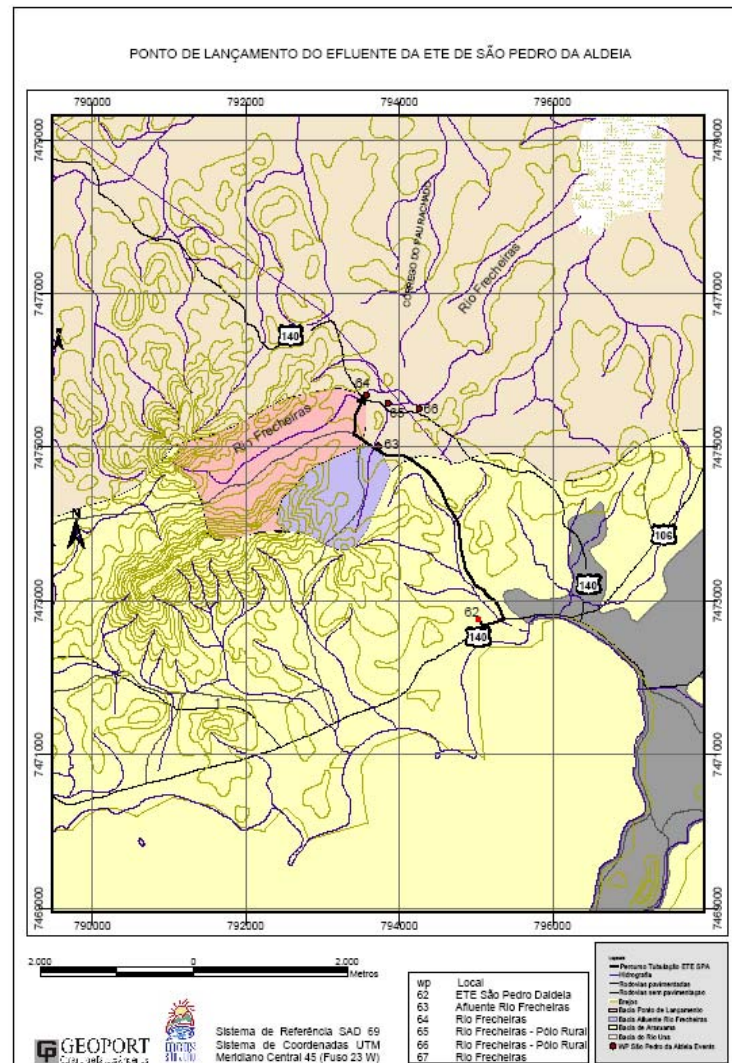


Fig. 3.3. Localização do futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE São Pedro da Aldeia



Fig. 3.4. Rio Frecheiras, próximo ao futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE São Pedro da Aldeia

Fonte: Prolagos (2008)

c) Efluentes da ETE de Cabo Frio

... foi mapeado o ponto 5 que fica na zona rural do município de Cabo Frio. Está localizado numa vala aberta pela prefeitura do município para drenar o esgoto doméstico do bairro de Jardim Esperança. Esta vala drena para um canal do DNOS que atravessa o Pântano da Malhada e deságua no Rio Una. Este ponto configurou-se como a melhor alternativa entre todas as mapeadas.

Localização: ver Figura 3.5.

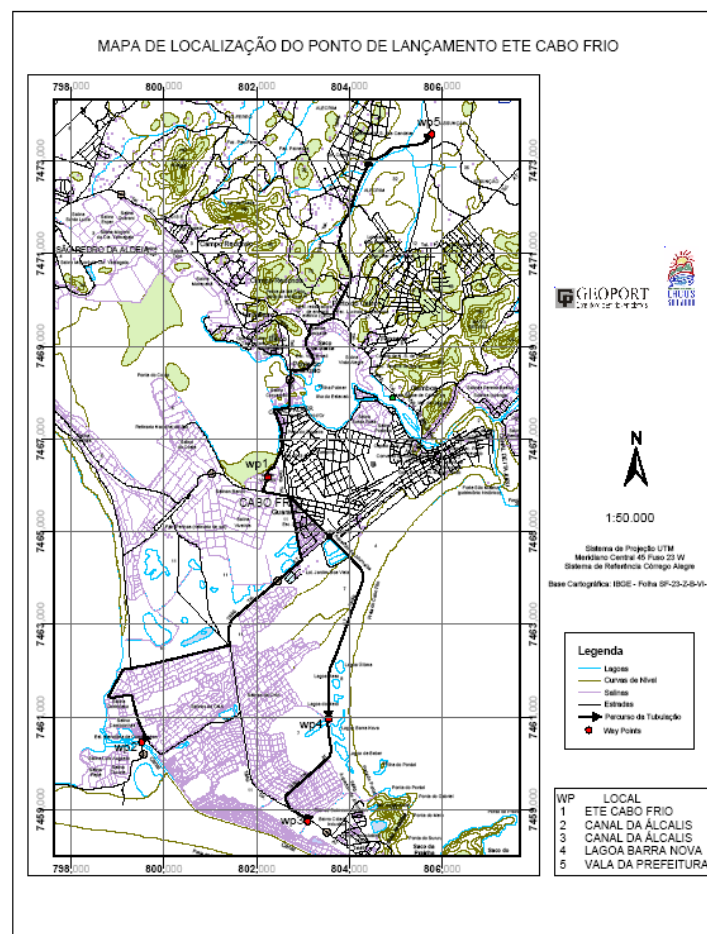


Fig. 3.5. Localização do futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE Cabo Frio



Fig. 3.6. Córrego da Malhada, próximo ao futuro ponto de lançamento dos efluentes da ETE Cabo Frio
Fonte: Prolagos (2008)

4 MODELO MATEMÁTICO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS UTILIZADO

4.1 Preliminares

No presente relatório utilizou-se o modelo matemático em planilha Excel denominado **QUAL-UFGM**. Esta plataforma tem como objetivo possibilitar a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no **QUAL2-E**, desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency* (USEPA, 1985, 1987). O modelo QUAL2-E é mundialmente utilizado para a simulação de rios, sendo amplamente reconhecido por agências ambientais, órgãos financiadores, institutos de pesquisa e firmas de consultoria. Os seguintes livros-texto abordam o modelo QUAL2E: Thomann e Mueller (1987), Chapra (1997) e von Sperling (2007).

As planilhas do QUAL-UFGM tornam possível uma simulação rápida e simples, até mesmo para usuários que desconhecem o modelo QUAL2-E. No entanto, a correta e consciente utilização do modelo pressupõe o conhecimento da teoria apresentada nas referências acima. O QUAL-UFGM encontra-se disponível para download no site:

<http://webmail.desa.ufmg.br/~marcos/index.htm>

As planilhas Excel elaboradas especificamente para este estudo são parte integrante do presente relatório e devem ser consultadas para maiores detalhes acerca das simulações.

4.2 Descrição sucinta do modelo Qual2-E

O modelo QUAL2E é uma versão mais atualizada do modelo QUALII, desenvolvido em 1970 pelo NCASI (National Council for Air and Stream Improvement), juntamente com o Center for Water Quality Modeling (CWQM) da EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este modelo vem sendo utilizado amplamente para alocações de cargas de esgotos, determinações de descargas permissíveis e outras avaliações convencionais sobre poluentes no meio aquático. Tal modelo pode simular os seguintes elementos determinantes da qualidade da água: OD, DBO, temperatura, clorofila a, série nitrogenada, fósforo orgânico e dissolvido, coliformes, constituintes não conservativos e três constituintes conservativos. O princípio básico assumido pelo modelo consiste em considerar as

interações entre os principais fatores que controlam a concentração de oxigênio dissolvido no meio aquático, levando em conta as características hidráulicas e locais do curso de água.

O modelo é aplicável a rios dendríticos que são bem misturados e assume que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão são significativos somente na direção principal do fluxo (eixo longitudinal do rio).

A representação conceitual do modelo envolve uma idealização gráfica do curso de rio a ser modelado, dividindo-o em trechos, e estes, em elementos computacionais de igual comprimento. Para cada um destes elementos é atribuída uma vazão de entrada que transporta as características relativas aos diversos constituintes a serem modelados. Os elementos são considerados como reatores de mistura completa, cuja sucessão permite representar a evolução da qualidade das águas ao longo do sistema.

Cada elemento pode ter suas características alteradas em função de lançamento de cargas pontuais e distribuídas, de captações de água de recarga ou descarga hidrogeológica, interagindo ainda com o ambiente quanto às trocas de calor. Assim, o fluxo do corpo d'água, considerando-se seus aspectos hidrológicos e regido pelas constantes dos fenômenos biológicos e físico-químicos (taxas de decaimento, taxas de crescimento, taxas de fontes e demandas bentônicas, etc), pode ser conceitualmente representado através de balanços de massa e vazão de seus diversos elementos computacionais constituintes.

A equação de transporte de massa empregada pelo modelo QUAL2E é uma equação numericamente integrada no espaço e tempo para cada constituinte de qualidade de água, incluindo os efeitos da advecção, dispersão, diluição, reação e interação entre os constituintes, além de acréscimos e retiradas de vazão. Para cada constituinte C, esta equação pode ser escrita como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x \cdot D_L \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_x \cdot \bar{u} C)}{\partial x} dx + (A_x \cdot dx) \frac{dC}{dt} + s \quad (4.1)$$

onde:

M = massa

t = tempo

x = distância

C = concentração

A_x = área da seção transversal

D_L = coeficiente de dispersão longitudinal

\bar{u} = velocidade média

s = entradas e saídas

A equação utilizada é a simplificação unidimensional da equação geral de transporte de massa derivada no tempo e no espaço. É assumido o fluxo estacionário, isto é, fazendo a derivada da vazão Q em relação aos intervalos infinitesimais de tempo igual a zero, simplificando a derivada de massas pelo tempo como o produto de um volume incremental pela derivada da concentração do constituinte em relação ao tempo. Assim, representam-se unidimensionalmente os mecanismos de dispersão, advecção, mudanças nos constituintes e lançamentos ou captações, além da eventual diluição. As mudanças nos constituintes e o gradiente local de concentração são calculados respectivamente como derivadas parciais e totais em relação ao tempo. Uma vez assumido um volume computacional de mistura

homogênea, a derivada local é nula. Isso permite definir como ocorrem as mudanças nos constituintes individuais ou partículas independentes dos demais mecanismos (Bittencourt *et al.*, 1995).

4.3 Descrição sucinta do modelo QUAL-UFMG

O QUAL-UFMG possibilita a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio:

- demanda bioquímica de oxigênio
- oxigênio dissolvido
- nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato)
- fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico)
- coliformes termotolerantes (fecais) ou *E. coli*

A Figura 4.1 ilustra as principais inter-relações entre os constituintes modelados. Esta estrutura é bastante similar à do QUAL2-E, mas contém a simplificação de *não se incluem as algas e todas suas inter-relações com os demais constituintes*. Esta opção foi para simplificar o modelo, já que a representação dos processos que envolvem as algas é extremamente complexa e os valores dos coeficientes são de difícil determinação. As algas são mais importantes na simulação de ambientes lânticos, mas, no caso de rios, a maior parte dos usuários do modelo QUAL2-E opta por não incluir o componente das algas.

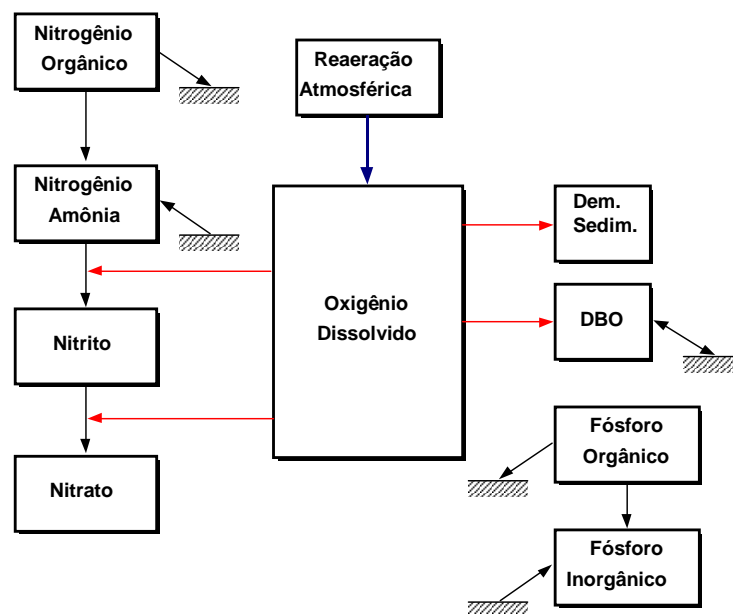


Fig. 4.1. Representação esquemática dos constituintes simulados no modelo QUAL-UFMG e de suas inter-relações.

Outras simplificações introduzidas são:

- *Não consideração da dispersão longitudinal*. Conforme comprovado em outros estudos com o QUAL2-E, o efeito da dispersão longitudinal (mistura do líquido com compartimentos de montante e jusante) pode ser desprezado na maior parte das simulações que envolvem rios. No entanto, na presente simulação do Rio Una, a dispersão longitudinal e a influência das marés podem ser

importantes em determinados trechos. Entretanto, sua inclusão elevaria sobremaneira o grau de complexidade do modelo, razão pela qual se optou pela versão mais simplificada do QUAL-UFMG. No futuro, caso se necessite fazer estudos mais aprofundados e demorados, esses elementos podem ser considerados, com a utilização de modelos mais sofisticados.

- *Integração pelo método de Euler.* Esta é a forma de integração mais simples, e de fácil compreensão pelo usuário na planilha Excel. A principal desvantagem é a necessidade de curtos passos de integração (representados pela extensão dos segmentos em que o rio é dividido). Pelo fato do modelo QUAL-UFMG não ter grandes requisitos computacionais, podem ser adotadas curtas distâncias de integração, sem que isso gere tempos de cálculo excessivos. De fato, o cálculo é praticamente instantâneo, na maioria dos PCs. Na presente simulação, foi adotada como elemento de integração a distância de 100 m, considerada suficiente para os objetivos do estudo.

O modelo QUAL-UFMG já foi usado nas simulações de diversos cenários para os cursos d'água componentes do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Acredita-se que, por sua facilidade de uso, pela simples interface, pelos gráficos gerados e por estar no idioma português, possa ser usado em grande parte das aplicações em que tradicionalmente se usa o QUAL2-E (ou sua versão mais recente, QUAL2-K).

Os resultados podem ser facilmente visualizados através dos gráficos contidos nas planilhas do programa (abaixo das linhas com as simulações). O atendimento à legislação é também coberto, sendo expresso pelo percentual da distância de percurso em cumprimento com a legislação, para cada parâmetro de qualidade simulado.

Todas as equações do modelo encontram-se detalhadas nas planilhas Excel do QUAL-UFMG, as quais são parte integrante do presente relatório. A título de esclarecimento, apresentam-se a seguir as principais equações, acrescentando-se que a definição dos coeficientes do modelo e os valores adotados estão apresentados no Item 6. As variáveis estão definidas nas planilhas.

- *DBO carbonácea* (4.2)

dL/dt	=	-	$K_d \cdot L$	-	$K_s \cdot L$	+	L_{rd}
Acumulação			Decaimento		Sedimentação		Carga difusa

Obs:

$$-K_d \cdot L - K_s \cdot L = -(K_d + K_s) \cdot L = -K_T \cdot L$$

Para obtenção da DBO₅, dividir os valores de L por K_T

- *Déficit de OD* (4.3)

dD/dt	=	-	$K_2(C_s - C)$	+	$K_d \cdot L$	+	S_d	-	F	+	R	+	$R_{O2amon} \cdot (f_{nitr} \cdot K_{an}) \cdot N_{amon}$
Acumulação			Reaeração		Decomposição		Demanda do sedimento		Fotos-síntese		Respi- ração		Nitrificação

- *Oxigênio dissolvido* (4.4)

dC/dt	=	$K_2(C_s - C)$	-	$K_d \cdot L$	-	S_d	+	F	-	R	-	$R_{O2amon} \cdot (f_{nitr} \cdot K_{an}) \cdot N_{amon}$
Acumulação		Reaeração		Decomposição		Demanda do sedimento		Fotos-síntese		Respi- ração		Nitrificação

- *Nitrogênio orgânico*

$$\frac{dN_{org}}{dt} = -K_{oa} \cdot N_{org} - K_{so} \cdot N_{org}$$

Acumulação = - Amonificação - Sedimentação

(4.5)

- *Amônia*

$$\frac{dN_{amon}}{dt} = K_{oa} \cdot N_{org} - K_{an} \cdot N_{amon} + \frac{S_{Namon}}{H}$$

Acumulação = Amonificação - Nitrificação + Liberação pelo sedimento de fundo

(4.6)

- *Nitrito*

$$\frac{dN_{nitri}}{dt} = K_{an} \cdot N_{amon} - K_{nn} \cdot N_{nitri}$$

Acumulação = Nitrificação

(4.7)

- *Nitrato*

$$\frac{dN_{nitra}}{dt} = K_{nn} \cdot N_{nitri}$$

Acumulação = Nitrificação

(4.8)

- *Nitrogênio total*

$$N_{tot} = N_{org} + N_{amon} + N_{nitri} + N_{nitra}$$
(4.9)

- *Fósforo orgânico*

$$\frac{dP_{org}}{dt} = -K_{oi} \cdot P_{org} - K_{spo} \cdot P_{org}$$

Acumulação = - Conversão $P_{org} \rightarrow P_{inorg}$ - Sedimentação

(4.10)

- *Fósforo inorgânico*

$$\frac{dP_{inorg}}{dt} = K_{oi} \cdot P_{org} + \frac{S_{Pinorg}}{H}$$

Acumulação = Conversão $P_{org} \rightarrow P_{inorg}$ + Liberação pelo sedimento de fundo

(4.11)

- *Coliformes*

$$\frac{dN}{dt} = -K_b \cdot N$$
(4.12)

Uma detalhada descrição do modelo pode ser encontrada em von Sperling (2007).

5 CENÁRIOS CONSIDERADOS PARA A SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

De forma a ampliar o alcance dos estudos, foram estudados distintos cenários que diferenciam a época, as condições dos corpos receptores e as características dos esgotos tratados. Deve-se ter sempre em mente que todo modelo matemático tem um grau de incerteza na representação da realidade, e que os resultados não devem ser encarados como valores numéricos precisos, mas sim como tendências ou faixas de valores. A construção de cenários auxilia nesse entendimento, por produzir uma envoltória, dentro da qual se acredita que a futura realidade possa se situar.

O Quadro 5.1 apresenta os cenários idealizados.

Quadro 5.1. Cenários das simulações de qualidades das águas efetuadas no Rio Una e tributários

Cenário	Período	Condição geral da qualidade das águas dos rios	Reversão dos esgotos para a bacia do Una?	Tratamento com remoção de nutrientes (N e P)?
1	Atual	Rios bastante poluídos	Não	Sim
2			Sim	Sim
3	Futura	Rios bastante poluídos	Não	Sim
4			Sim	Sim
5			Não	
6		Rios pouco poluídos	Não	Sim
7			Sim	Sim
8			Sim	Não

Os cenários **1** e **2** buscam representar uma condição próxima à atual. Nas condições **atuais**, os principais corpos d'água encontram-se **bastante poluídos**, como atestado pelos resultados das análises de água efetuadas nas amostras coletadas como parte integrante do presente estudo. Avalia-se aqui o impacto da reversão dos esgotos, com o cenário **1** simulando a qualidade dos rios sem o recebimento dos esgotos, ou seja, **sem reversão para a bacia do Una** (vazão de esgotos igual a zero) e o cenário **2** simulando a qualidade dos rios **com o lançamento dos esgotos**.

As condições **futuras** (vazões de esgoto de projeto, em final de plano – ano 2023) são retratadas nos cenários **3** a **8**. Nas condições futuras, admitiram-se cenários (**3, 4 e 5**) em que os corpos d'água receptores permaneceriam **bastante poluídos**, e cenários (**6, 7 e 8**), em que os corpos d'água, por meio de diversas ações na bacia, estariam **pouco poluídos**. Também nas condições futuras investigou-se a situação de **não se ter reversão dos esgotos para a bacia do Una** (cenários **3** e **6**) e de **se ter a reversão** (cenários **4, 5, 7 e 8**).

Em quase todos os cenários (com exceção dos cenários **5** e **8**), assumiu-se que os efluentes das ETEs cumprissem com todos os requisitos de elevada qualidade e **atendimento aos rigorosos padrões de lançamento, incluindo a remoção dos nutrientes N e P**. Nestas condições, assumiu-se que os efluentes teriam as seguintes concentrações médias: DBO = 40 mg/L, Nitrogênio Total = 10 mg/L, Fósforo Total = 1,0 mg/L e Coliformes Fecais (Termotolerantes) = 1.000 NMP/100mL. No entanto, nos cenários **5** e **8** avaliou-se o impacto de se lançarem efluentes que, apesar de ótima qualidade do ponto de vista de matéria orgânica (DBO = 40 mg/L) e bacteriológica (coliformes termotolerantes =

1000 NMP/100mL), **não foram submetidos a etapas específicas de remoção de nutrientes** (N = 20 mg/L e P = 3,0 mg/L). Estes dois cenários visam a avaliar a real necessidade da remoção de nutrientes nas ETEs, para lançamento em corpos d'água lóticos, como os rios em questão.

6 DADOS DE ENTRADA DO MODELO

6.1 Vazões dos cursos d'água

Nas simulações foi adotada a vazão de referência $Q_{7,10}$. A $Q_{7,10}$ é a vazão mínima com um *período de retorno de 10 anos e período de duração de 7 dias consecutivos*. No caso de vazões mínimas, o período de retorno é o tempo médio, em anos, necessário para que ocorram vazões menores ou iguais a um certo valor, uma vez, em um ano qualquer.

O valor da $Q_{7,10}$ adotado para a bacia do Una foi obtido por meio de estudos de regionalização, tendo por base a bacia do São João. Os estudos utilizados foram da CPRM (2002) – *Estudo de regionalização de vazões. Região homogênea 59 (Bacia do São João)*. A equação obtida no estudo da CPRM é:

$$Q_{\min} = K \times 0,018 \times A^{1,0168} \times d^{0,0860} \quad (6.1)$$

onde:

Q_{\min} = vazão mínima (m^3/s)

K = coeficiente de correção para tempo de retorno de 10 anos = 0,7157

A = área da bacia de drenagem (km^2)

d = duração da mínima (7 dias, para $Q_{7,10}$)

Por meio de rearranjo e simplificações na equação acima, obtém-se a equação geral que dá a $Q_{7,10}$ expressa como descarga específica ($L/s.km^2$):

$$Q_{7,10} (L/s.km^2) = 9,98 \times A^{0,0168} \quad (6.2)$$

Na equação, observa-se a pequena influência da área de drenagem no valor da vazão (expoente próximo a zero), e que a $Q_{7,10}$ específica tem um valor próximo a 10 $L/s.km^2$, considerado bastante elevado.

As áreas de drenagem do Rio Una e tributários foram medidas em planta do IBGE, escala 1:50.000.

As vazões eram calculadas no trecho inicial e no trecho final da simulação, por meio das respectivas áreas das bacias de drenagem. A área de contribuição direta (vazão incremental) era calculada como a diferença entre a área final e a área de todas as contribuições (incluindo eventuais tributários e a área inicial). A **vazão incremental** (m^3/s por km de extensão) era calculada como:

$$Q_{\text{incremental}} (m^3/s \text{ por km}) = \frac{\text{Área incremental } (km^2) \times \text{Descarga específica } (L/s.km^2)}{1000 (L/m^3) \times \text{Distância do trecho } (km)} \quad (6.3)$$

A consideração da vazão incremental ao longo do trecho é importante, não só pelo acréscimo de vazão no percurso, mas também pelo aporte de constituintes e poluentes. Todos os constituintes modelados foram considerados também na vazão incremental.

6.2 Vazões de esgotos

As vazões de esgotos consideradas foram as vazões **médias anuais** de **primeira etapa** (*condições atuais*) e de **final de plano** (ano 2023) (*condições futuras*). Estas vazões basearam-se nos últimos estudos efetuados para a área, incluindo as atualizações do Plano Diretor de Esgotos e os manuais de operação das ETEs, e sofreram eventuais pequenos ajustes, em função da disponibilização de novas informações. As vazões encontram-se apresentadas no Quadro 6.1.

Quadro 6.1. Vazões de esgotos adotadas nas simulações

ETE	Vazão média anual de esgotos em 1ª etapa (L/s)	Vazão média anual de esgotos em final de plano – ano 2023 (L/s)
Iguaba Grande	40	40
São Pedro da Aldeia	50	140
Cabo Frio Margem Direita Canal Itajurú	200	200
Cabo Frio Margem Esquerda Canal Itajurú (*)	50	100

(*) ETE Cabo Frio ME Canal Itajurú: ETE a implantar

6.3 Características hidráulicas dos cursos d'água

Foram efetuadas medições expeditas em campo, visando a determinar a seção dos cursos d'água, e principalmente a **largura de fundo (B)**, em m). Naturalmente que se sabe que a largura dos trechos varia ao longo do percurso, mas adotaram-se, no presente estudo, valores médios.

Também com base nas vistorias de campo, adotaram-se valores médios para a **inclinação da parede lateral do canal Z** (em m/m, horizontal/vertical).

Os valores das **declividades médias (i)**, em m/m) foram obtidos de perfis longitudinais efetuados com base em plantas plani-altimétricas do IBGE em escala 1:50.000.

Os valores destas características morfométricas encontram-se apresentados no Quadro 6.2.

Quadro 6.2. Características morfométricas dos cursos d'água estudados

Característica	R. Una	R. Arrozal	R. Frecheiras	C. Malhada
Declividade i (m/m)	6,00E-04	6,00E-04	1,10E-03	5,00E-04
Largura do fundo B (m)	10,0	3,0	3,0	15,0
Inclinação da parede lateral Z (m/m)	1,0	0,0	1,0	0,0

As velocidades e as profundidades da lâmina d'água foram calculadas utilizando-se a equação de Manning. O coeficiente de rugosidade adotado foi $n = 0,045$, igual ao utilizado nos estudos da GEOPORT (2005).

Para cada curso d'água, foram estabelecidas equações de ajuste da velocidade e da profundidade em função da vazão, de acordo com uma equação potencial do tipo $y = a.x^b$. A metodologia para tal está descrita em von Sperling (2007) e encontra-se na planilha Excel *Manning*, disponível para download no site: <http://webmail.desa.ufmg.br/~marcos/index.htm>

Os coeficientes das equações de ajuste obtidas estão apresentadas no Quadro 6.3. A Figura 6.1 apresenta, a título de exemplificação, as equações de ajuste obtidas para o Rio Una.

Quadro 6.3. Valores dos coeficientes das equações de ajuste entre velocidade e profundidade com a vazão

Curso d'água	Equação da velocidade: $v = a.Q^b$		Equação da profundidade: $H = c.Q^d$	
	a	b	c	d
R. Una	0,261	0,379	0,355	0,592
R. Arrozal	0,353	0,346	0,943	0,654
R. Frecheiras	0,442	0,351	0,567	0,573
C. Malhada	0,214	0,385	0,311	0,615

Coeficientes determinados usando a equação de Manning (ver von Sperling, 2007)

v = velocidade média (m/s)

H = profundidade da lâmina d'água (m)

Q = vazão (m^3/s)

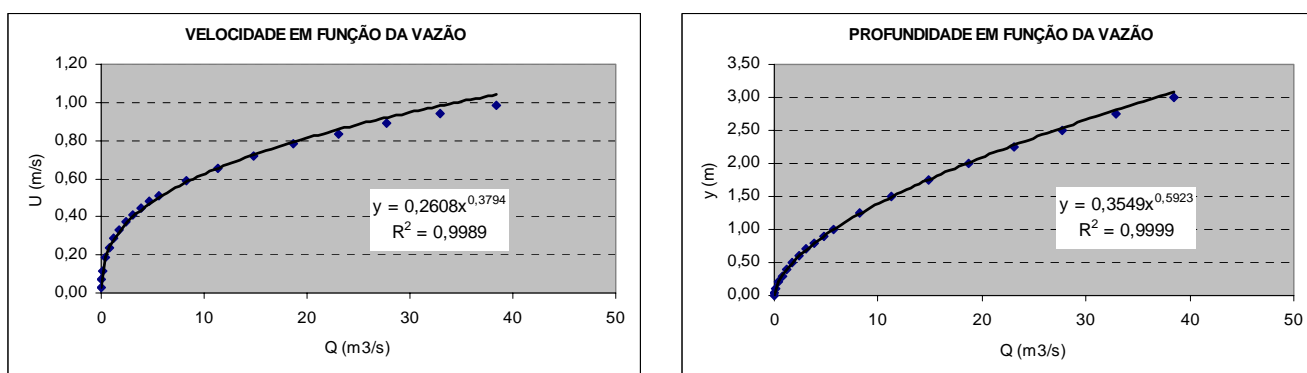


Fig. 6.1. Funções de ajuste da velocidade e profundidade com a vazão para o Rio Una, determinadas segundo a equação de Manning

6.4 Qualidade da água nos trechos de montante e na vazão incremental

O modelo matemático necessita os valores de qualidade da água nos seguintes pontos:

- trecho inicial em cada curso d'água simulado (a montante do lançamento dos esgotos)
- tributários não simulados, no ponto de entrada no rio simulado
- vazões incrementais

Para subsidiar a adoção de valores que melhor se aproximem da realidade, foram efetuadas coletas de amostras de água em vários pontos da bacia estudada. As análises foram efetuadas em laboratório contratado para tal. A Figura 6.2 apresenta resultados de uma campanha, em que os valores hachurados dizem respeito aos pontos de montante nos três tributários.

RESULTADO DE ANÁLISE DE ÁGUA

INTERESSADO	
CONCESSIONÁRIA PROLAGOS	
TIPO DE COLETA	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
	C. Arrozal - 18 km da foz (condições iniciais C. Arrozal)
Simples	C. Frecheiras - 12 km da foz (condições iniciais C. Frecheiras)
	C. Frecheiras - 11 km da foz
	C. Malhada - 11 km da foz (condições iniciais C. Malhada)
	C. Malhada - montante R. Una
Coletor	Data Coleta
O próprio	16/01/2008
RESPONSÁVEL TÉCNICO	
Cláudia M. A. Melo - CRB 32713-02	

RESULTADOS						
-------------------	--	--	--	--	--	--

PARÂMETROS	UNIDADE	C. Arrozal - 18 km da foz	C. Frecheiras - 12 km da foz	C. Frecheiras - 11 km da foz	C. Malhada - 11 km da foz	C. Malhada - montante foz
Temperatura	°C	30,8	27,5	31,5	29,5	29,9
Cloreto	mg/l	110	130	110	380	530
DQO	mg/l	180	130	130	230	200
DBO	mg/l	78	58	52	60	64
Fósforo Total	mg/l	4,5	4,0	3,9	3,9	5,4
MBAS	mg/l	0,5	0,4	0,3	1,8	0,30
Nitrogenio Total	mg/l	14	15	16	12	12
Oleos e Graxas	mg/l	6	<4	<4	<4	<4
pH	mg/l	7,76	7,79	7,75	8,01	7,50
RNFT	mg/l	35	29	60	62	52
RNFF	mg/l	26	22	36	43	40
RNFV	mg/l	9	7	24	19	12
Coliformes Totais	NMP/100ml	2,5X10 ⁴	2,9X10 ⁴	3,1X10 ⁴	6,5x10 ⁴	6,8x10 ⁴
Coliformes Fecais	NMP/100ml	1,6X10 ⁴	6,0X10 ³	7,5X10 ³	3,9x10 ³	8,1x10 ³

Cláudia M A Melo
CRB32.713/02

Fig. 6.2. Resultados de análise de água em pontos de interesse

Os valores apresentados na Figura 6.2 ressaltam o elevado grau de poluição dos cursos d'água, lembrando que essas condições são as atuais de campo, sem a reversão futura dos esgotos. Esses valores serviram de base para caracterizar os cenários com os cursos d'água "bastante poluídos".

Os valores adotados nas simulações variam com os cenários, e são apresentados nos diagramas unifilares exibidos no Item 6.7.

6.5 Concentrações nos esgotos tratados lançados nos corpos d'água

Conforme descrito no Item 5, em quase todos os cenários (com exceção dos cenários 5 e 8), assumiu-se que os efluentes das ETEs cumprissem com todos os requisitos de elevada qualidade e **atendimento aos rigorosos padrões de lançamento, incluindo a remoção dos nutrientes N e P**. Nestas condições, assumiu-se que os efluentes teriam as seguintes concentrações médias: DBO = 40 mg/L, Nitrogênio Total = 10 mg/L, Fósforo Total = 1,0 mg/L e Coliformes Fecais (Termotolerantes) = 1.000 NMP/100mL.

No entanto, nos cenários **5 e 8** avaliou-se o impacto de se lançarem efluentes que, apesar de ótima qualidade do ponto de vista de matéria orgânica (DBO = 40 mg/L) e bacteriológica (coliformes termotolerantes = 1000 NMP/100mL), **não foram submetidos a etapas específicas de remoção de nutrientes** (N = 20 mg/L e P = 3,0 mg/L). Estes dois cenários visam a avaliar a real necessidade da remoção de nutrientes nas ETEs, para lançamento em corpos d'água lóticos, como os rios em questão.

Para a utilização dos modelos Qual2E e QUAL-UFMG é necessário um maior detalhamento nas frações de nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e fósforo (fósforo orgânico e fósforo inorgânico). Os valores adotados para essas frações são apresentados nos diagramas unifilares exibidos no Item 6.7.

6.6 Coeficientes do modelo

Os coeficientes dos modelos seguiram os valores recomendados em USEPA (1985), Thomann e Mueller (1987), Chapra (1997) e von Sperling (2007). Os quadros 6.4 a 6.7 listam os valores adotados.

Quadro 6.4. Coeficientes dos modelos de OD e DBO e outros dados de entrada

Símbolo	Símbolo no QUAL2E	Descrição	Unidade	Valor usual (20° C)	Valor adotado (20° C)	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
K_1	-	Coeficiente de desoxigenação (laboratório)	d^{-1}	0,12 a 0,24 (curso d'água recebendo efluente secundário)	0,18	1,047
K_d	K_1	Coeficiente de decomposição da DBO (campo)	d^{-1}	0,12 a 0,24 (curso d'água recebendo efluente secundário)	0,18	1,047
K_s	K_3	Coeficiente de remoção de DBO por sedimentação	d^{-1}	0 (curso d'água recebendo efluente secundário)	0,00	1,024
K_r	-	Coeficiente de remoção de DBO por decomposição e sedimentação	d^{-1}	$K_r = K_d + K_s$	0,18	Ver θ para K_d e K_s
K_T	-	Coeficiente de conversão entre a DBO_5 e a DBO última	-	$K_T = \frac{DBO_u}{DBO_5} = \frac{1}{1 - e^{-5.K_1}}$	1,69	-
L_{rd}	-	Taxa de entrada de DBO difusa na massa líquida	mgDBO/L.d	Variável	0,00	-
K_2	K_2	Coeficiente de reaeração	d^{-1}	Equação de Tsvoglou e Wallace, para rios médios (Q entre 0,3 e 8,5 m^3/s) rasos: $K_2 = 15,4 \cdot v \cdot i$, onde: v = velocidade do curso d'água (m/s); i = declividade do curso d'água (m/km)	Valor calculado em função de v e i	1,024
S_d	K_4/H	Demanda de oxigênio pelo sedimento	mgO ₂ /L.d	Variável	0,00	1,060
F	$\alpha_5 \cdot \mu \cdot A$	Taxa de produção de oxigênio por fotossíntese por algas e macrófitas	mgO ₂ /L.d	Variável	0,00	1,047
R	$\alpha_4 \cdot \rho \cdot A$	Taxa de consumo de oxigênio pela respiração de algas e macrófitas	mgO ₂ /L.d	Variável	0,00	1,047
C_s	O^*	Concentração de saturação de OD	mg/L	$C_s = 14,652 - 4,1022 \times 10^{-1} \cdot T + 7,9910 \times 10^{-3} \cdot T^2 - 7,7774 \times 10^{-5} \cdot T^3$, onde: T = temperatura do líquido (°C)	Valor calculado em função de T	-

Obs: mg/L.d = $g/m^3 \cdot d$

Correção do coeficiente de reação para diferentes temperaturas: $K_{(T^\circ C)} = K_{(20^\circ C)} \cdot \theta^{(T-20)}$

Quadro 6.5. Coeficientes do modelo de nitrogênio

Símbolo	Símbolo no QUAL2E	Descrição	Unidade	Valores usuais do coeficiente (20° C)	Valor adotado (20° C)	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
K_{so}	σ_4	Coef. de sedimentação do N orgânico	d^{-1}	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Remansos</i>: 0,10 d^{-1} • <i>Rios lentos</i>: águas naturais a moderadamente poluídas: 0,05 d^{-1}; águas fortemente poluídas: 0,10 d^{-1} • <i>Rios rápidos</i>: águas naturais: 0,02 d^{-1}; águas moderadamente poluídas: 0,05 d^{-1}; águas fortemente poluídas: 0,10 d^{-1} • <i>Corredeiras</i>: 0,00 d^{-1} 	0,05	1,024
K_{oa}	β_3	Coef. de conversão do N orgânico a amônia	d^{-1}	0,20 a 0,25	0,20	1,047
K_{an}	β_1	Coef. de conversão da amônia a nitrito	d^{-1}	0,15 a 0,25	0,20	1,080
K_{nn}	β_2	Coef. de conversão do nitrito a nitrato		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cursos d'água profundos</i>: 0,10 a 0,50 d^{-1} • <i>Cursos d'água rasos</i>: 0,20 a 1,00 d^{-1} ou mais • Segundo Thomann e Mueller: os valores de K_{an} são similares aos do coeficiente K_d (decomposição da DBO), incluindo a distinção entre rios rasos e profundos 	0,75	1,047
S_{amon}	σ_3	Fluxo de liberação de amônia pelo sedimento de fundo	$g/m^2.d$	0,00 a 0,50 (menores valores para rios rápidos e limpos)	0,00	1,074
f_{nitr}	CORDO	Fator de correção do coeficiente de nitrificação em função do OD	-	$f_{nitr} = 1 - e^{-K_{nitrOD} \cdot OD}$	Valor calculado em função de OD	-
K_{nitrOD}	K_{NITRIF}	Coeficiente de inibição da nitrificação por baixo OD (equação de f_{nitr})	L/mg	0,60	0,60	-
R_{O2amon}	α_5	Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de amônia oxidada a nitrito	mgO_2/mg Namon	3,2 a 3,3	3,30	-
$R_{O2nitri}$	α_6	Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de nitrito oxidado a nitrato	mgO_2/mg Nnitri	1,1	1,10	-

Obs: $mg/L.d = g/m^3.d$

Correção do coeficiente de reação para diferentes temperaturas: $K_{(T^\circ C)} = K_{(20^\circ C)} \cdot \theta^{(T-20)}$

Quadro 6.6. Coeficientes do modelo de fósforo

Símbolo	Símbolo no QUAL2E	Descrição	Unidade	Valores intermediários do coeficiente (20° C)	Valor adotado (20° C)	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
K_{spo}	σ_5	Coef. de sedimentação do P orgânico	d^{-1}	0,02 a 0,05	0,02	1,024
K_{oi}	β_4	Coef. de conversão do P orgânico a P inorgânico	d^{-1}	0,2 a 0,3	0,27	1,047
S_{Pinorg}	σ_2	Fluxo de liberação de P inorgânico pelo sedimento de fundo	$g/m^2.d$	0,0 a 0,2	0,00	1,074

Quadro 6.7. Coeficientes do modelo de coliformes

Símbolo	Símbolo no QUAL2E	Descrição	Unidade	Valores intermediários do coeficiente (20° C)	Valor adotado (20° C)	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
K_b	K_b	Coef. de decaimento bacteriano	d^{-1}	0,50 a 1,50	1,00	1,07

6.7 Síntese dos principais dados em diagramas unifilares

As figuras 6.3 a 6.10 apresentam uma síntese de dados de entrada para cada cenário, na forma de diagramas unifilares do sistema hidrográfico.

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

CONDIÇÕES ATUAIS (1a etapa)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)

VAZÕES DE ESGOTO: 0 m³/s (sem lançamento na bacia do Rio Una)

TRIBUTÁRIOS: BASTANTE POLUIDOS (DADOS MONITORAMENTO ARREDONDADOS)

VAZÃO INCREMENTAL: CONCENTRAÇÃO IGUAL TRIBUTÁRIOS

Esgotos Iguaba Grande

Q (m ³ /s) =	0,000
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Vazão incremental no R. Arrozal-Papicu

A incremental (km ²) =	77,3
Q incremental (m ³ /s) =	0,830
Q incr (m ³ /s por km) =	0,046
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

Rio Una a montante

A (km ²) =	122,2
Q (m ³ /s) =	1,323
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

R. Arrozal-Papicu a montante

A (km ²) =	5,0
Q (m ³ /s) =	0,051
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

Distância (km) =	18
Declividade (m/m) =	0,0006
Largura base (m) =	3,00

km 0,0

Córrego Sem Nome (Bacia 6)

A (km ²) =	15,5
Q (m ³ /s) =	0,162
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

Esgotos São Pedro da Aldeia

Q (m ³ /s) =	0,000
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Vazão incremental no R. Frecheiras

A incremental (km ²) =	39,6
Q incremental (m ³ /s) =	0,421
Q incr (m ³ /s por km) =	0,035
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

km 3,4

Córrego Sem Nome (Bacia 7)

A (km ²) =	13,7
Q (m ³ /s) =	0,143
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

R. Frecheiras a montante

A (km ²) =	2,5
Q (m ³ /s) =	0,025
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

Distância (km) =	12
Declividade (m/m) =	0,0011
Largura base (m) =	3,00

Vazão incremental R. Una

A incremental (km ²) =	21,4	(sem tributários)
Q incremental (m ³ /s) =	0,225	
Q incr (m ³ /s por km) =	0,015	
Comprimento total (km) =	15	
OD (mg/L) =	4,00	
DBO (mg/L) =	60	
N-org (mg/L) =	7,0	
N-amon (mg/L) =	3,0	
N-nitrito (mg/L) =	0,0	
N-nitrato (mg/L) =	2,0	
P-org (mg/L) =	2,00	
P-inorg (mg/L) =	2,00	
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03	

Córrego Retiro (Bacia 11)

A (km ²) =	55,5
Q (m ³ /s) =	0,593
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

km 11,7

Córrego Marimbondo

A (km ²) =	32,5
Q (m ³ /s) =	0,344
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

Vazão incremental no C. Malhada

A incremental (km ²) =	60,5
Q incremental (m ³ /s) =	0,647
Q incr (m ³ /s por km) =	0,059
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

Declividade (m/m) =	0,0006
Largura base (m) =	10,00

km 12,0

Esgotos Cabo Frio

Q (m ³ /s) =	0,000
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Distância (km) =	11
Declividade (m/m) =	0,0005
Largura base (m) =	15,00

km 12,2

C. Malhada a montante

A (km ²) =	16,0
Q (m ³ /s) =	0,167
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

A (km²) = 461,7

km 15,0



Fig. 6.3. Cenário 1. Diagrama unifilar

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

CONDIÇÕES ATUAIS (1a etapa)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)

VAZÕES DE ESGOTO: DADOS DO PLANEJAMENTO (1a etapa)

TRIBUTÁRIOS: BASTANTE POLUIDOS (DADOS MONITORAMENTO ARREDONDADOS)

VAZÃO INCREMENTAL: CONCENTRAÇÃO IGUAL TRIBUTÁRIOS

Esgotos Iguaba Grande

Q (m3/s) =	0,040
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Vazão incremental no R. Arrozal-Papicu

A incremental (km2) =	77,3
Q incremental (m3/s) =	0,830
Q incr (m3/s por km) =	0,046
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

Rio Una a montante

A (km2) =	122,2
Q (m3/s) =	1,323
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

R. Arrozal-Papicu a montante

A (km2) =	5,0
Q (m3/s) =	0,051
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

Distância (km) =	18
Declividade (m/m) =	0,0006
Largura base (m) =	3,00

km 0,0

Córrego Sem Nome (Bacia 6)

A (km2) =	15,5
Q (m3/s) =	0,162
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	80
N-org (mg/L) =	8,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,50
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	1,50E+04

km 0,2

Esgotos São Pedro da Aldeia

Q (m3/s) =	0,050
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Vazão incremental no R. Frecheiras

A incremental (km2) =	39,6
Q incremental (m3/s) =	0,421
Q incr (m3/s por km) =	0,035
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

Córrego Sem Nome (Bacia 7)

A (km2) =	13,7
Q (m3/s) =	0,143
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

km 3,4

R. Frecheiras a montante

A (km2) =	2,5
Q (m3/s) =	0,025
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	9,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	6,00E+03

Distância (km) =	12
Declividade (m/m) =	0,0011
Largura base (m) =	3,00

Vazão incremental R. Una

A incremental (km2) =	21,4	(sem tributários)
Q incremental (m3/s) =	0,225	
Q incr (m3/s por km) =	0,015	
Comprimento total (km) =	15	
OD (mg/L) =	4,00	
DBO (mg/L) =	60	
N-org (mg/L) =	7,0	
N-amon (mg/L) =	3,0	
N-nitrito (mg/L) =	0,0	
N-nitrato (mg/L) =	2,0	
P-org (mg/L) =	2,00	
P-inorg (mg/L) =	2,00	
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03	

Córrego Retiro (Bacia 11)

A (km2) =	55,5
Q (m3/s) =	0,593
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

Declividade (m/m) =	0,0006
Largura base (m) =	10,00

km 11,7

Córrego Marimbondo

A (km2) =	32,5
Q (m3/s) =	0,344
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

km 12,0

Esgotos Cabo Frio

Q (m3/s) =	0,250
OD (mg/L) =	2,00
DBO (mg/L) =	40
N-org (mg/L) =	4,0
N-amon (mg/L) =	4,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	0,50
P-inorg (mg/L) =	0,50
Coli (NMP/100mL) =	1,00E+03

Vazão incremental no C. Malhada

A incremental (km2) =	60,5
Q incremental (m3/s) =	0,647
Q incr (m3/s por km) =	0,059
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

km 12,2

C. Malhada a montante

A (km2) =	16,0
Q (m3/s) =	0,167
OD (mg/L) =	4,00
DBO (mg/L) =	60
N-org (mg/L) =	7,0
N-amon (mg/L) =	3,0
N-nitrito (mg/L) =	0,0
N-nitrato (mg/L) =	2,0
P-org (mg/L) =	2,00
P-inorg (mg/L) =	2,00
Coli (NMP/100mL) =	4,00E+03

Distância (km) =	11
Declividade (m/m) =	0,0005
Largura base (m) =	15,00

A (km2) =	461,7
km 15,0	



Fig. 6.4. Cenário 2. Diagrama unifilar

FINAL DE PLANO (2023)
CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)
VAZÕES DE ESGOTO: 0 m3/s (sem lançamento na bacia do Rio Una)
TRIBUTÁRIOS: BASTANTE POLUÍDOS (DADOS MONITORAMENTO ARREDONDADOS)
VAZÃO INCREMENTAL: CONCENTRAÇÃO IGUAL TRIBUTÁRIOS

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

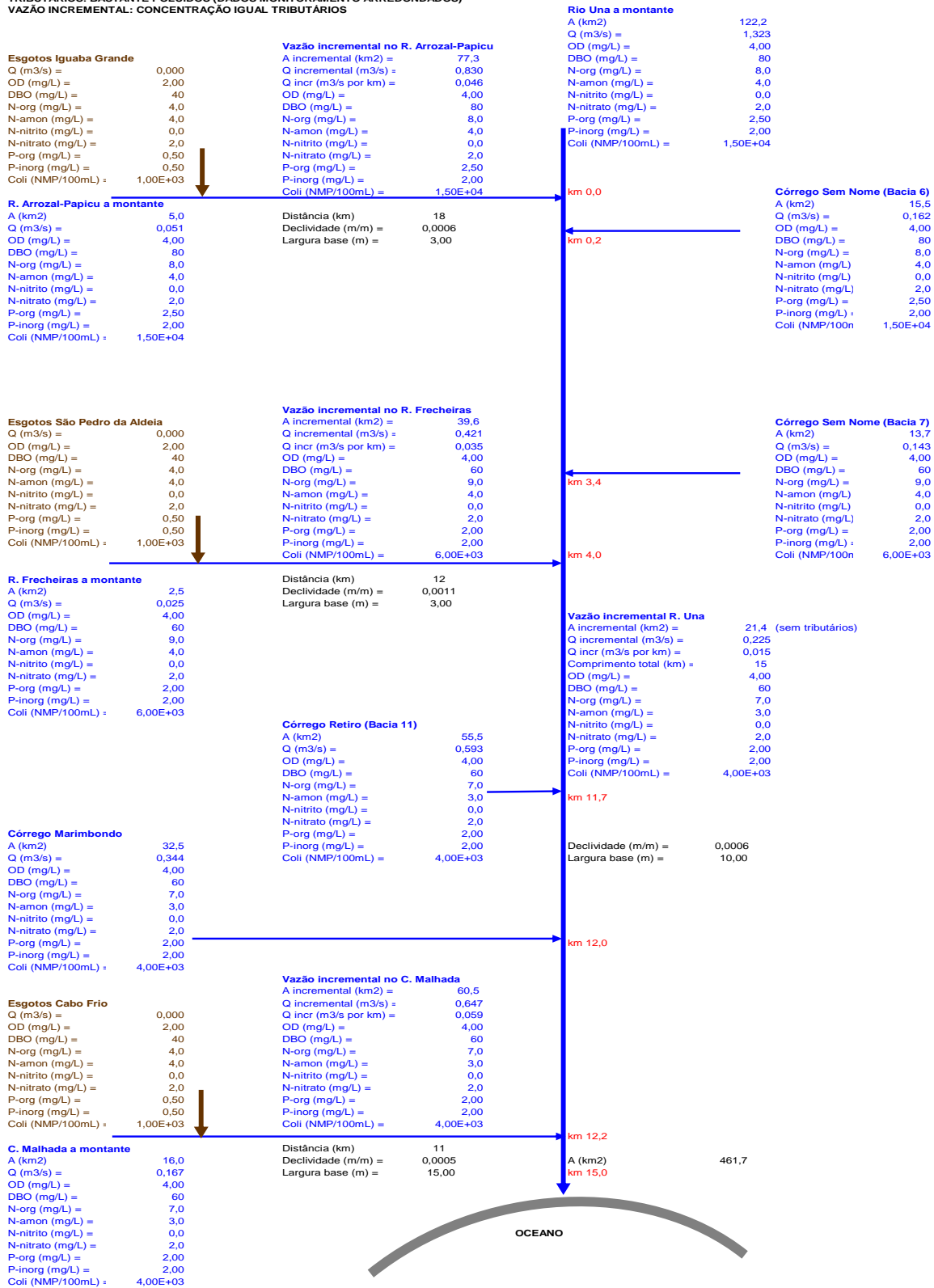


Fig. 6.5. Cenário 3. Diagrama unifilar

FINAL DE PLANO (2023)

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)
VAZÕES DE ESGOTO: DADOS DO PLANEJAMENTO (1a etapa)
TRIBUTÁRIOS: BASTANTE POLUIDOS (DADOS MONITORAMENTO ARREDONDADOS)
VAZÃO INCREMENTAL: CONCENTRAÇÃO IGUAL TRIBUTÁRIOS

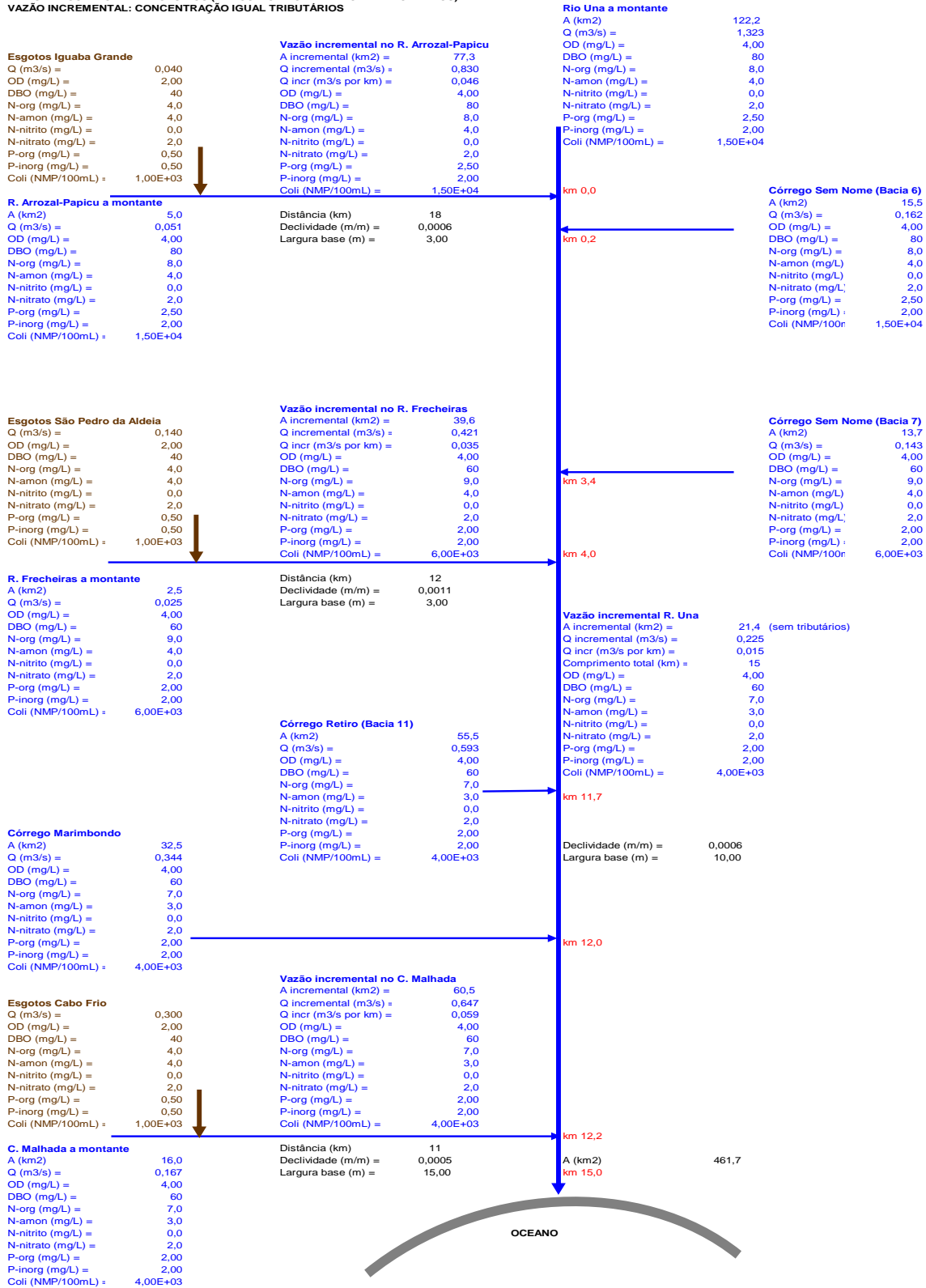


Fig. 6.6. Cenário 4. Diagrama unifilar

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

FINAL DE PLANO (2023)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões, mas sem remoção de N e P)

VAZÕES DE ESGOTO: DADOS DO PLANEJAMENTO (1a etapa)

TRIBUTÁRIOS: BASTANTE POLUÍDOS (DADOS MONITORAMENTO ARREDONDADOS)

VAZÃO INCREMENTAL: CONCENTRAÇÃO IGUAL TRIBUTÁRIOS

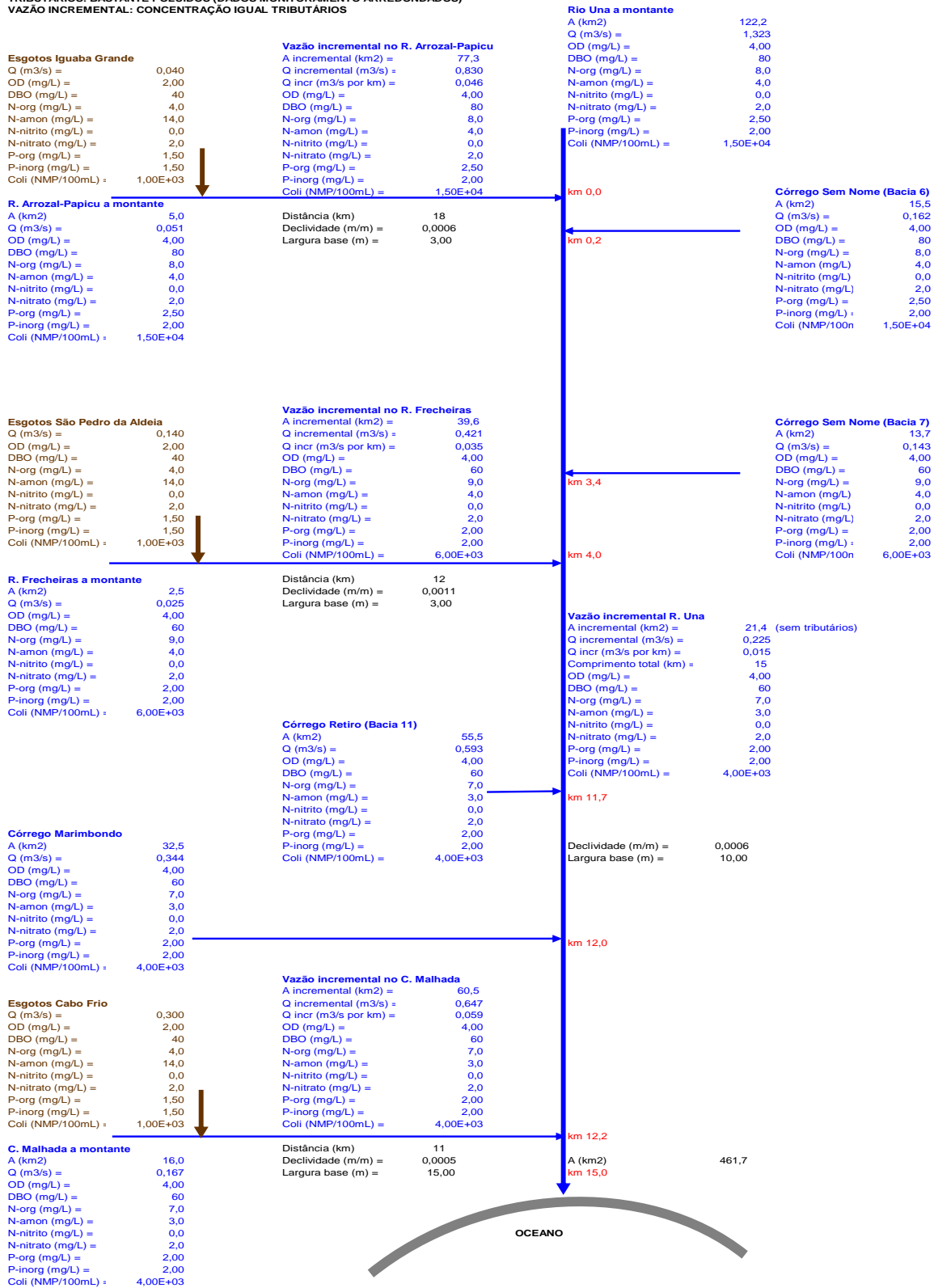


Fig. 6.7. Cenário 5. Diagrama unifilar

FINAL DE PLANO (2023)
CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)
VAZÕES DE ESGOTO: 0 m³/s (sem lançamento na bacia do Rio Una)
TRIBUTÁRIOS POUCO POLUÍDOS (valores assumidos com rios relativamente limpos)
VAZÃO INCREMENTAL: mesma concentração dos cursos d'água

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

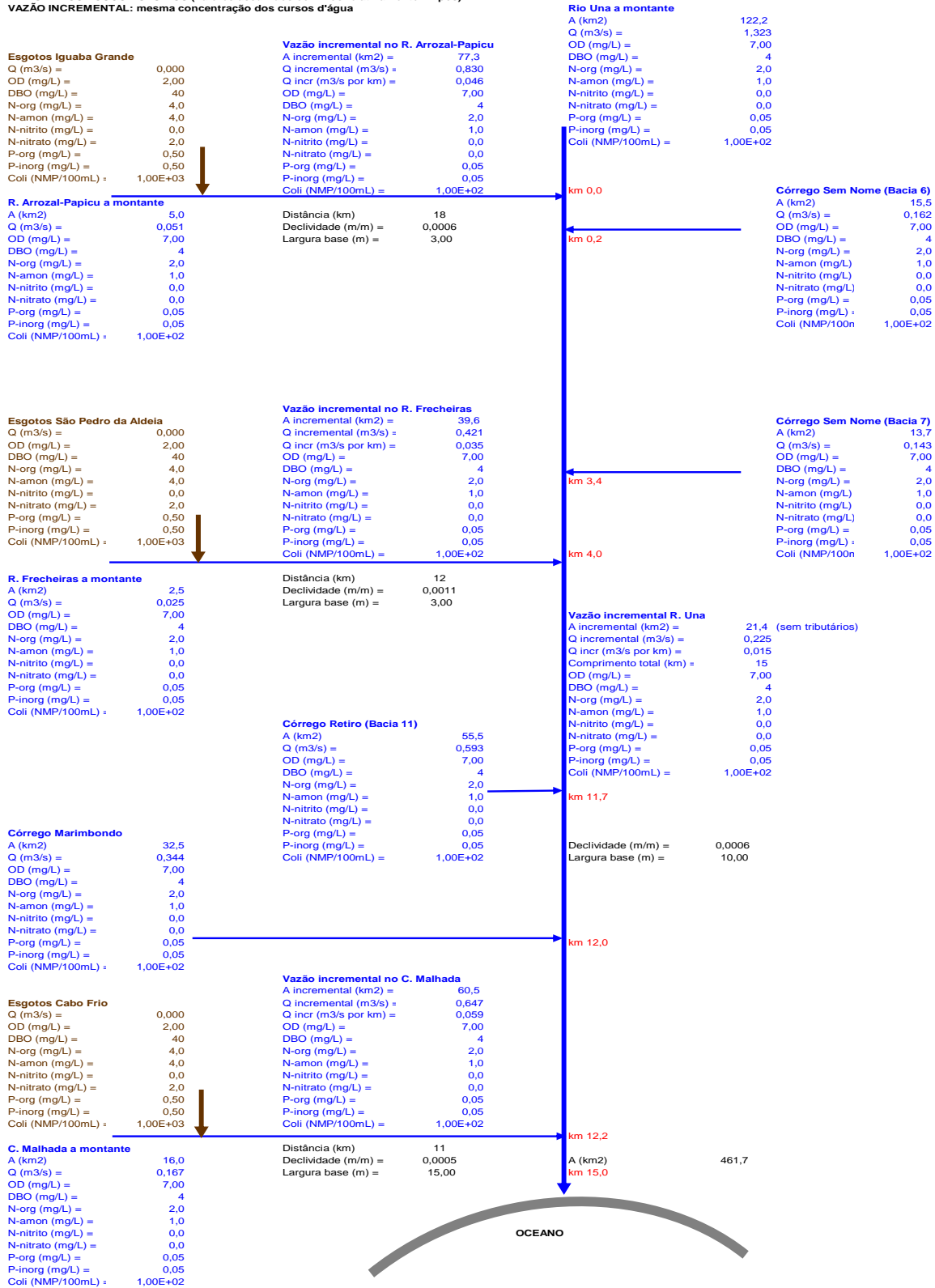


Fig. 6.8. Cenário 6. Diagrama unifilar

FINAL DE PLANO (2023)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões de lançamento FEEMA)

VAZÕES DE ESGOTO: DADOS DO PLANEJAMENTO (1a etapa)

TRIBUTÁRIOS POUCO POLUIDOS (valores assumidos com rios relativamente limpos)

VAZÃO INCREMENTAL: mesma concentração dos cursos d'água

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

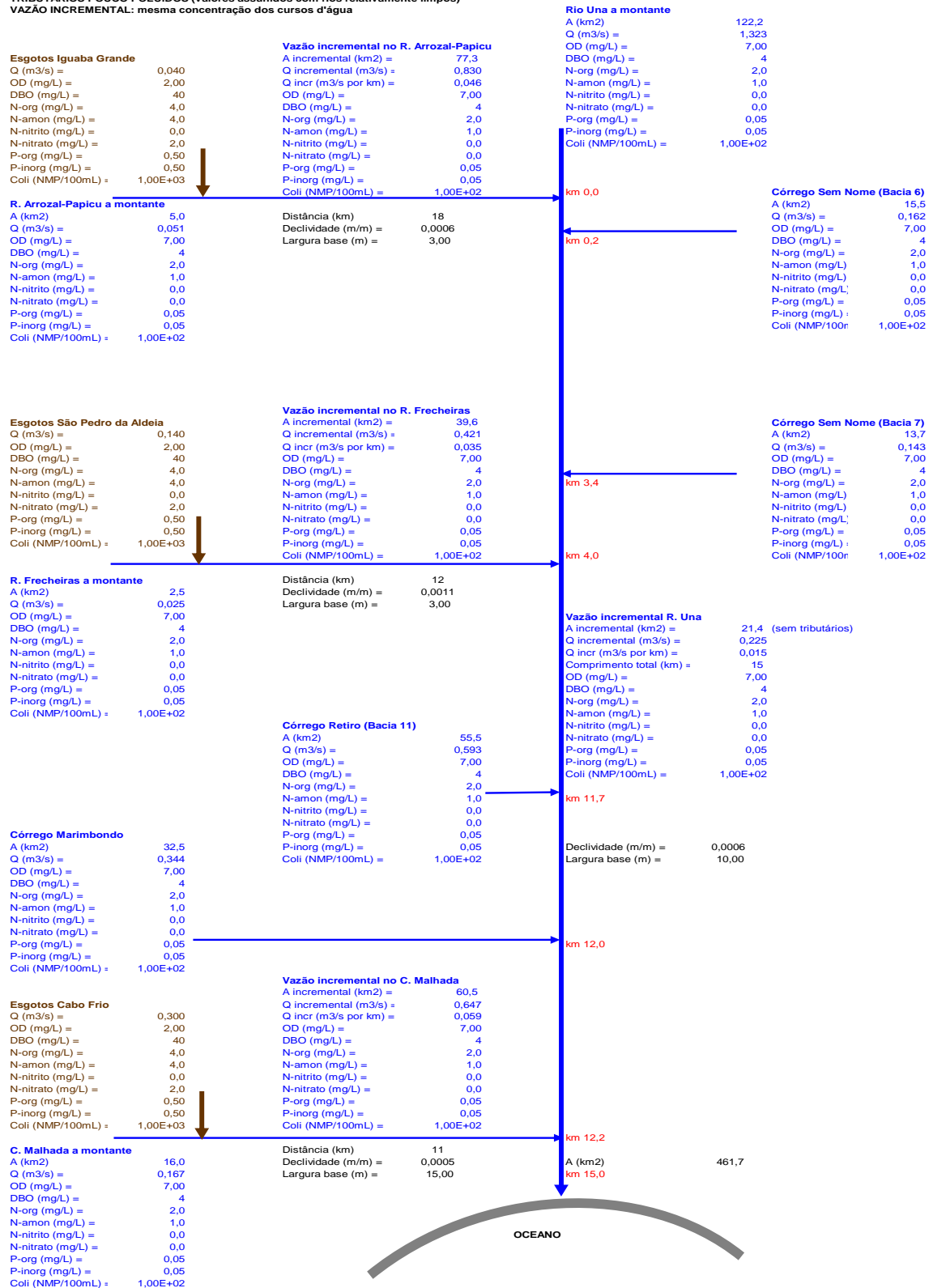


Fig. 6.9. Cenário 7. Diagrama unifilar

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO UNA
(sem escala)

FINAL DE PLANO (2023)

CONCENTRAÇÕES NO ESGOTO: PROJETO (atendimento padrões, mas sem remoção de N e P)
VAZÕES DE ESGOTO: DADOS DO PLANEJAMENTO (1a etapa)

TRIBUTÁRIOS POUCO POLUÍDOS (valores assumidos com rios relativamente limpos)
VAZÃO INCREMENTAL: mesma concentração dos cursos d'água

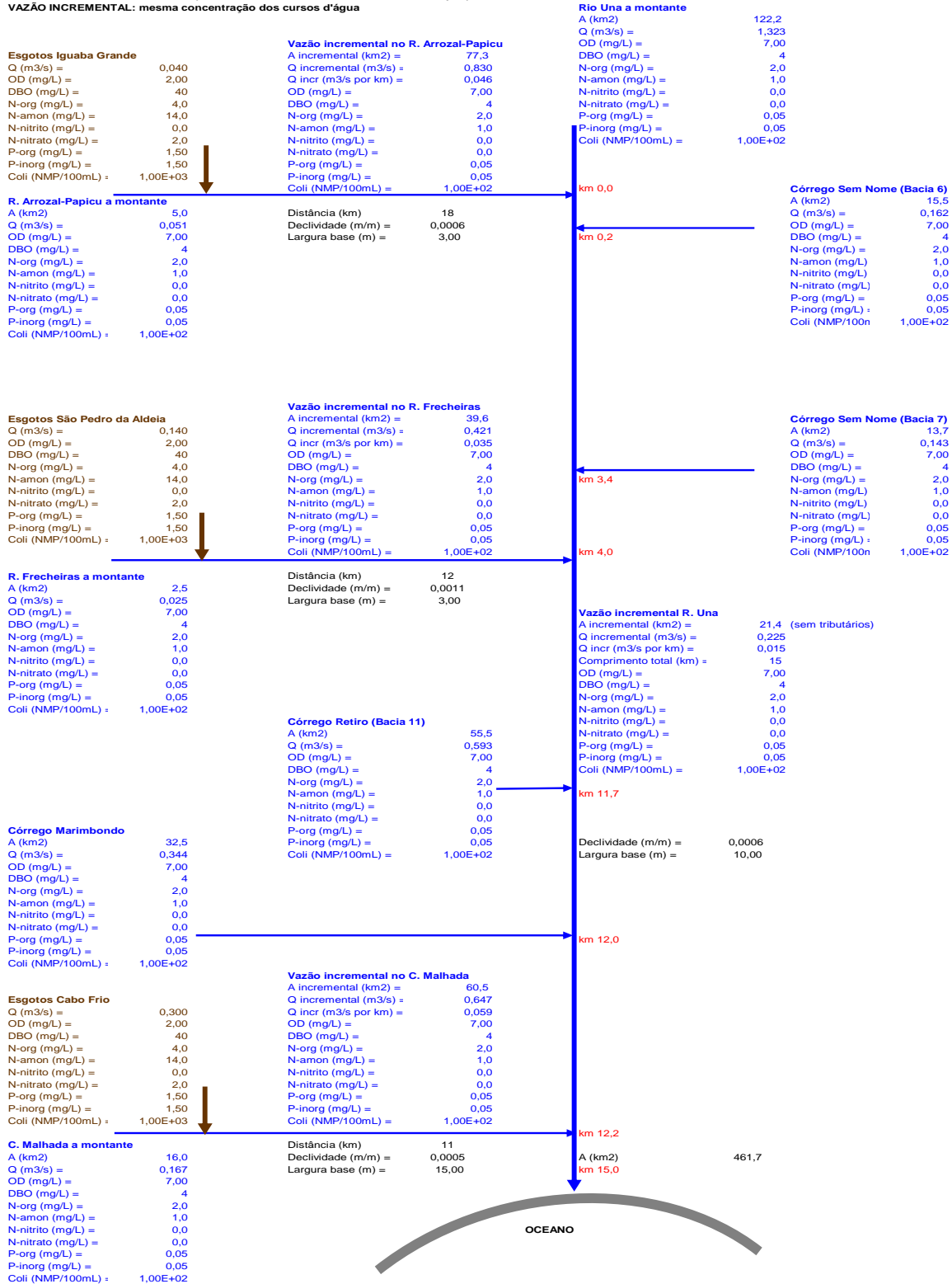


Fig. 6.10. Cenário 8. Diagrama unifilar

7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

7.1 Preliminares

Os resultados obtidos por meio das simulações estão apresentados de duas formas básicas:

- perfis das concentrações dos principais constituintes ao longo dos rios
- porcentagem da extensão dos rios estudados que se encontra dentro da legislação

O Rio Una e tributários não foram ainda objeto de enquadramento em classes de uso, segundo os critérios da Resolução CONAMA 357/05. Nessas condições, segundo a própria resolução CONAMA, os cursos d'água permanecem como Classe 2, até que se efetue o enquadramento. Dentro dessa perspectiva, o Rio Una e tributários foram considerados, para efeito de interpretação dos resultados, como **Classe 2**.

O Quadro 7.1 apresenta os padrões dos corpos d'água Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05. A interpretação do atendimento à legislação nas simulações efetuadas foi com base nestes valores.

Quadro 7.1. Padrões para corpos d'água Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05

PARÂMETRO	OD	DBO	N-amon	N-nitrito	N-nitrato	P	Coliformes termotolerantes
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL
Padrão	≥ 5,0	5,0	3,7	1,0	10,0	0,1	1.000

Os resultados das simulações apresentados a seguir estão diretamente ligados às planilhas Excel do modelo QUAL-UFGM para cada cenário estudado, as quais são parte integrante do presente relatório.

7.2 Avaliação da qualidade das águas do Rio Una

As planilhas Excel do modelo QUAL-UFGM retratando os oito cenários contêm os valores calculados e os gráficos das concentrações dos constituintes ao longo do percurso. Para se evitar a apresentação de um grande número de gráficos neste relatório impresso, incluem-se apenas os relativos ao Rio Una, principal curso d'água de interesse. No entanto, os gráficos dos demais tributários, bem como todos os valores calculados, encontram-se nas planilhas Excel, as quais são parte integrante do relatório. Todos os gráficos apresentados e valores calculados são em condições de vazão mínima ($Q_{7,10}$).

a) Vazão

A Figura 7.1 apresenta a evolução das vazões ao longo do Rio Una, devido à entrada dos tributários (simulados e não simulados) e à vazão incremental (a qual é pequena, comparada com o aporte direto dos tributários). Logo no início do trecho simulado, observa-se o acréscimo de vazão devido à entrada do Rio Arrozal-Papicu. No km 4 observa-se o aumento da vazão devido ao Rio Frecheiras, e próximo ao km 12 o aporte dos córregos Retiro, Marimbondo e Malhada (ver diagramas unifilares, figuras 6.3 a 6.10).

Na Figura 7.1, a coluna da esquerda apresenta as vazões nos cenários em que não se tem a reversão para a bacia do Una dos esgotos de Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio, ao passo que na coluna da direita têm-se os cenários com as reversões. Nota-se que as vazões nos cenários “sem” e “com” reversão têm vazões muito próximas. De forma similar, os cenários “atual” e “futuro” têm vazões bem similares. A razão de ambos os fatos é que as vazões são dominadas pelas descargas naturais dos cursos d’água, e não pelos esgotos lançados, os quais têm valores bem inferiores.

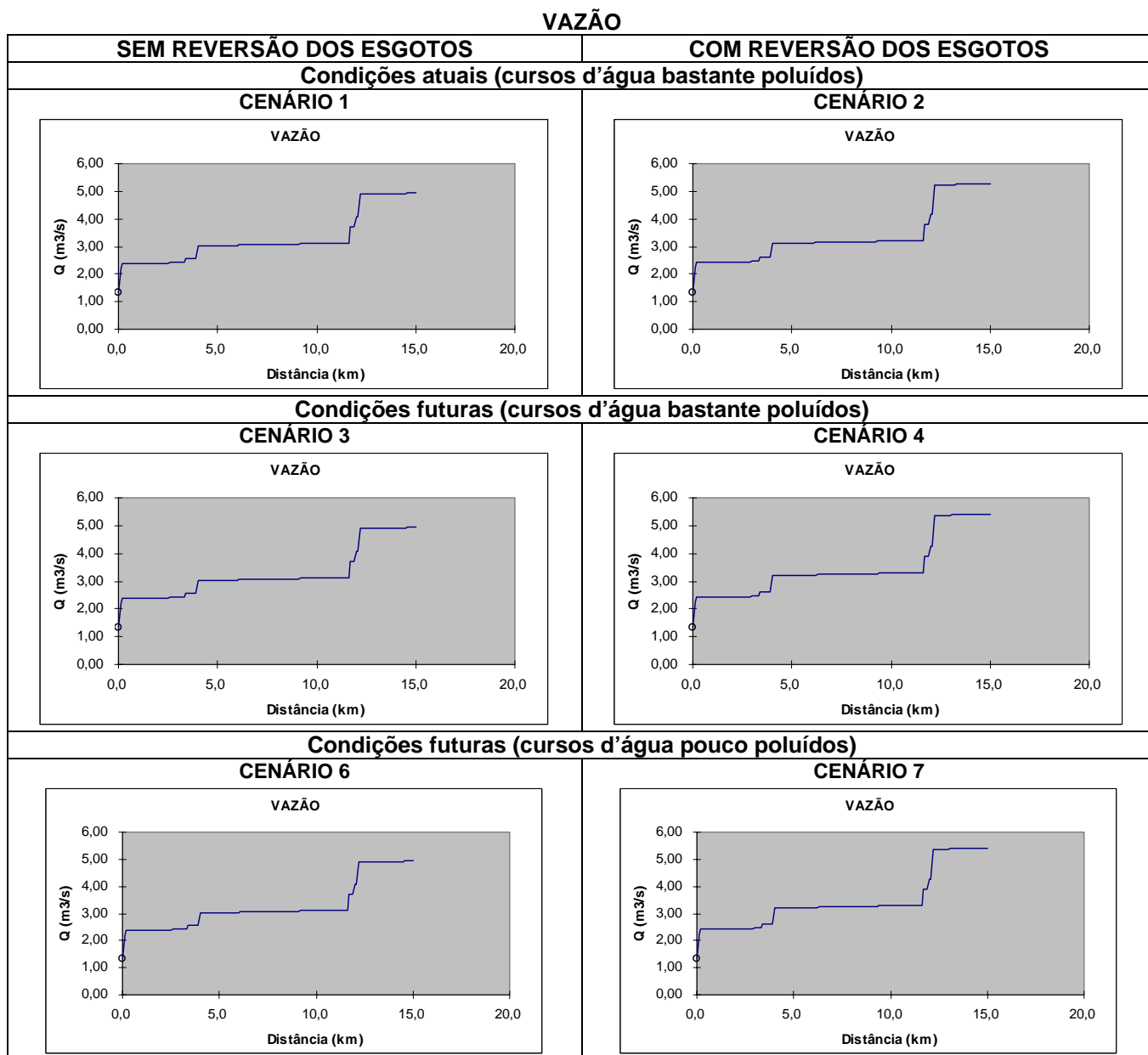


Fig. 7.1. Vazões ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$

b) Oxigênio dissolvido

A Figura 7.2 apresenta os perfis de concentração de oxigênio dissolvido ao longo do Rio Una. Observa-se que nos cenários em que os cursos d’água já se encontram poluídos, independentemente dos efluentes lançados, não se cumpre com os padrões de OD para Classe 2 (mínimo de 5,0 mg/L). Já nos cenários em que os cursos d’água estão pouco poluídos, o padrão de OD é cumprido. Nos cenários em que os cursos d’água estão bastante poluídos, há pouca diferença entre as condições atuais e

futuras, ou seja, o eventual acréscimo da vazão de esgotos tratados no futuro pouco interfere com relação às condições atuais (primeira etapa).

No entanto, talvez a interpretação mais importante da simulação de OD seja a comparação entre as colunas da esquerda (sem reversão dos esgotos) e da direita (com reversão dos esgotos). Observa-se que, nos cenários simulados, a influência da reversão dos esgotos sobre o oxigênio dissolvido no Rio Una é pouco perceptível, tanto em termos de concentrações, quanto em termos de atendimento à legislação.

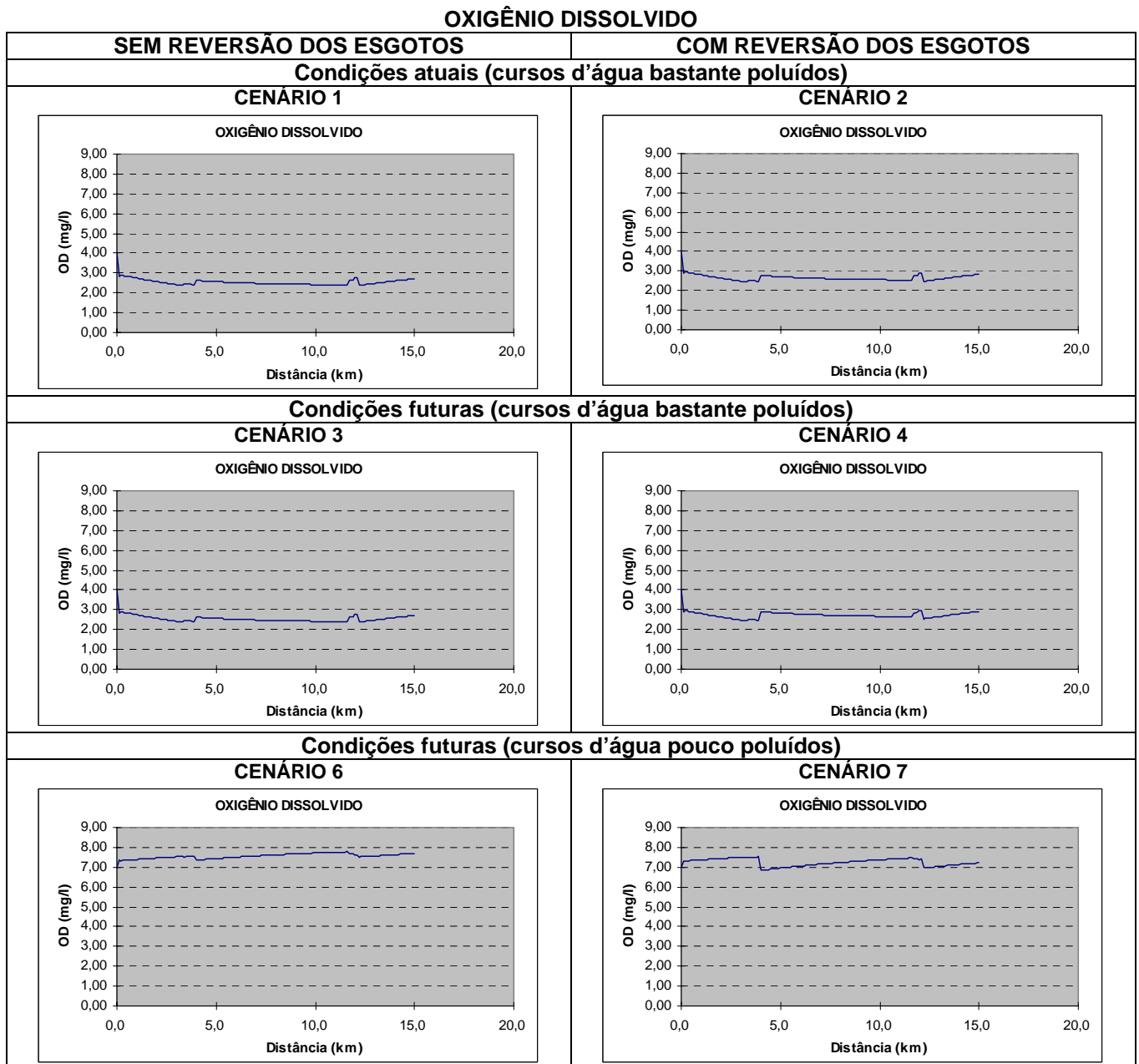


Fig. 7.2. Concentrações de oxigênio dissolvido ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$

c) Demanda bioquímica de oxigênio

A Figura 7.3 apresenta os perfis da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ao longo do Rio Una. O teor dos comentários é bastante similar aos efetuados para o oxigênio dissolvido. No caso da DBO, o padrão para Classe 2 é o valor máximo de 5 mg/L (podendo ser excedido, caso o padrão de OD seja respeitado). Nos cenários em que os cursos d'água são considerados bastante poluídos, as concentrações resultantes de DBO são substancialmente elevadas nos rios. Persiste a importante inferência sobre a pequena influência da reversão dos esgotos tratados sobre a qualidade da água do Rio Una.

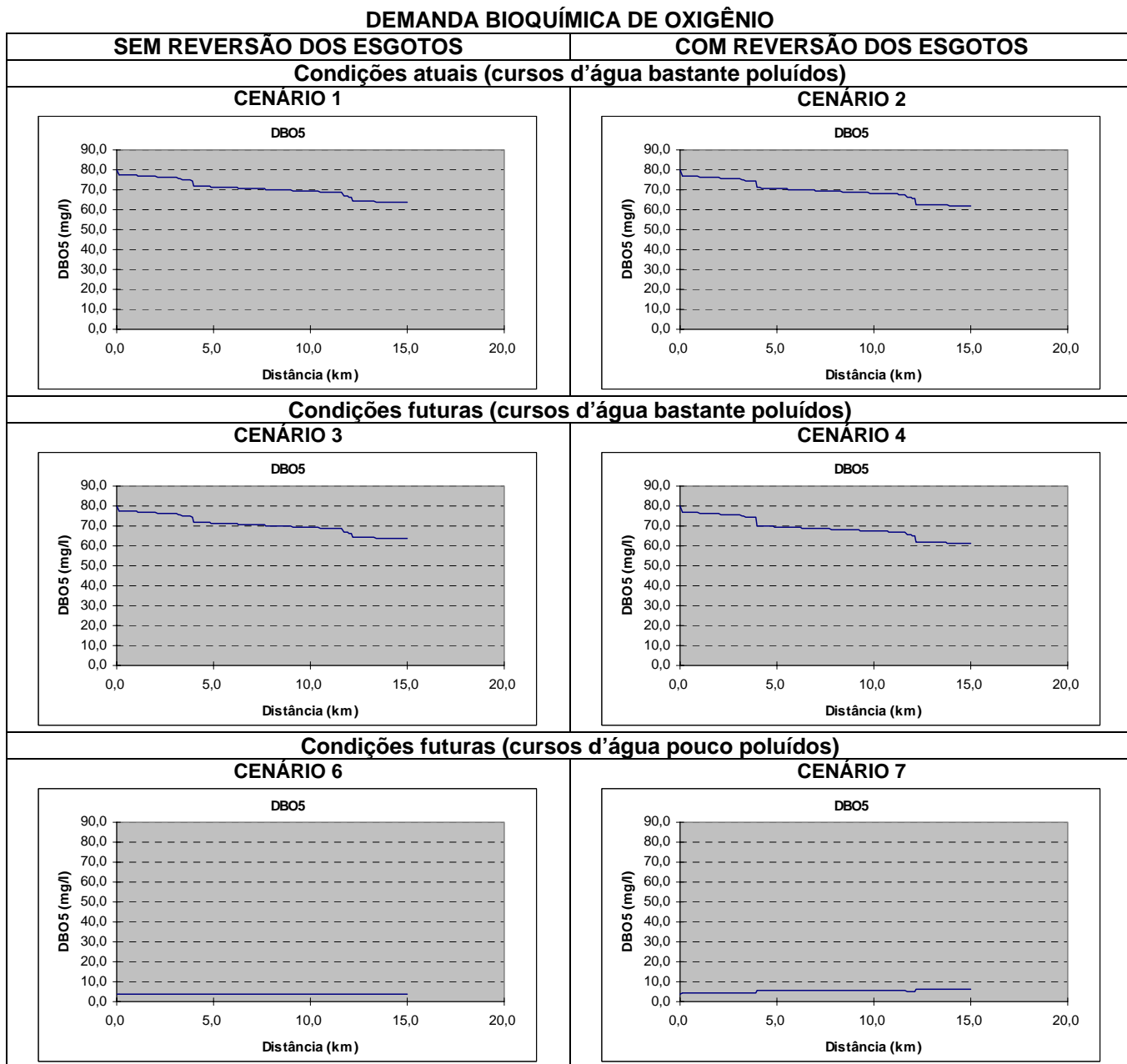


Fig. 7.3. Valores de DBO ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$

d) Nitrogênio

A Figura 7.4 apresenta os perfis de concentração das frações de nitrogênio (N orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e do nitrogênio total ao longo do Rio Una. Em termos de padrões ambientais, os valores máximos permitidos para rios Classe 2 são: nitrogênio amoniacal: 3,7 mg/L (para $pH \leq 7,5$); nitrito:

1,0 mg/L; nitrato: 10 mg/L. Nos cenários apresentados na Figura 7.4, assumiu-se que as ETEs cumprem com o padrão de lançamento de 10 mg/L de nitrogênio total, o que pressupõe uma etapa específica de remoção desse nutriente.

Têm-se aqui comentários similares aos efetuados para OD e DBO, no sentido de que a condição inicial dos rios (bastante poluídos ou pouco poluídos) tem uma grande influência nas concentrações prevalecentes e no atendimento à legislação. A diferença entre as condições atuais e futuras (nos cenários com cursos d'água bastante poluídos) é pouco perceptível. Mais importante ainda, a influência da reversão dos esgotos tratados é também desprezível.

A Figura 7.5 apresenta as concentrações de nitrogênio nos cenários 5 e 8, em que se assume o tratamento secundário dos esgotos (com boa eficiência de remoção de DBO e coliformes), mas sem etapas específicas para remoção de nutrientes (N e P). Nesses cenários, a concentração assumida para N total era de 20 mg/L. Observa-se que as concentrações de nitrogênio no Rio Una resultam bastante próximas das concentrações obtidas nos cenários 4 e 7, em que se admitia remoção de N nas ETEs (efluentes com N total igual a 10 mg/L).

NITROGÊNIO

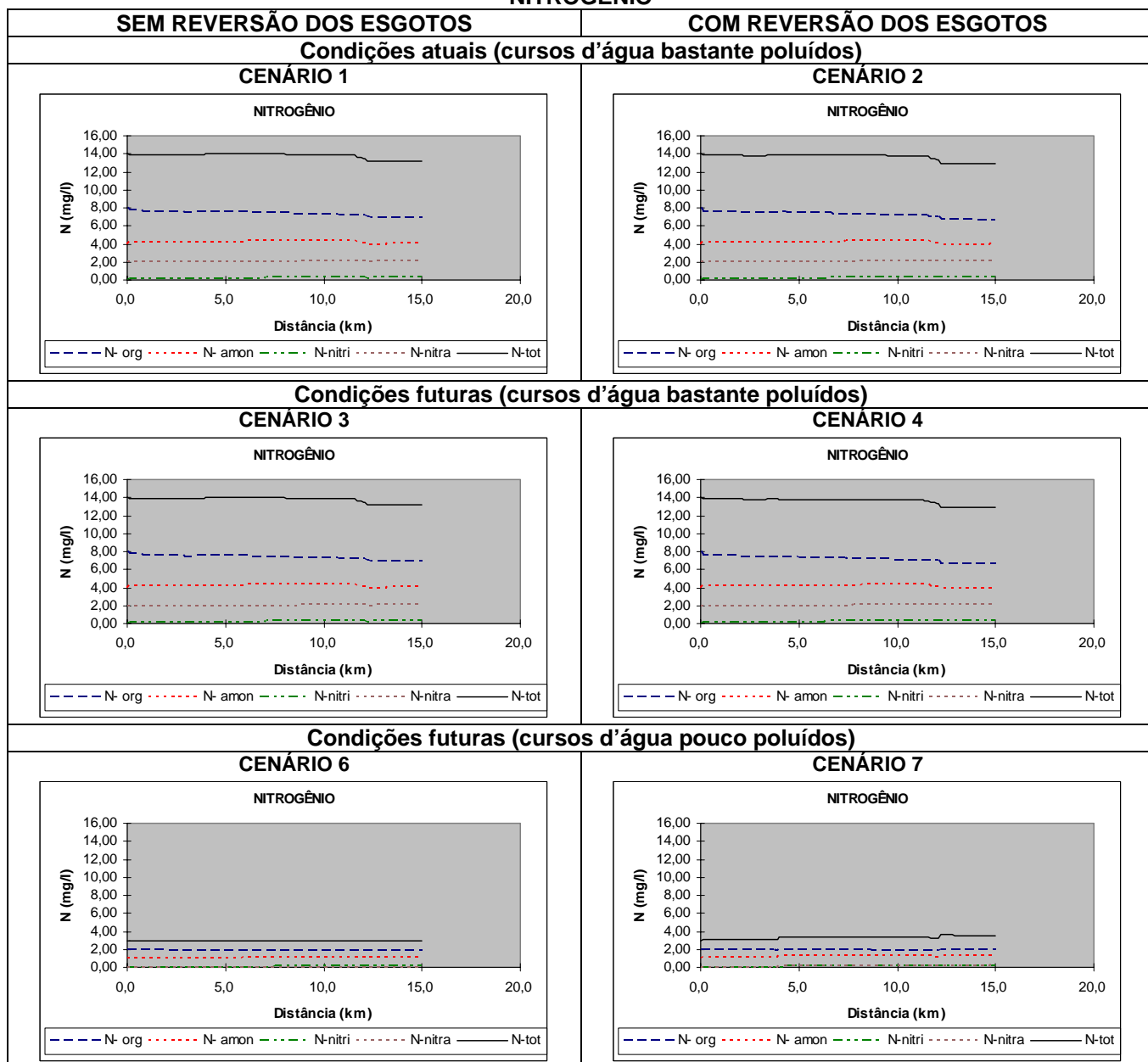


Fig. 7.4. Concentrações das frações de nitrogênio (N orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e nitrogênio total ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$

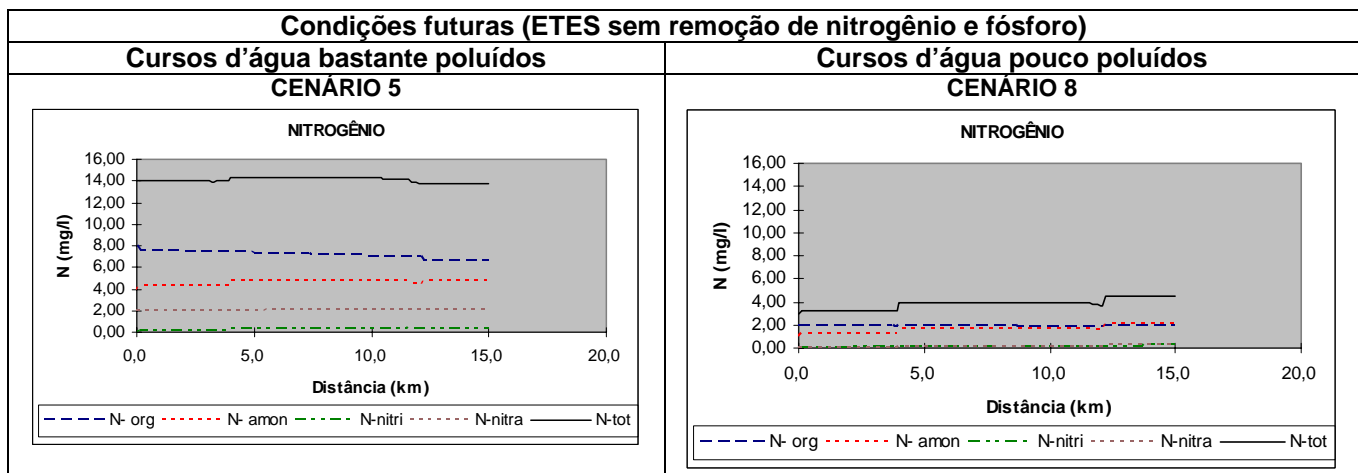


Fig. 7.5. Concentrações das frações de nitrogênio (N orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e nitrogênio total ao longo do percurso do Rio Una, com efluentes de ETES sem etapa específica de remoção de N

e) Fósforo

A Figura 7.6 apresenta os perfis de concentração das frações de fósforo (orgânico e inorgânico) e do fósforo total ao longo do Rio Una. Para rios Classe 2 (ambiente lótico), o valor máximo permitido para fósforo total é 0,1 mg/L. Nos cenários apresentados na Figura 7.6, assumiu-se que as ETES cumprem com o padrão de lançamento de 1,0 mg/L de fósforo total, o que pressupõe uma etapa específica de remoção desse nutriente.

Têm-se novamente comentários similares aos efetuados para os demais constituintes. A condição inicial dos rios (bastante poluídos ou pouco poluídos) tem uma grande influência nas concentrações prevalentes e no atendimento à legislação. A diferença entre as condições atuais e futuras (nos cenários com cursos d'água bastante poluídos) é pouco perceptível. Mais uma vez tem-se a importante constatação de que a influência da reversão dos esgotos tratados é pouco importante, principalmente nas condições em que os cursos d'água já se apresentam poluídos.

A Figura 7.7 apresenta as concentrações de fósforo nos cenários 5 e 8, em que se assume o tratamento secundário dos esgotos (com boa eficiência de remoção de DBO e coliformes), mas sem etapas específicas para remoção de nutrientes (N e P). Nesses cenários, a concentração assumida para P total era de 3,0 mg/L. Observa-se que as concentrações de fósforo no Rio Una resultam próximas das concentrações obtidas nos cenários 4 e 7, em que se admitia remoção de P nas ETES (efluentes com P total igual a 1,0 mg/L).

FÓSFORO

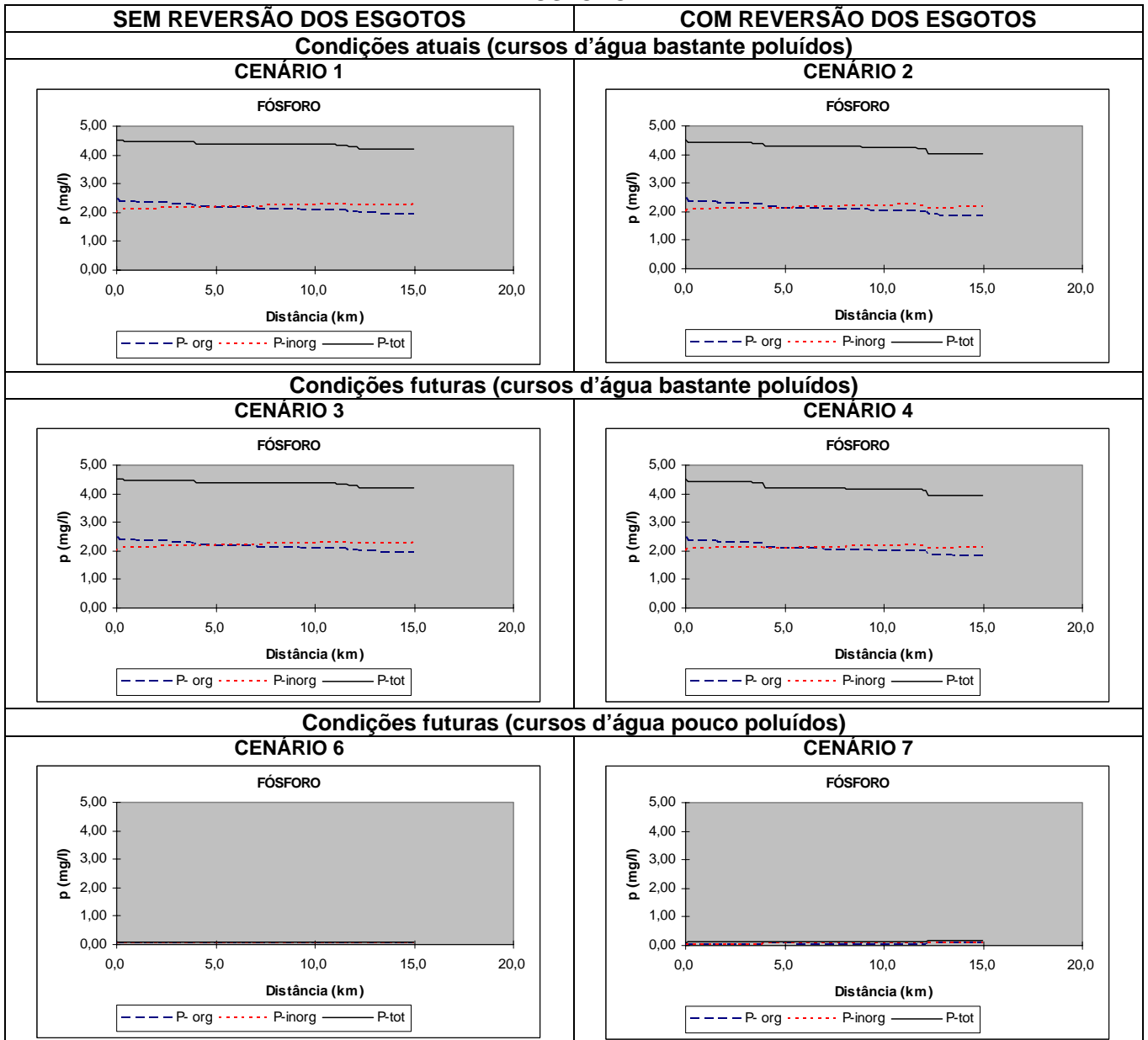


Fig. 7.6. Concentrações das frações de fósforo (orgânico e inorgânico) e fósforo total ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$

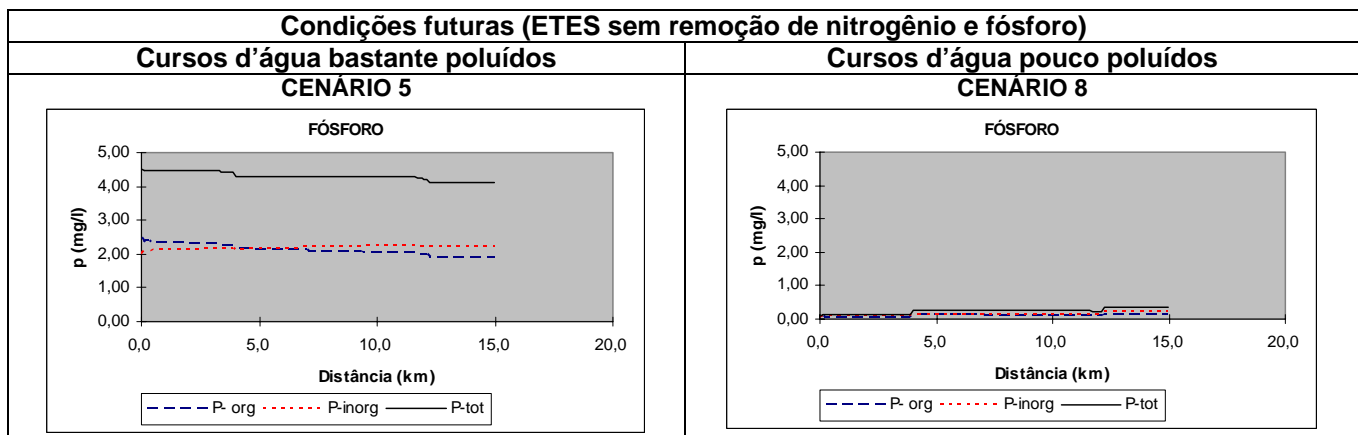


Fig. 7.7. Concentrações das frações de fósforo (orgânico e inorgânico) e fósforo total ao longo do percurso do Rio Una, com efluentes de ETES sem etapa específica de remoção de P

f) Coliformes termotolerantes (fecais)

A Figura 7.8 apresenta as concentrações de coliformes termotolerantes ao longo do Rio Una. O padrão para corpos d'água Classe 2 é 1.000 NMP/100mL. Nessas simulações, assumiu-se que os esgotos tratados teriam concentrações efluentes com esse mesmo valor (1.000 NMP/100mL). Também para os coliformes, persistem as constatações inferidas para os demais constituintes: (a) grande influência da condição inicial dos rios (bastante poluídos ou pouco poluídos) nas concentrações de coliformes e no atendimento à legislação; (b) pouca diferença entre condições atuais e futuras, no caso de se ter os cursos d'água bastante poluídos e (c) pouca diferença entre os cenários “sem” e “com” reversão dos esgotos tratados.

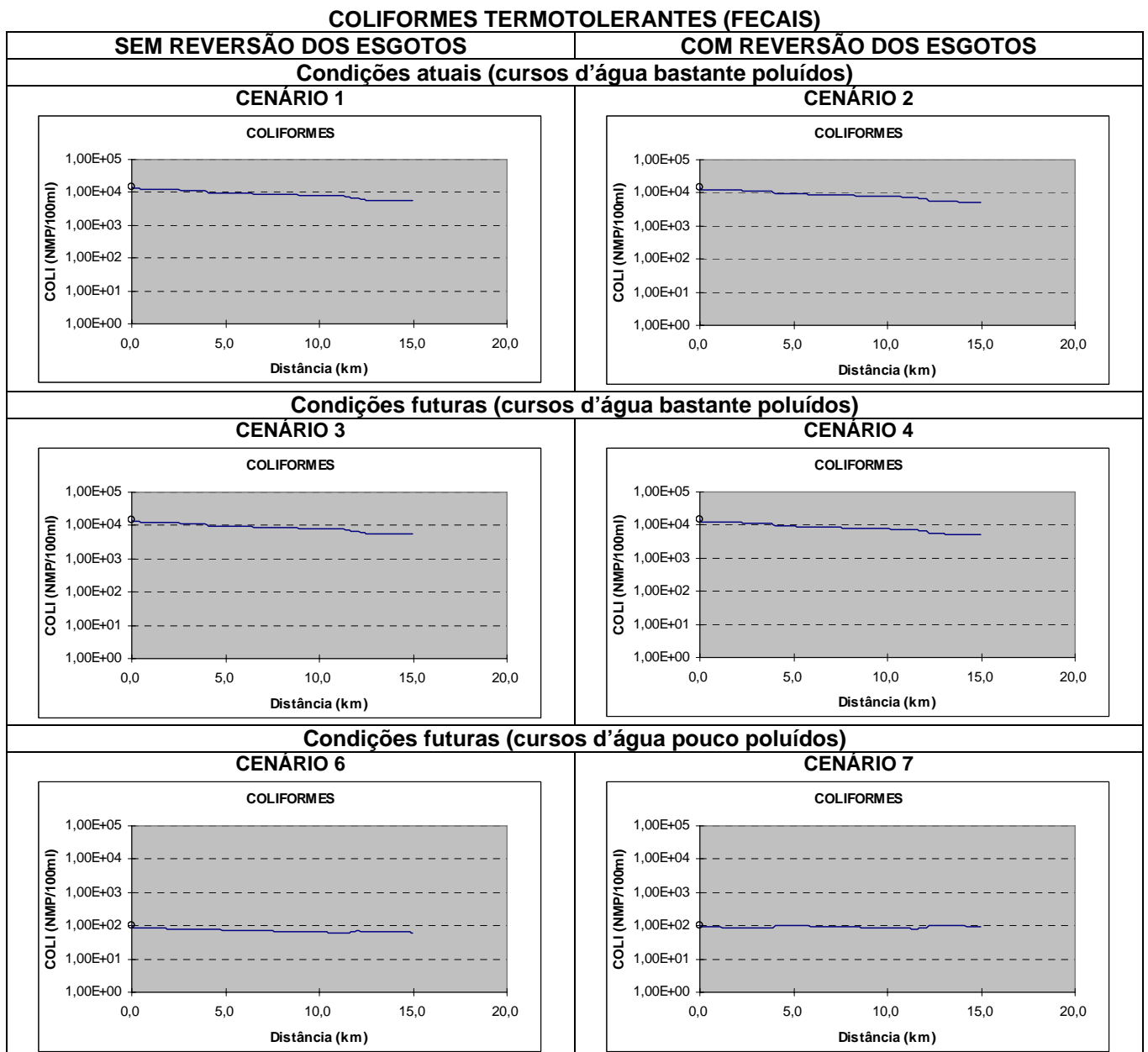


Fig. 7.8. Concentrações de coliformes termotolerantes (fecais) ao longo do percurso do Rio Una, em condições de $Q_{7,10}$ (eixo dos Y em escala logarítmica)

7.3 Atendimento aos padrões dos corpos d'água no Rio Una e tributários receptores dos efluentes tratados

Como a geração de dados de saída pelo modelo para os quatro rios simulados produz diversas informações, optou-se por se sintetizar os resultados em termos do atendimento aos padrões dos corpos d'água (Resolução CONAMA 357/05, Classe 2) pela porcentagem da extensão dos rios que se encontra dentro dos padrões, para cada constituinte simulado que é abrangido pela legislação.

Assim, por exemplo, se na simulação do oxigênio dissolvido (OD), 0% da extensão do Rio Frecheiras está dentro dos padrões, significa que em nenhum ponto do Rio Frecheiras a concentração de OD

estará dentro dos limites impostos pela Resolução CONAMA 357/05. Por outro lado, se 100% da extensão estiver dentro dos padrões, significa que o Rio Frecheiras, na totalidade de sua extensão, obedece à legislação. Valores intermediários devem ser interpretados de forma similar. Assim, se 34% da extensão estiverem dentro dos padrões, significa que, dos 12 km do Rio Frecheiras, em 34% (4,1 km) o OD estará dentro dos padrões, e que nos restantes 66% (7,9 km), as concentrações de OD estarão em desacordo com a legislação.

Deve-se lembrar, no entanto, que as presentes simulações foram efetuadas para as restritivas condições de vazão mínima dos corpos d'água expressas na forma de $Q_{7,10}$, e não retratam as condições médias a imperar nos corpos d'água ao longo do ano.

Os quadros 7.2 a 7.5 apresentam a porcentagem da extensão dos rios Una, Arrozal-Papicu, Frecheiras e Malhada que se encontram dentro dos padrões. A Figura 7.9 ilustra, na forma de gráfico de barras, a porcentagem de atendimento para o Rio Una, principal curso d'água de interesse nas simulações.

Pode-se fazer a seguinte generalização para o Rio Una e tributários. Nos cenários em que os cursos d'água são assumidos como *poluídos* (tanto nas *condições atuais quanto nas futuras, com ou sem o lançamento dos esgotos* – **cenários 1 a 6**), tem-se uma situação de **amplo desatendimento** aos padrões da Resolução CONAMA 357/05. As exceções são para nitrito e nitrato, que possuem valores limites relativamente elevados na legislação, e que não estão presentes em concentrações elevadas nos cursos d'água e nos esgotos tratados, além de não terem tempo de serem produzidos em concentrações apreciáveis nos cursos d'água pelo fenômeno da nitrificação. Para os demais constituintes (OD, DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo e coliformes), o descumprimento à legislação, nas condições de $Q_{7,10}$, parece ser a condição dominante.

Cabe aqui um importante comentário acerca do lançamento dos esgotos revertidos. A sua ocorrência não deverá afetar o cenário geral de atendimento ou não atendimento à legislação, enquanto os cursos d'água estiverem poluídos, por outras causas. Desta forma, esforços deverão ser envidados no sentido de se estabelecerem programas de despoluição da bacia do Una, como principal forma de controle da qualidade de suas águas e tributários.

Já nos **cenários 6 a 8**, em que se assumiu que os cursos d'água estariam *pouco poluídos*, observa-se uma situação oposta aos cenários anteriores. No Rio Una e tributários, a condição geral deverá ser a do **atendimento** aos padrões ambientais. Esta é a situação geral para OD, amônia, nitrito, nitrato e coliformes. As exceções são apenas DBO e fósforo. Nos cenários com lançamento de esgotos, o padrão de DBO é pouco atendido, mas a própria Resolução CONAMA 357/05 dá a abertura de que, caso o padrão de oxigênio dissolvido seja cumprido, a legislação estará atendida. No caso do fósforo, nos cenários com o lançamento dos esgotos, observa-se um amplo desatendimento, justificável pelo fato do padrão ambiental ser reconhecidamente bastante restritivo (0,1 mg/L), e de difícil atendimento na maioria dos corpos d'água que atuam como corpos receptores imediatos no Brasil. Acresça-se a isso o fato de que, nas simulações, o valor de P a montante e na vazão incremental foi adotado como igual ao valor do padrão do corpo d'água, o que resultaria em desatendimento sempre que o curso d'água recebesse esgotos com $P > 0,1$ mg/L (o que é o caso, mesmo com remoção de nutrientes no tratamento). Deve-se refletir, no entanto, sobre a real importância do fósforo em cursos d'água lóticos, menos sujeitos a eutrofização, podendo-se inferir que os principais usos previstos para corpos d'água Classe 2 não serão afetados no sistema hidrográfico em estudo.

Como conclusões dessa análise de atendimento aos padrões ambientais pode-se dizer que:

- a condição inicial do curso d'água e da vazão incremental (pouco poluído ou bastante poluído) é o fator que mais influencia na avaliação do atendimento ou não aos padrões ambientais
- a reversão dos esgotos deverá ter pouco impacto no atendimento aos padrões dos principais parâmetros de qualidade
- a inclusão ou exclusão da remoção de nitrogênio e fósforo no tratamento dos esgotos tem pouca influência no atendimento aos padrões de N e P nos cursos d'água

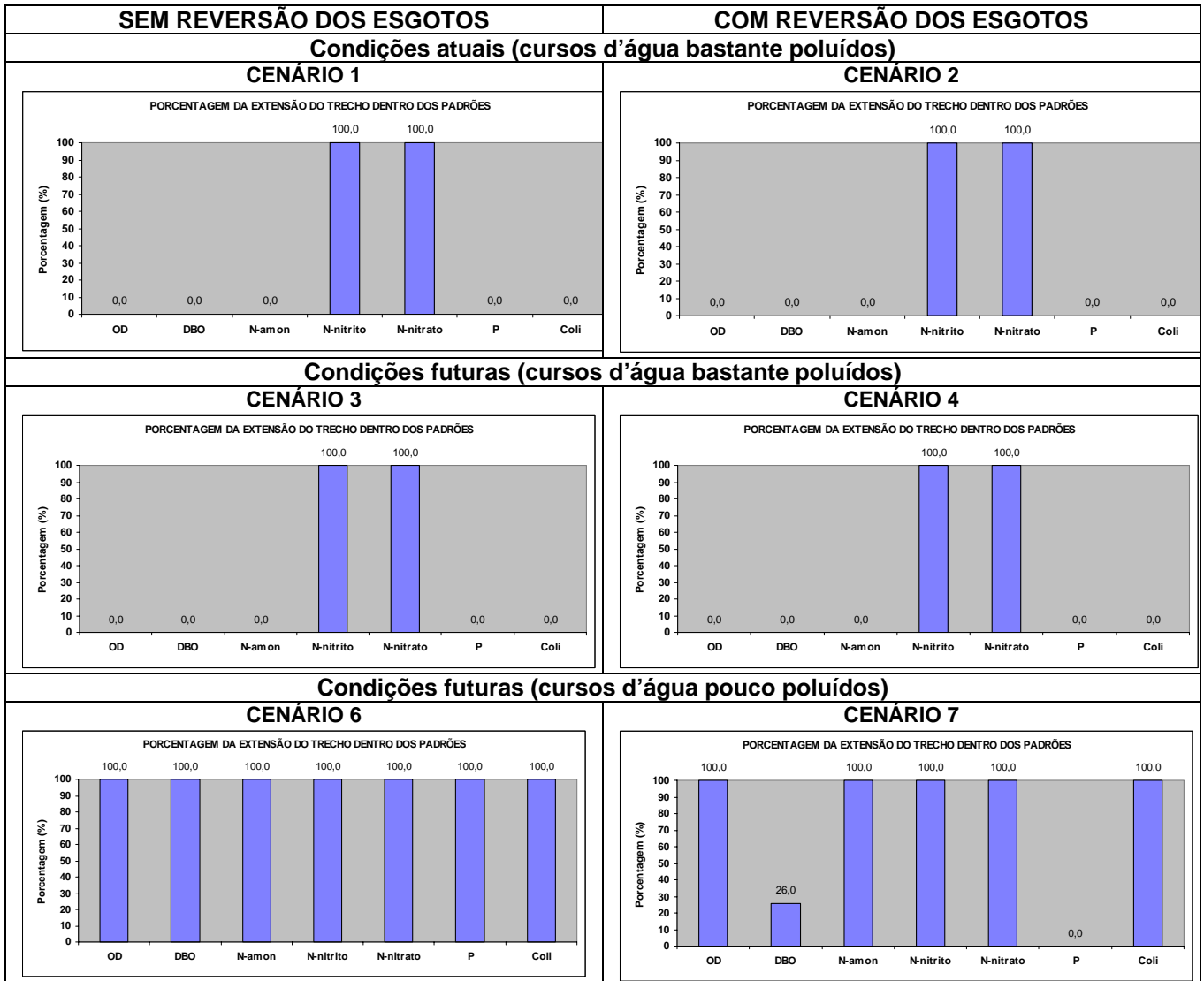


Fig. 7.9. Porcentagem da extensão do Rio Una dentro dos padrões da Resolução CONAMA 357/05, Classe 2

Quadro 7.2. Rio Una – Porcentagem da extensão (15 km) dentro dos padrões (%)

Cenário	OD	DBO	N-amon	N-nitrito	N-nitrato	P	Coli
1. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
2. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
3. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
4. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
5. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	0
6. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Sem reversão.	100	100	100	100	100	100	100
7. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão.	100	26	100	100	100	0	100
8. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	100	26	100	100	100	0	100

Quadro 7.3. Rio Arrozal-Papicu – Porcentagem da extensão (18 km) dentro dos padrões (%)

Cenário	OD	DBO	N-amon	N-nitrito	N-nitrato	P	Coli
1. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
2. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
3. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
4. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
5. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	0
6. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Sem reversão.	100	100	100	100	100	100	100
7. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão.	99	0	100	100	100	0	100
8. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	99	0	88	100	100	0	100

Quadro 7.4. Rio Frecheiras – Porcentagem da extensão (12 km) dentro dos padrões (%)

Cenário	OD	DBO	N-amon	N-nitrito	N-nitrato	P	Coli
1. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
2. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
3. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	0	100	100	0	0
4. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	0	100	100	0	0
5. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	0
6. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Sem reversão.	100	100	100	100	100	100	100
7. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão.	0	0	100	100	100	0	100
8. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	100

Quadro 7.5. Córrego da Malhada – Porcentagem da extensão (11 km) dentro dos padrões (%)

Cenário	OD	DBO	N-amon	N-nitrito	N-nitrato	P	Coli
1. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	100	100	100	0	0
2. Condições atuais (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	100	100	100	0	0
3. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Sem reversão.	0	0	100	100	100	0	0
4. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão.	0	0	100	100	100	0	0
5. Condições futuras (cursos d'água bastante poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	0
6. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Sem reversão.	100	100	100	100	100	100	100
7. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão.	19	0	100	100	100	0	100
8. Condições futuras (cursos d'água pouco poluídos). Com reversão. Sem remoção de N e P.	0	0	0	100	100	0	100

8 CONCLUSÕES

O presente relatório avaliou a qualidade da água do Rio Una e principais tributários, por meio de trabalhos de campo e simulações matemáticas, visando a se caracterizar o impacto da futura reversão dos efluentes das ETEs de Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio para a bacia do Una. Os corpos receptores imediatos dos efluentes dessas ETEs são o Rio Arrozal-Papicu, Rio Frecheiras e Córrego da Malhada, respectivamente.

Os trabalhos de campo, que compreenderam vistorias e coletas de amostras de água para análise laboratorial, ressaltaram as condições de elevada poluição dos tributários, mesmo sem se ter a reversão dos esgotos.

As simulações da qualidade da água foram feitas com o modelo QUAL-UFMG, o qual corresponde a uma implementação simplificada, em planilha Excel, do modelo Qual2E, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Os constituintes simulados pelo modelo foram: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e frações (N orgânico, amônia, nitrito e nitrato), fósforo total e frações (P orgânico e P inorgânico) e coliformes termotolerantes (fecais). Foram criados vários cenários de simulação, visando a retratar possíveis situações que poderiam ocorrer no futuro. Para cada simulação, eram gerados gráficos dos perfis de concentração e avaliado o atendimento aos padrões de qualidade para corpos d'água Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05.

Como conclusões gerais das simulações, retratadas pelos diversos cenários simulados, tem-se:

- A condição prévia dos cursos d'água, a montante do futuro lançamento dos esgotos tratados e na contribuição incremental difusa ao longo do percurso, é o *fator que mais influencia* na qualidade da água resultante e no atendimento aos padrões ambientais. Ao se estudar cenários em que os cursos d'água estariam previamente **bastante poluídos**, constata-se a dificuldade no cumprimento dos padrões ambientais. Nas simulações em que se assumiu que os cursos d'água estariam previamente **pouco poluídos**, o índice de atendimento aos padrões ambientais foi bastante elevado.
- Há *pouca diferença* entre as **condições atuais** (após reversão, com as vazões de esgotos características da primeira etapa) e as **condições futuras** (após reversão, com as vazões de esgoto para final de plano – ano 2023), em termos da qualidade das águas e do atendimento aos padrões.
- A **implementação ou não da reversão dos esgotos tratados** terá *pouquíssima influência* na qualidade da água dos rios e no atendimento aos padrões, os quais são mais influenciados pelas condições prévias dos cursos d'água. A influência é desprezível, no caso de se ter cursos d'água bastante poluídos.
- A implementação da **remoção de nitrogênio e fósforo** nas ETEs terá *pouco impacto* na qualidade da água dos rios e em seus usos pretendidos, principalmente caso os cursos d'água permaneçam já bastante poluídos a montante do futuro lançamento dos esgotos tratados.

Em função dos pontos acima, pode-se dizer que:

- A despoluição da bacia do Una, com o controle das atividades atualmente existentes, é o principal instrumento para se atingir a meta de boa qualidade da água nos rios estudados.
- O Rio Una e os tributários receptores dos esgotos devem ser analisados de uma forma mais profunda, não apenas em termos de sua classificação automática como Classe 2, mas em função dos seus reais usos pretendidos, o que constitui a base para o futuro enquadramento em bases realistas.

Naturalmente que se deve interpretar todos os resultados das simulações dentro da envoltória de incerteza que caracteriza os modelos ambientais e a necessidade de se assumir vários dados de entrada. Não se deve avaliar valores numéricos em sua forma estrita, mas interpretar os resultados principalmente como tendências gerais ou faixas de valores. Nesse contexto, as conclusões gerais apresentadas acima fazem sentido e podem se tornar um importante instrumento de planejamento de ações e de gestão da bacia hidrográfica do Rio Una.

9 REFERÊNCIAS

- Bittencourt, A. G.; Pereira, C. A. A. O.; Nogueira, J. W.; Torsani, S. J.; Laramie, R. L.; Mercer, G. W. (1995). Modelagem Matemática do Rio Tietê com Modelo QUAL2EU para Preparação do Projeto Tietê. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, Salvador 17 a 21, setembro de 1995. **Anais** ... [s.l.:s.n.].
- Chapra, S.C. (1997). *Surface water quality modeling*. WCB/McGraw-Hill. 844 p.
- Consórcio Lagos São João (2008). Hidrografia. <http://www.lagossaojoao.org.br/hidrografia-regional.htm>.
- CPRM (2002). *Estudo de regionalização de vazões. Região homogênea 59 (Bacia do São João)*.
- Geoport Consultoria e Estudos Ambientais (2005). *Projeto Estudo de Alternativas para o Lançamento dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto dos Municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Cabo Frio, Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia*. Seis relatórios, elaborados entre dez 2004 e ago 2005.
- Thomann, R.V., Mueller, J.A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper International Edition. 644 p.
- Von Sperling, M. (2007). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 7. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 588 p. ISBN 85-88556-07-2.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency, Athens (1985). *Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling*. 2. ed, 455 p.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency, Athens (1987). *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and user model*. 189 p.