



**HYDRO**  
SCIENCE



## IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM - RJ

**PRODUTO 4:  
ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

Elaborado para



Contrato de Prestação de Serviços CISLJ 05/2022  
Processo Administrativo nº 172/202 Ato convocatório nº 14/2021

**ESTUDOS HIDROLÓGICOS**  
**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO NO**  
**MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM - RJ**

Preparado para:  
*CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO - CILSJ*  
São Pedro da Aldeia, RJ

Preparado por:  
*HYDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL*  
Porto Alegre, RS

Distribuição:

01 cópia *CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO – CILSJ*

01 cópia *HIDROSCIENCE Consultoria e Restauração Ambiental*

Mês/Ano	Documento	Código Documento
Out/2022	Estudos Hidrológicos	P4_R-4_EstudosHidrologicos_2022

Dados da empresa

Razão Social: Hidroscience Consultoria e Restauração Ambiental Ltda.
Nome Fantasia: HYDROSCIENCE
CNPJ: 01.486.607/0001-96
Endereço: Rua Joaquim Nabuco 15 conj. 304, CEP 90050-340, Porto Alegre- RS. Fone: (0xx – 48) 3024-5208
E-mail para contato: <a href="mailto:contato@hydroscience.com.br">contato@hydroscience.com.br</a> ; tiago.ferreira@hydroscience.com.br

As informações contidas neste documento e nos arquivos anexados são de propriedade exclusiva da Hydroscience e podem conter assuntos comerciais, de propriedade intelectual ou outras informações confidenciais, protegidas pelas leis aplicáveis.

## SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO .....	7
2. ESCOPO DO SERVIÇO.....	7
3. INTRODUÇÃO .....	8
4. MATERIAIS E MÉTODO .....	10
4.1. Área de Estudo.....	10
4.1.1. Dados fisiográficos .....	11
4.1.2. Forma da bacia .....	13
4.1.3. Tempo de concentração .....	16
4.1.4. Bioma e cobertura vegetal.....	16
4.1.5. Uso e cobertura do solo.....	17
4.1.6. Pedologia .....	19
4.1.7. Unidade aquífera .....	20
4.2. Climatologia.....	21
4.2.1. Temperatura .....	23
4.2.2. Pluviosidade.....	25
4.2.3. Evaporação e Evapotranspiração.....	25
4.3. Estudo de vazões máximas .....	27
4.3.1. Análise e consistência dos dados fluviométricos .....	29
4.3.2. Análise de frequência das vazões .....	30
4.3.3. Vazões instantâneas .....	31
4.3.4. Hidrogramas de cheia.....	31
4.3.5. Regionalização de vazões.....	32
5. RESULTADOS .....	32
5.1. Dados hidrometeorológicos.....	32
5.2. Vazões máximas mensais e anuais .....	33
5.3. Análise de frequência de vazões .....	35
5.4. Hidrogramas de cheias.....	37
5.5. Regionalização dos hidrogramas de cheia .....	38
6. CONCLUSÃO .....	40
7. REFERÊNCIAS .....	42

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari e Rede de Drenagem da Bacia.	11
Figura 2. Hipsometria da área de drenagem da bacia.	13
Figura 3. Cobertura vegetal da área de drenagem da bacia.	17
Figura 4. Cobertura vegetal da área de drenagem da bacia.	18
Figura 5. Pedologia da área de drenagem da bacia.	20
Figura 6. Unidade aquífera da área de drenagem da bacia.	21
Figura 7. Classificação climática da área de estudo e localização das estações meteorológicas.	22
Figura 8. Temperaturas médias de bulbo úmido e média anual da estação Iguaba Grande.	23
Figura 9. Temperaturas absolutas máximas e mínimas da estação Iguaba Grande.	24
Figura 10. Temperaturas mensais máximas e mínimas da estação Iguaba Grande.	24
Figura 11. Pluviosidade acumulada mensal da estação Iguaba Grande.	25
Figura 12. Evaporação total da estação Iguaba Grande.	26
Figura 13. Evapotranspiração potencial da estação Iguaba Grande.	26
Figura 14. Disponibilidade de dados das estações fluviométricas representativas.	27
Figura 15. Evapotranspiração potencial da estação Iguaba Grande.	28
Figura 16. Fluviograma da estação Correntezas -nova (Cód. 59181000).	33
Figura 17. Cotagrama da estação Correntezas -nova (Cód. 59181000).	33
Figura 18. Série de vazões mensais e anuais da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000).	34
Figura 19. Ajuste da distribuição Pearson III à série de vazões da estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000).	36
Figura 20. Envoltória dos principais eventos críticos registrados na estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000).	37
Figura 21. Hidrogramas de cheias para a estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000).	38
Figura 22. Sub-bacias do rio Capivari e suas respectivas áreas de drenagem.	39
Figura 23. Hidrogramas de cheias regionalizadas de uma das sub-bacias da área de estudo.	40

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Dados da estação meteorológica selecionada. ....	22
Quadro 2. Temperaturas médias de bulbo úmido da estação Iguaba Grande. ....	23
Quadro 3. Temperaturas absolutas da estação Iguaba Grande. ....	23
Quadro 4. Temperaturas mensais da estação Iguaba Grande. ....	24
Quadro 5. Precipitações mensais da estação Iguaba Grande. ....	25
Quadro 6. Evaporação total da estação Iguaba Grande. ....	26
Quadro 7. Evapotranspiração potencial da estação Iguaba Grande. ....	26
Quadro 8. Estações fluviométricas representativas ....	28
Quadro 9. Vazões máximas por ano hidrológico da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000).....	34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Informações gerais da bacia.....	12
Tabela 2. Características fisiográficas da bacia.....	15
Tabela 3. Uso e ocupação do solo.....	18
Tabela 4 – Estatística descritiva das vazões máximas por ano hidrológico da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000) .....	35
Tabela 5 – Parâmetros dos ajustes das distribuições à série de vazões máximas da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000).....	36
Tabela 6 – Vazões máximas e instantâneas para diversas recorrências obtidas para estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000) .....	37
Tabela 7 – Vazões máximas e instantâneas regionalizadas para uma das sub- bacias da área de estudo. ....	39

## **1. APRESENTAÇÃO**

A empresa HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI, com sede à Rua Joaquim Nabuco nº 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340 em Porto Alegre – RS, vem por meio deste, apresentar o Produto 4: R-4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS, referente à execução dos “Estudos de Identificação das Áreas Susceptíveis a Inundação no Município de Silva Jardim - RJ”.

Este documento tem o objetivo de atender aos preceitos estipulados pelo contrato de prestação de serviços CILSJ 05/2022, firmado entre a HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI (doravante denominada de HYDROSCIENCE) e o CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO – CILSJ, designado como CONTRATANTE. O instrumento contratual foi originado a partir do PROCESSO ADMINISTRATIVO nº 172/2020 e do ATO CONVOCATÓRIO Nº 14/2021 e respectivos anexos, do qual a HYDROSCIENCE foi vencedora.

## **2. ESCOPO DO SERVIÇO**

Os serviços contratados para a identificação das áreas susceptíveis a inundações em Silva Jardim – RJ contemplam a caracterização da área de estudo e diagnóstico da situação atual, levantamentos de campo (topobatimétricos e hidrométricos), estudos hidrológicos e modelagem hidrodinâmica para mapeamento detalhado da mancha de inundação e simulação de cenários contemplando a proposição de medidas mitigatórias. Um relatório final consolidado será produzido com a finalidade de apresentar todas as atividades desenvolvidas ao longo do projeto.

Os estudos hidrológicos são fundamentais para a modelagem hidrodinâmica na medida em que são feitas caracterizações da área de estudo quanto aos aspectos climáticos, fisiográficos e hidrológicos. Tais dados permitem inferir sobre o regime fluviométrico dos principais cursos d'água da área de estudo.

### **3. INTRODUÇÃO**

Silva Jardim está localizada nas coordenadas LAT 22°39'03.33"S e LONG 42°23'25.84"O, com altitude de 35 metros acima do nível do mar na microrregião da bacia do Rio São João, interior do Estado do Rio de Janeiro, próximo a Serra do Mar, no Bioma Mata Atlântica. O município é cortado pelo baixo curso do Rio Capivari e pelo valão da Caixa, além de vias de drenagem de menor escala como o Valão do Lúcio e Rio Amazonas, retificados através de área urbana. A região urbanizada é composta essencialmente por casas, comércio local, e poucas fábricas de pequeno porte, sendo que as ruas são dispostas basicamente em terrenos planos de baixada, muitas delas junto à planície de inundação do Rio Capivari, com poucos morros e colinas.

A cidade fica a montante da barragem Lagoa de Juturnaíba, a qual abastece oito municípios da região do Lagos e se situa no Rio São João. Esta foi construída na década de 1970 pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) visando a macrodrenagem e irrigação agrícola, conforme consta do Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João – CILJS (2005).

Silva Jardim, ainda, detém uma parte protegida de seu território pela Reserva Biológica Poço das Antas, a fim de preservar o bioma Mata Atlântica e o mico-leão-dourado. Conforme descrito no Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil de Silva Jardim (2021), o município possui características, em sua maior parte, rural, com diversas comunidades isoladas do centro urbano, dificultando o acesso e também as ações em casos de resposta a desastres.

Segundo o Índice de Desempenho da Gestão Municipal (IEGM), de 2019, Silva Jardim apresenta mapeamento de ameaças potenciais para inundações, barragens de água e loteamentos de situação de risco. O Departamento Geral de Defesa Civil – DGDEC-RJ realizou o levantamento de 460 ameaças naturais, entre 2012 e 2014, sendo classificados por maior magnitude em: alagamentos (hidrológico), inundações (hidrológico), incêndios florestais (climatológicos), enxurradas (hidrológico) e deslizamentos de solo ou rocha (geológico).

A cidade de Silva Jardim apresenta um histórico recorrente de prejuízos econômicos e sociais ocasionados por inundações, alagamentos e enxurradas resultantes do transbordamento das águas do Rio Capivari. De acordo com a Secretaria Municipal de Defesa Civil Municipal (SEMDEC), 19 bairros de Silva Jardim possuem risco a inundações e alagamentos. Dentre esses bairros, pelo menos 12, estão situados na bacia hidrográfica do rio Capivari, sendo que a maior parte destes bairros integra a zona urbana e central do município. Segundo a SEMDEC as inundações e alagamentos ocorrem, muitas vezes, devido ao crescimento populacional desordenado e pela falta de saneamento básico nos bairros do município, assim como ausência de estruturas de drenagem urbana bem dimensionadas para o escoamento das águas pluviais (SEMDEC, 2021).

Mesmo quando existem estruturas de drenagem, como manilhas e bueiros, estes foram subdimensionados ou mal alocados e acabam por agravar os efeitos das fortes chuvas no município, a exemplo dos bairros Centro, Reginópolis, Fazenda Brasil, Romanópolis, Caju e Nova Silva Jardim (SEMDEC, 2021). Por estarem localizados na planície de inundação do rio Capivari, os bairros Caju e Nova Silva Jardim são os mais afetados pelas cheias do rio, havendo 60 anos de registros de inundações nessas localidades. No ano de 2016 ocorreu uma das piores inundações nesses dois bairros, que atingiu diretamente mais de 4 mil habitantes, sendo observados níveis de água acima da metade dos muros das casas. Posteriormente, foram registrados desastres devido ao transbordamento das águas do Capivari nos anos de 2018 e 2020. Em 2020, especificamente, foram registrados três eventos de transbordamento que atingiu os bairros com alagamentos e inundações.

Em virtude do histórico crescente de inundações, enxurradas e alagamentos no município de Silva Jardim, o presente projeto foi idealizado pelo Comitê de Bacias Lagos São João CBHLSJ, e licitado através do Consórcio Intermunicipal para Gestão Ambiental das Bacias da Região dos Lagos do Rio São João e Zona Costeira – CILSJ, com objetivos de se propor medidas mitigatórias para minimizar a problemática oriundas desses desastres naturais.

## **4. MATERIAIS E MÉTODO**

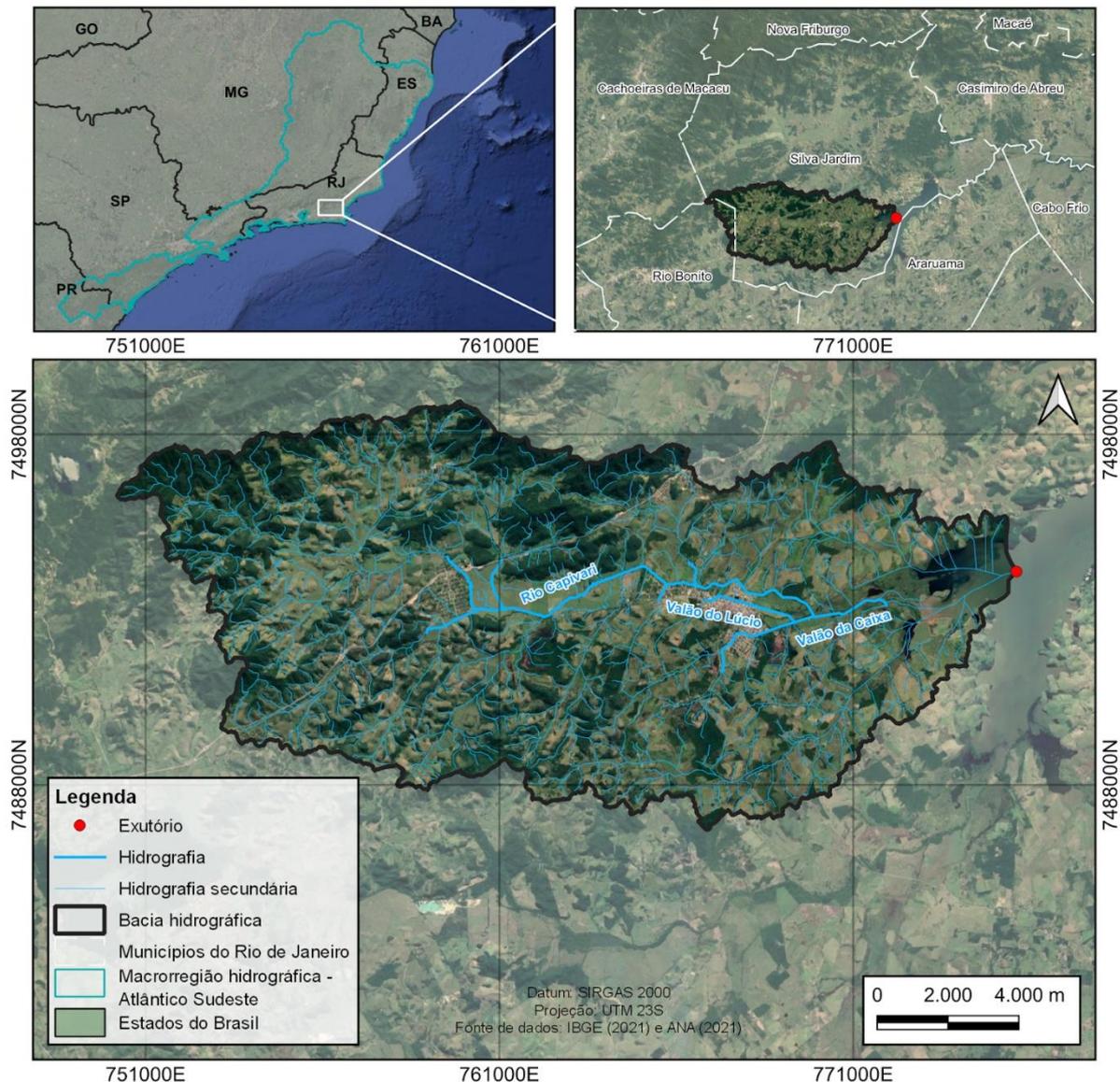
A seguir, são descritas as metodologias aplicadas na execução dos estudos hidrológicos.

### **4.1. Área de Estudo**

O município de Silva Jardim está inserido na macrorregião hidrográfica Atlântico Sudoeste, microrregião hidrográfica Lagos São João (RH 4) e, mais especificamente, no sistema hidrográfico do Rio Capivari, o qual apresenta poucos rios, sendo a maioria intermitentes concentrando-se em lagoas costeiras conectados com o oceano. A região pertence ao Comitê da Bacia Hidrográfica da região dos Lagos - Rio São João (CBHLSJ), composta por oito municípios: Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Rio das Ostras, além de Silva Jardim, que está integralmente inserida na bacia do São João (CILSJ, 2003). O Rio Capivari é um dos afluentes do Rio São João, que, junto com o Rio Bacaxá, formam o reservatório da represa de Juturnaíba.

A Bacia Hidrográfica do Rio Capivari abrange cerca de 200 km<sup>2</sup> e está inserida nas coordenadas geográficas 22°35' a 22°40' Sul e 42°35' a 42°20' Oeste, situada quase que integralmente em Silva Jardim. Apenas uma pequena parte está inserida no município de Rio Bonito, em uma área próxima às cabeceiras. A bacia encontra-se bastante impactada em virtude da supressão vegetal e ocupação desordenada do uso do solo, dispendo de escassa cobertura florestal (CILSJ, 2005).

O Rio Capivari tem suas cabeceiras na Serra de Monte Azul, a 400m de altitude, na região de Capivari de Cima, em Silva Jardim. A nascente situa-se ao norte da BR-101 e a aproximadamente 15 km a oeste da cidade de Silva Jardim. O rio Capivari apresenta 6 afluentes em seu percurso, o Rio Imbaú, o Rio Terezinha, Córrego da Vaca Caída, Córrego do Valão, Valão da Caixa, e o Rio do Ouro. A Figura 1 apresenta a localização da bacia hidrográfica do Rio Capivari e seus principais afluentes objeto deste estudo.



**Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari e Rede de Drenagem da Bacia.**

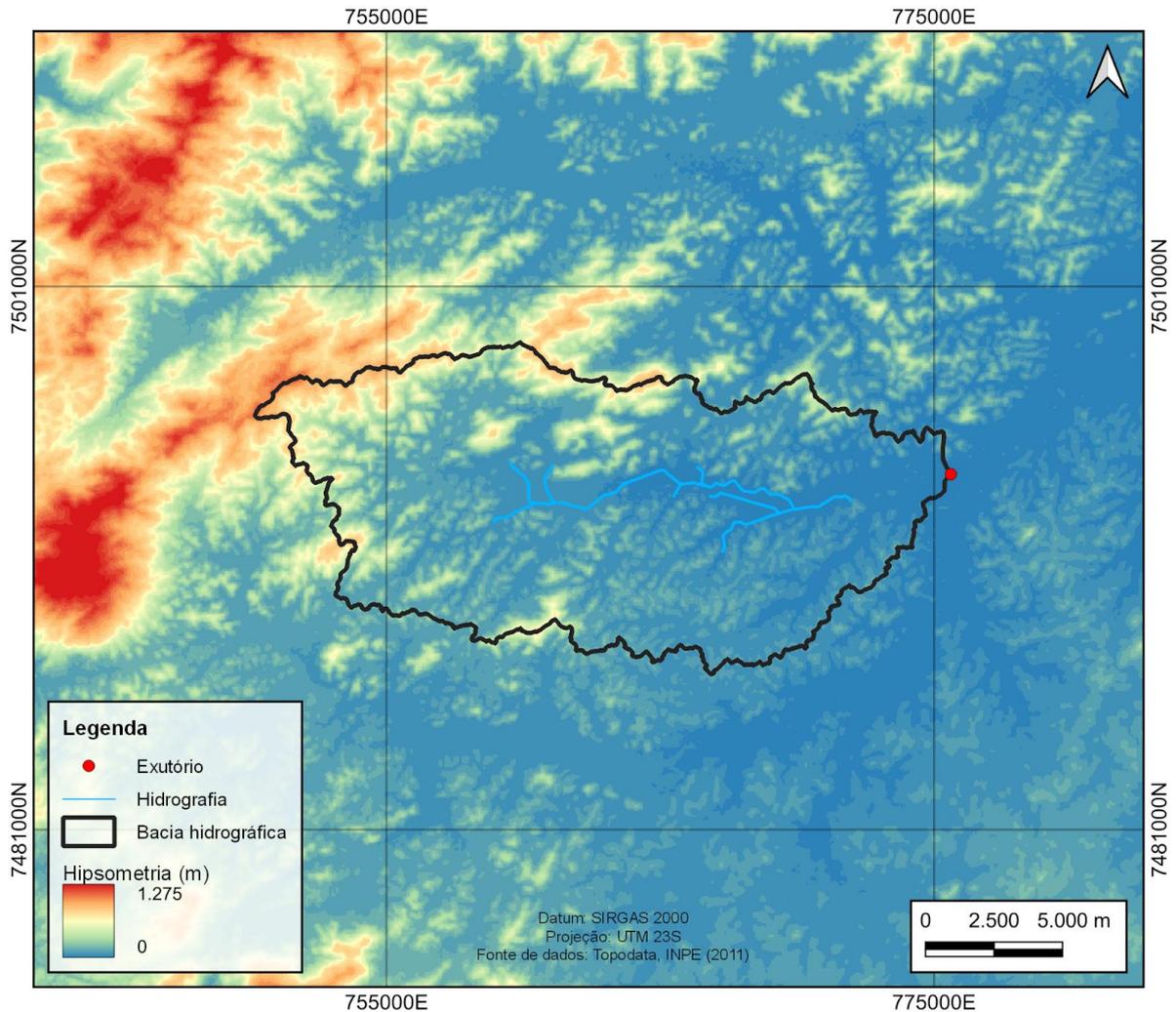
#### **4.1.1. Dados fisiográficos**

Com o objetivo de caracterizar a bacia e compreender seus comportamentos e viabilizar análises mais minuciosas, foram avaliados alguns aspectos fisiográficos, tais como: área, perímetro, forma da bacia, comprimento do rio, declividade do rio e tempo de concentração. Para isso foram utilizadas as ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com auxílio do *software* QGis 3.22.10, sendo os resultados apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Informações gerais da bacia.**

PARÂMETRO	VALOR
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	200,37
Perímetro da bacia (km)	110,60
Comprimento do rio principal (km)	29,50
Comprimento axial da bacia (km)	29,57
Cota de montante / nascente (m)	600
Cota de jusante / exutório (m)	10
Diferença de altitude (m)	590

Na Figura 2 está representado o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica, com classificação detalhada para a região. O mapa foi desenvolvido com dados disponibilizados pelo sistema Topodata do INPE (2011) com espaçamento de grade de 30 x 30 m elaborado por meio do *NASA's Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Observa-se que a maior parte da bacia se encontra em áreas com elevação menor que 100 m. Mais ao centro da bacia, por onde passam os cursos d'água principais, localiza-se a região mais baixa, com uma altitude média de 15 m. Já à montante, próximo aos limites da bacia, tem-se a conexão com as áreas mais elevadas, as quais atingem elevações superiores a 300 m.



**Figura 2. Hipsometria da área de drenagem da bacia.**

#### 4.1.2. Forma da bacia

A morfologia da bacia é um dado importante para entender o comportamento das vazões da região. Para isso, utilizam-se índices que buscam associar o formato da bacia às formas geométricas previamente conhecidas.

O índice ou coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) é tido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com mesma área da bacia, conforme a equação a seguir. Ou seja, o  $K_c$  é a medida do grau de regularidade da forma bacia, sendo o valor de 1,0 uma bacia circular. Destaca-se que, quanto maior o  $K_c$ , maior será o potencial de ocorrência de picos de enchentes.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A_d}}$$

Na qual:

$P$  = perímetro da bacia (km);

$A_d$  = área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>).

Por outro lado, tem-se o fator de forma ( $K_f$ ), o qual diz respeito à relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água principal. Este índice busca associar a forma da bacia com um retângulo. Assim, em caso de bacias estreitas e longas, as precipitações tendem a ocorrer de maneira mais heterogênea, em comparação com bacias largas e curtas. Assim, quanto menor o  $K_f$ , menor a possibilidade de enchente.

$$K_f = \frac{A_d}{L^2}$$

Na qual:

$L$  = comprimento axial da bacia (km).

O índice de conformação relaciona a forma da bacia com um retângulo. Numa bacia estreita e longa, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas. Desta forma, para bacias de mesmo tamanho, será menos sujeita a enchentes aquela que possuir menor fator de forma.

A declividade média da bacia fornece informação sobre sua topografia. Considera-se como uma variável independente. A declividade média da bacia influencia significativamente o valor do tempo de concentração e, diretamente, o escoamento gerado por uma chuva.

$$I = \frac{\Delta H}{L}$$

Na qual:

$L$  = comprimento do curso d'água principal (km);

$\Delta H$  = diferença entre cotas do ponto mais a montante da bacia e seu exutório (m).

O índice de circularidade ( $IC$ ) é a relação entre área da bacia e seu perímetro, o qual busca relacionar a forma da bacia com um círculo. Sendo que, quanto mais próximo de 1,0, mais circular é a bacia, ou seja, maior a probabilidade de inundações.

$$IC = 12,57 \frac{A_d}{P^2}$$

Por fim, a densidade de drenagem (Dd) objetiva compreender a drenagem da bacia e sua tendência frente à ocorrência de cheias por meio da relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem da bacia. A densidade de drenagem é influenciada pelo clima, bem como por diversas características da bacia e, segundo Sthraler (1957), pode ser classificada como: baixa Dd (<5,0 km/km<sup>2</sup>), média Dd (5,0 - 13,5 km/km<sup>2</sup>), alta Dd (13,5 - 155,5 km/km<sup>2</sup>) e muito alta Dd (>155,5 km/km<sup>2</sup>).

$$D_d = \frac{\sum L}{A_d}$$

Na qual:

$\sum L$ : comprimento total dos cursos d'água (km).

Os resultados de forma da bacia estão apresentados na Tabela 2. Por meio dos resultados encontrados, conclui-se que a bacia é bastante plana com um formato irregular, quando comparada com a forma de círculo, e apresenta uma drenagem relativamente pobre. Portanto, percebe-se que a bacia favorece a ocorrência de escoamentos de água mais lentos com uma capacidade de drenagem baixa, propiciando a ocorrência de enchentes.

**Tabela 2. Características fisiográficas da bacia.**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>
Coeficiente de compacidade (adm)	2,19
Fator de forma (adm)	0,23
Índice de circularidade (adm)	0,21
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	3,13
Declividade média (%)	2,0

#### **4.1.3. Tempo de concentração**

O tempo de concentração ( $t_c$ ) é definido como o tempo médio necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial de uma seção de referência, partindo do início da precipitação.

Silveira (2005) estudou o desempenho de 23 fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais com o objetivo de avaliar os erros médios quando comparados com os tempos de concentração observados. Neste estudo, a fórmula de Kirpich (1940), originalmente desenvolvida para bacias rurais de áreas até 0,45 km<sup>2</sup> e declividade média entre 3 a 10%, apresentou bons resultados para bacias de maior porte variando entre 153 e 11.162 km<sup>2</sup>, com erro médio percentual e desvio padrão de 9 e 19%, respectivamente. Portanto, adotou-se a fórmula de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração:

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Na qual:

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$L$  = comprimento do curso d'água principal (km);

$\Delta H$  = diferença entre cotas do ponto mais a montante da bacia e seu exutório (m).

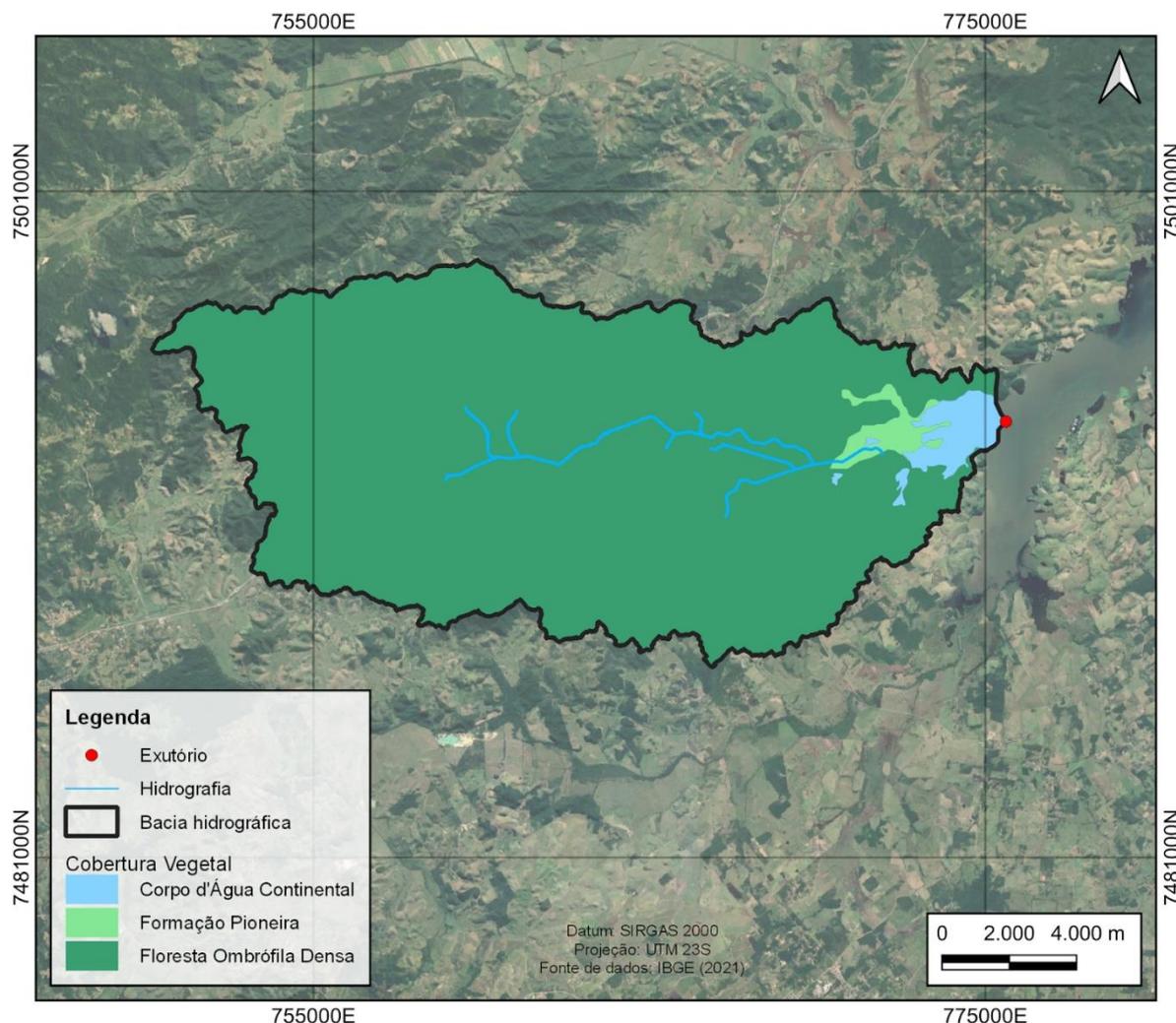
O tempo de concentração médio calculado para a bacia resultou em 243,6 min (aproximadamente 4 horas).

#### **4.1.4. Bioma e cobertura vegetal**

O Brasil detém seis biomas diferentes e o estado do Rio de Janeiro apresenta apenas um deles: a Mata Atlântica. Utilizando como base o Mapa de Biomas do Brasil de escala 1:250.000 (IBGE, 2019), confirma-se a presença da Mata Atlântica em toda extensão da bacia (Figura 3). Este é um bioma formado por floresta tropical com um microclima característico proveniente das sombras das árvores de grande porte, apresentando, ainda, uma biodiversidade robusta.

A cobertura vegetal da bacia, segundo a base de dados espaciais na escala 1:250.000 (IBGE, 2021), é predominantemente constituída de Floresta Ombrófila

Densa, a qual desenvolve uma vegetação característica a partir do regime de chuva abundante e constante, cultivando árvores com grandes dosséis.



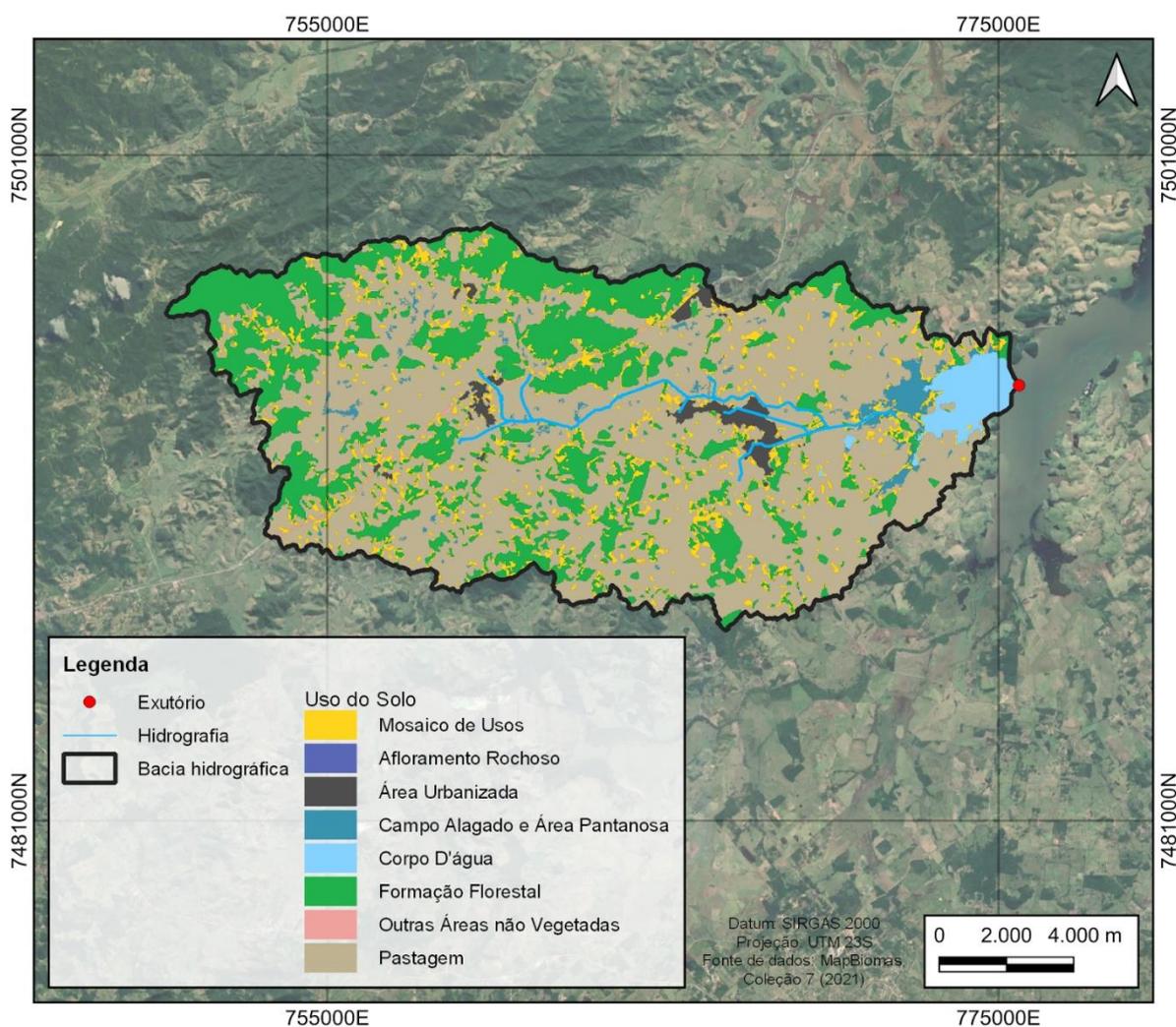
**Figura 3. Cobertura vegetal da área de drenagem da bacia.**

#### **4.1.5. Uso e cobertura do solo**

Por meio das informações do Mapa de Uso e Cobertura da Solo disponível pelo MapBiomas - Coleção 7, foi possível elencar os usos do solo da bacia para 2021. A Tabela 3 expõe as porcentagens de uso do solo no interior da bacia e a Figura 4 ilustra os resultados, tendo a Pastagem como uso predominante.

**Tabela 3. Uso e ocupação do solo.**

LEGENDA	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Pastagem	112,73	56,29
Formação Florestal	54,93	27,43
Mosaico de Usos	19,52	9,75
Corpo D'água	4,98	2,49
Campo Alagado e Área Pantanosa	4,02	2,01
Área Urbanizada	3,75	1,87
Outras Áreas não Vegetadas	0,34	0,17

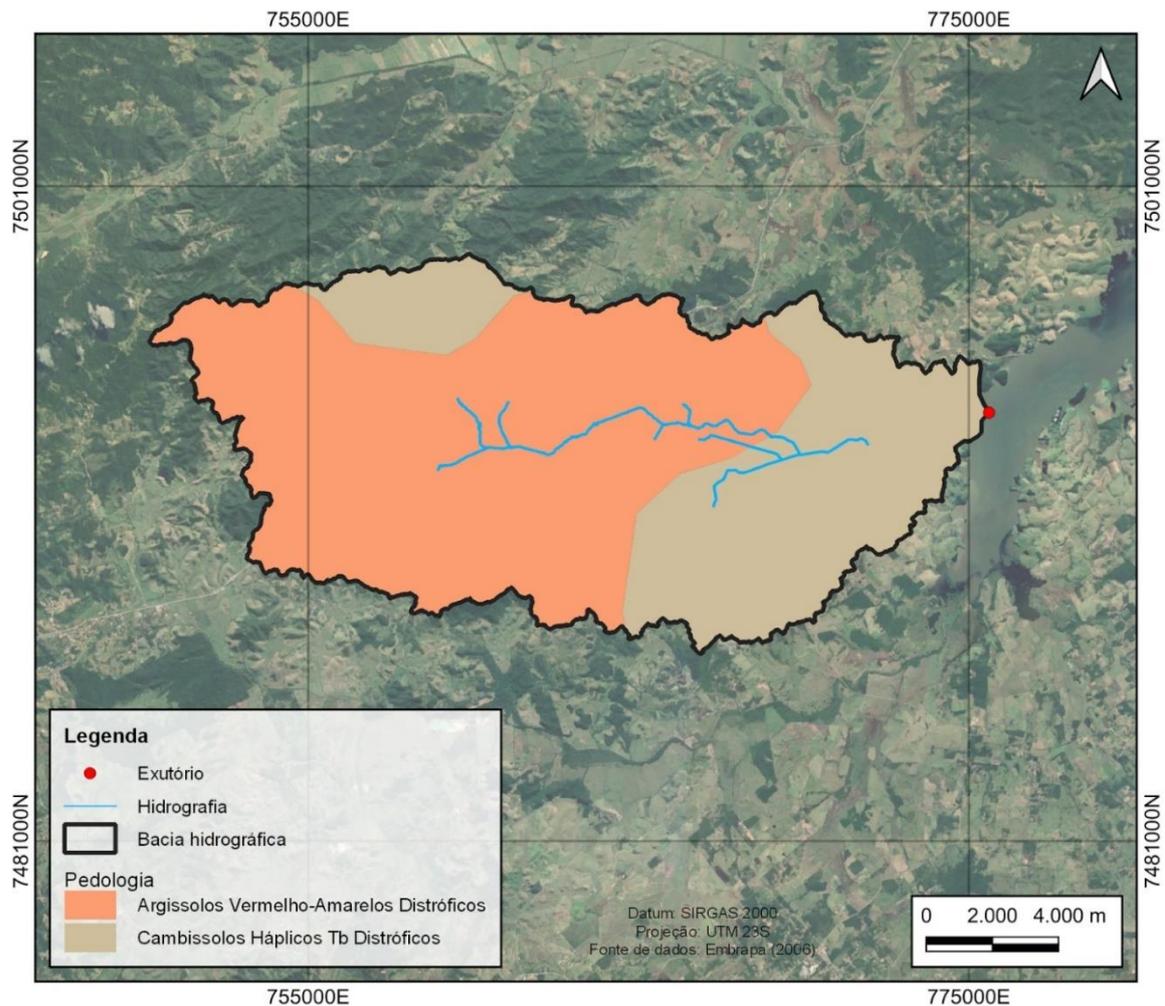

**Figura 4. Cobertura vegetal da área de drenagem da bacia.**

#### **4.1.6. Pedologia**

Fazendo uso da informação vetorial da Embrapa na escala 1:5.000.000, denominado Mapa de Solos do Brasil, elaborado de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006), nota-se que a bacia é constituída 63,61% de Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico e 36,39% de Cambissolos Háplicos Tb Distróficos (Figura 5).

Argissolos são solos constituídos por material mineral com textura arenosa, apresentando profundidades medianas com certo intemperismo. Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico são solos com argila de atividade alta e saturação por bases <50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

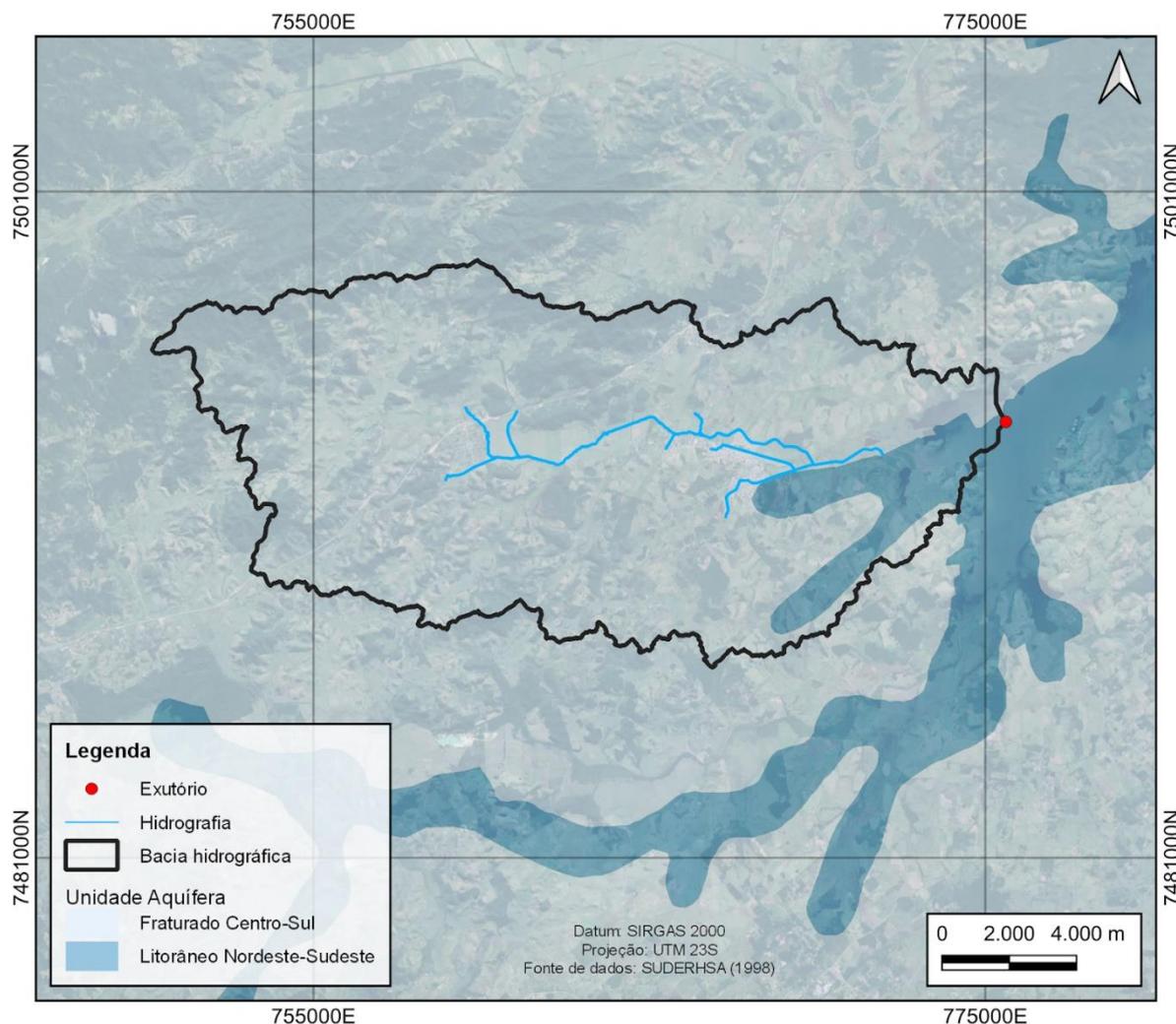
Cambissolos são solos constituídos por material mineral considerado jovem e com pouca profundidade. Mais especificamente, os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos são aqueles com argila de atividade baixa e saturação por bases <50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).



**Figura 5. Pedologia da área de drenagem da bacia.**

#### **4.1.7. Unidade aquífera**

Os sistemas aquíferos são formações geológicas, consolidadas ou não, que armazenam água subterrânea de diferentes formas, podendo, ou não, estar interligados hidráulicamente. Utilizando como base os dados da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA (1998), conclui-se que a bacia é formada pelos sistemas aquíferos Fraturado Centro-Sul e Litorâneo Nordeste-Sudeste, conforme ilustra a Figura 6. O Fraturado Centro-Sul é um aquífero fraturado com águas que circulam por fendas ou falhas na rocha e tendem a apresentar uma possibilidade variada para água subterrânea. Já o Litorâneo Nordeste-Sudeste tende a apresentar maior condutividade elétrica com nível estático baixo.



**Figura 6. Unidade aquífera da área de drenagem da bacia.**

## **4.2. Climatologia**

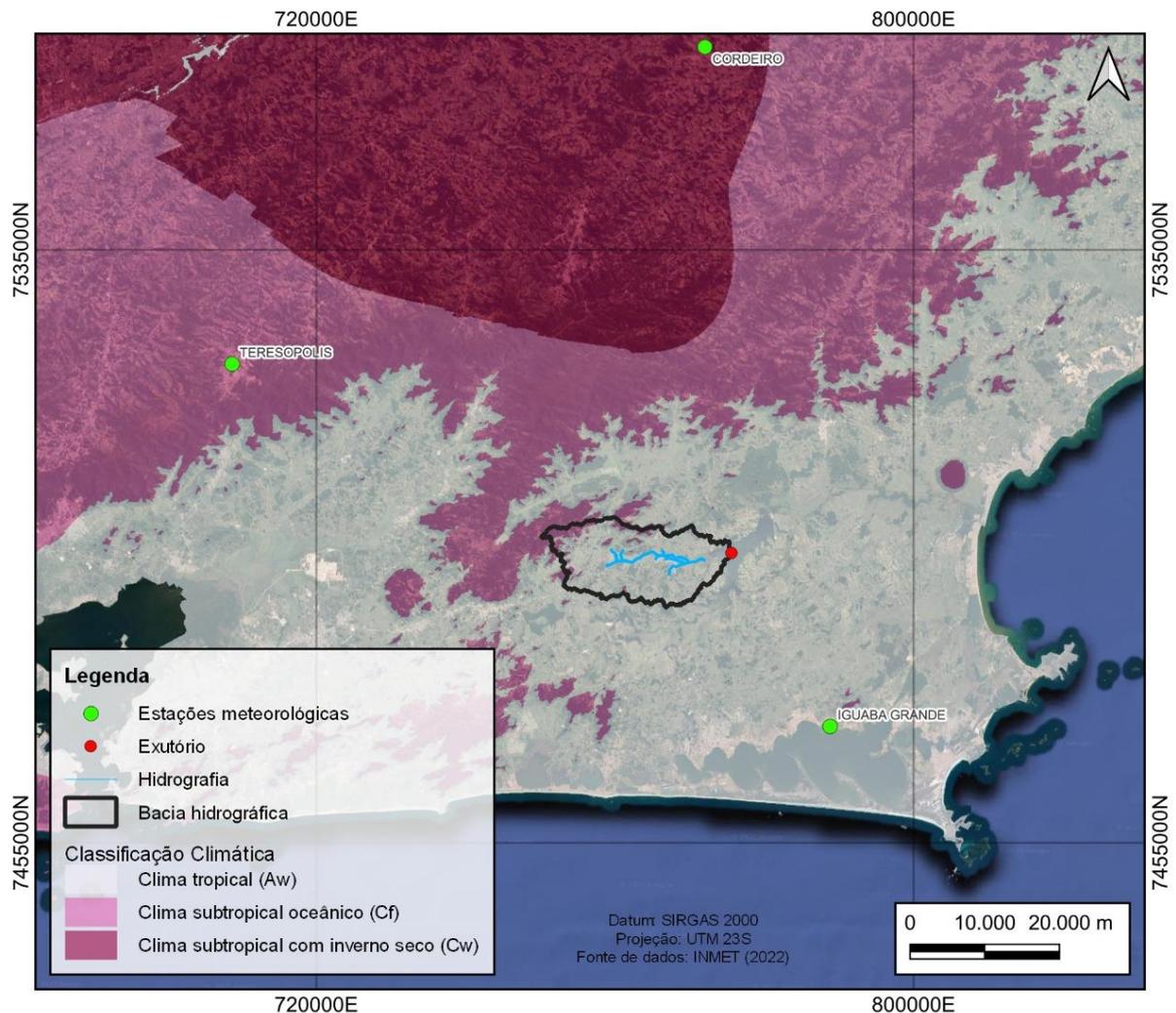
A fim de caracterizar climaticamente a região, utilizou-se como base a classificação climática proposta por Wladimir Köeppen (Alvares et al., 2013) e as Normais Climatológicas para o período de 1991 a 2020, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A estação selecionada foi a Iguaba Grande (Código 83114), distante aproximadamente 27 km da bacia de interesse em sentido sudeste. Os dados da estação meteorológica estão no Quadro 1. É a estação mais próxima de Silva Jardim e está localizada na mesma zona climática e bioma que a bacia de estudo (Figura 7).

**Quadro 1 - Dados da estação meteorológica selecionada.**

NOME	CÓDIGO	CIDADE	ESTADO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
Iguaba Grande	83114	Iguaba Grande	Rio de Janeiro	-22,8469	-42,1856	5,7

Fonte: Adaptado de INMET, 2020.



**Figura 7. Classificação climática da área de estudo e localização das estações meteorológicas.**

De acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013), a bacia de estudo está inserida majoritariamente no clima tropical com inverno seco (Aw). Este apresenta características sazonais, com verão chuvoso, temperaturas altas e poucas variações. Em termos climatológicos, a região apresenta características típicas de uma localidade próxima ao trópico e regiões costeiras. À montante da bacia

tem-se, também, a conexão com o clima subtropical úmido (Cfa), o qual apresenta verões quentes a moderadamente quentes.

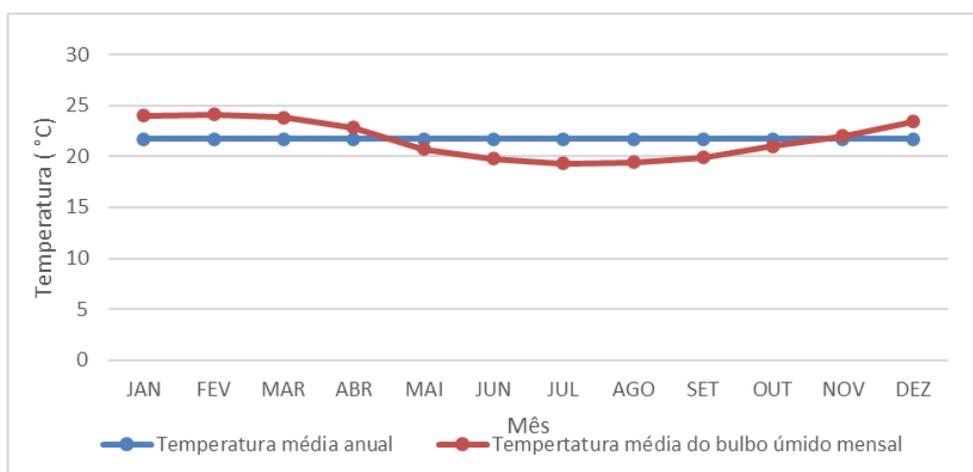
#### 4.2.1. Temperatura

A fim de compreender as temperaturas da região, analisou-se, em primeiro lugar, as temperaturas médias de bulbo úmido (Figura 8), as quais dizem respeito à quantidade de umidade do ar. Estas são apresentadas no Quadro 2 com máxima de 24,1 °C em fevereiro, mínima de 19,3°C em julho e média anual de 21,7°C.

**Quadro 2. Temperaturas médias de bulbo úmido da estação Iguaba Grande.**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
24	24,1	23,8	22,8	20,7	19,8	19,3	19,4	19,9	21	22	23,4	21,7

Fonte: INMET, 2020



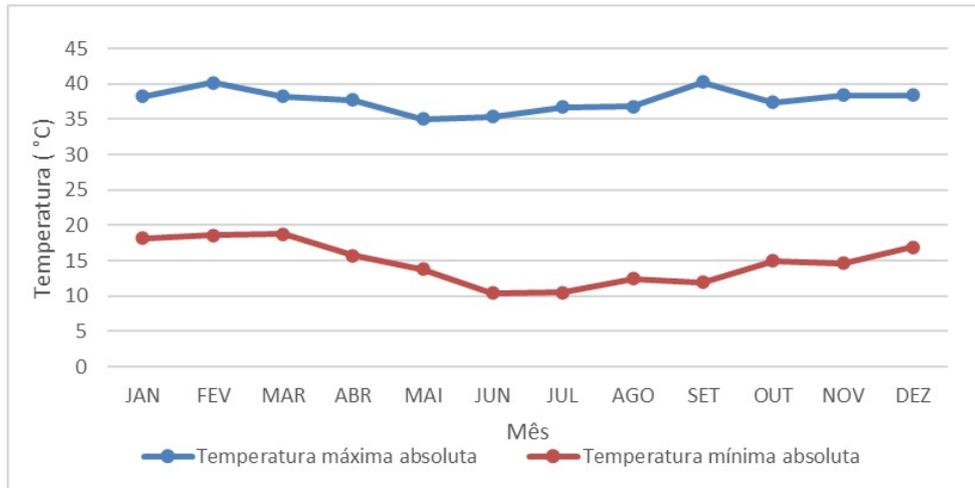
**Figura 8. Temperaturas médias de bulbo úmido e média anual da estação Iguaba Grande.**

Com relação às temperaturas absolutas (Figura 9), tem-se o valor de 40,3°C como a máxima já registrada, ocorrida em setembro de 1997 e a mínima de 10,4°C, em junho de 1994 (Quadro 3).

**Quadro 3. Temperaturas absolutas da estação Iguaba Grande.**

TEMPERATURA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÍNIMA	18,2	18,6	18,8	15,7	13,8	10,4	10,5	12,4	11,9	15	14,6	16,9
MÁXIMA	38,2	40,2	38,2	37,7	35	35,4	36,7	36,8	40,3	37,4	38,4	38,4

Fonte: INMET, 2020



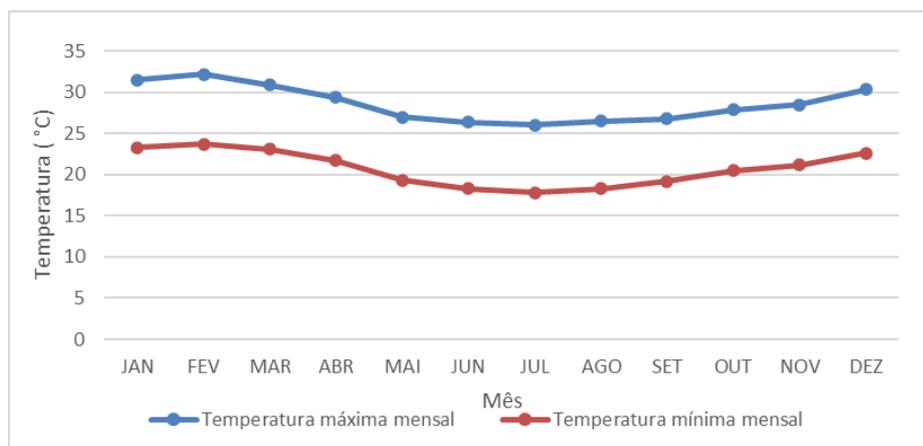
**Figura 9. Temperaturas absolutas máximas e mínimas da estação Iguaba Grande.**

As temperaturas mensais (Figura 10) indicam máximas de 32,2°C em fevereiro e mínima de 17,8°C em julho, conforme mostra o Quadro 4. As temperaturas médias máximas e mínimas foram de 28,6°C e 20,8°C, respectivamente.

**Quadro 4. Temperaturas mensais da estação Iguaba Grande.**

TEMPERATURA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MÍNIMA	23,3	23,7	23,1	21,7	19,3	18,3	17,8	18,3	19,2	20,5	21,2
MÁXIMA	31,5	32,2	30,9	29,4	27	26,4	26	26,5	26,8	27,9	28,5

Fonte: INMET, 2020



**Figura 10. Temperaturas mensais máximas e mínimas da estação Iguaba Grande.**

#### 4.2.2. Pluviosidade

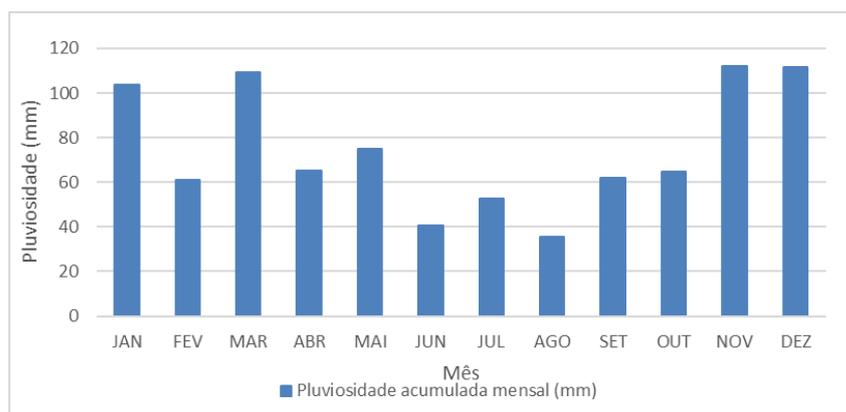
Na estação de análise, a pluviosidade acumulada mensal (Figura 11) teve seu máximo em novembro, atingido 112,1 mm, e seu mínimo em agosto, com 35,5 mm. O acumulado anual foi de 893,3 mm, conforme mostra o Quadro 5.

Percebe-se que o período chuvoso se inicia em setembro, tendo em vista o aumento das precipitações. Assim, conclui-se que o ano hidrológico pode ser caracterizado com início em setembro (início do período chuvoso) e final em agosto do ano seguinte (fim do período seco).

**Quadro 5. Precipitações mensais da estação Iguaba Grande.**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
103,6	61	109,4	65,3	74,8	40,6	52,8	35,5	62	64,6	112,1	111,6	893,3

Fonte: INMET, 2020



**Figura 11. Pluviosidade acumulada mensal da estação Iguaba Grande.**

#### 4.2.3. Evaporação e Evapotranspiração

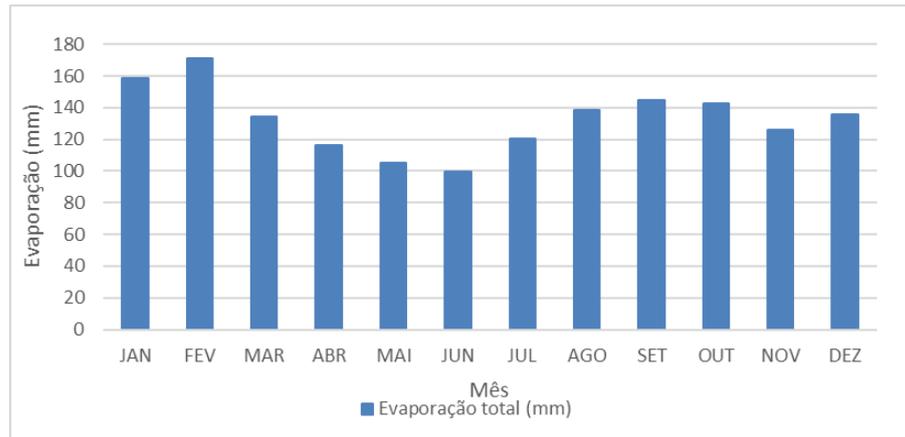
A evaporação total pelo evaporímetro de Piche teve um valor acumulado anual de 1.594,4 mm, com registros variando de 99,4 mm em junho até 171,2 mm em fevereiro (Quadro 6 e Figura 12). Já a evapotranspiração potencial, com acumulado anual de 1.831,6 mm, varia de 102,9 mm em junho até 210,3 mm em janeiro (Quadro 7 e Figura 13). Tanto para evaporação, quanto para evapotranspiração, os mínimos foram atingidos em junho e os máximos, em janeiro.



**Quadro 6. Evaporação total da estação Iguaba Grande.**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
158,7	171,2	134,6	116,1	105,5	99,4	120,6	138,7	144,9	142,5	126,3	135,9	1594,4

Fonte: INMET, 2020

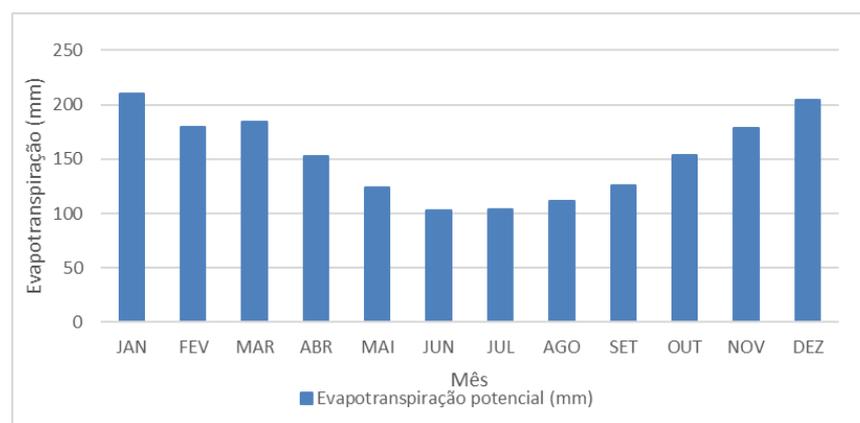


**Figura 12. Evaporação total da estação Iguaba Grande.**

**Quadro 7. Evapotranspiração potencial da estação Iguaba Grande.**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
210,3	179,4	184,4	152,4	124,4	102,9	103,6	111,6	126,1	153,7	178,6	204,2	1831,6

Fonte: INMET, 2020

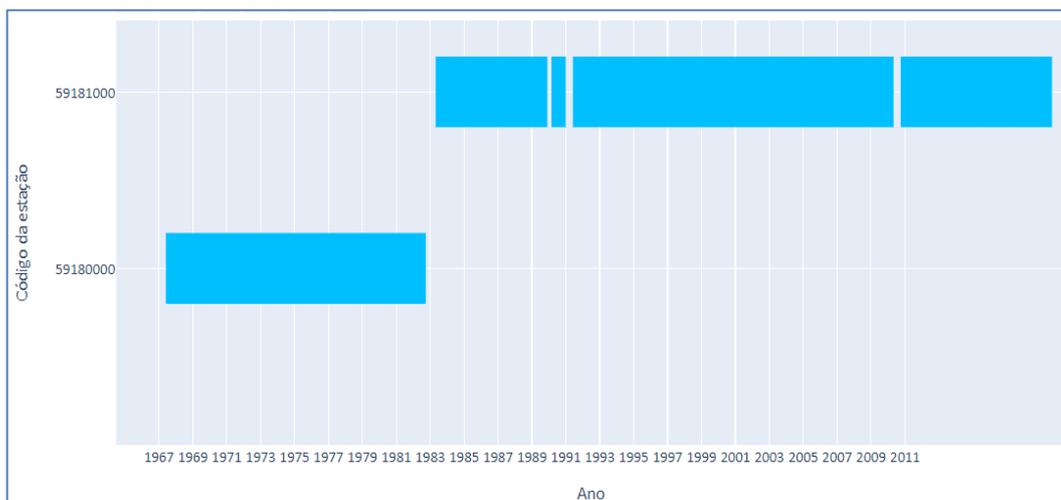


**Figura 13. Evapotranspiração potencial da estação Iguaba Grande.**

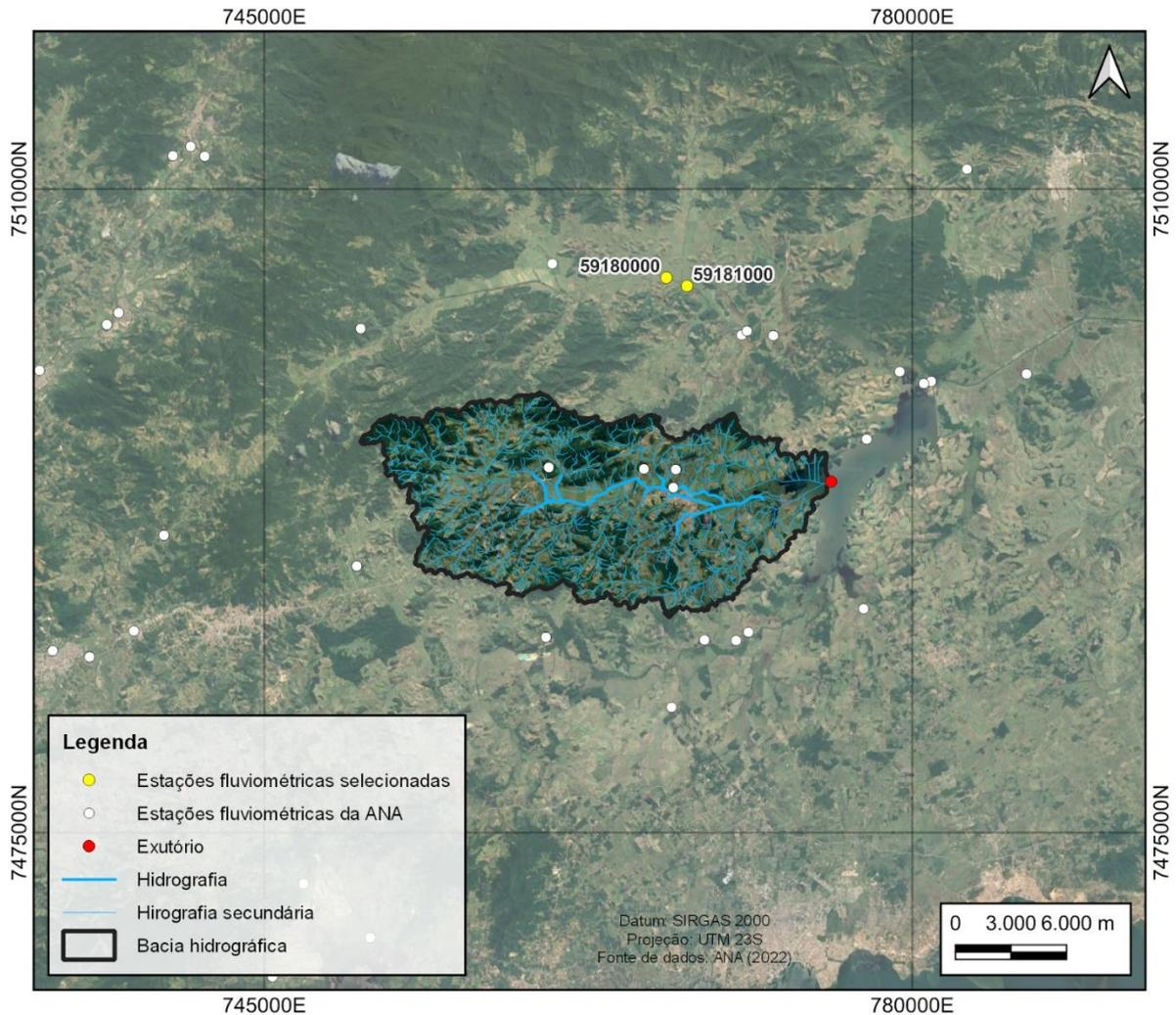
### 4.3. Estudo de vazões máximas

O estudo sobre as vazões tem como objetivo analisar os registros de vazão existentes nos postos fluviométricos localizados na bacia ou áreas circunvizinhas, a fim de gerar dados de vazões mensais e anuais máximas no local de interesse. Para isso, primeiramente foi feita uma análise das estações fluviométricas localizadas nas proximidades da região de estudo, através do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Foram analisados dados de diversas estações dentro e fora da bacia, levando em consideração a disponibilidade dos dados bem como sua confiabilidade a partir de gráficos de Gantt (Figura 14). Destas, foram destacadas na Figura 15 e no Quadro 8 as estações que dispunham de dados representativos para as análises de vazões máximas na área de interesse. Trata-se das estações Correntezas – antiga (Cód. 59180000) e Correntezas – nova (Cód. 59181000), localizadas no Rio São João, com 16 e 38 anos de dados, respectivamente.



**Figura 14. Disponibilidade de dados das estações fluviométricas representativas.**



**Figura 15. Localização da estação fluviométricas utilizadas.**

**Quadro 8. Estações fluviométricas representativas**

CÓDIGO	NOME	MUNICÍPIO	RIO	ÁREA	OPERADORA	LATITUDE	LONGITUDE
59180000	CORRENTEZAS - ANTIGA	SILVA JARDIM	SJOAO	322.8	ANA	-22.54	-42.41
59181000	CORRENTEZAS - NOVA	SILVA JARDIM	SJOAO	404	ANA	-22.54	-42.40

Fonte: ANA, 2020

Dentre as duas estações com dados representativos, a que dispõe de maior série de dados é a Correntezas – nova (Cód. 59181000) que possui poucas falhas. Assim, ela foi a escolhida para as análises de máximas, uma vez que seus dados foram considerados estatisticamente significativos.

#### **4.3.1. Análise e consistência dos dados fluviométricos**

Para a análise e consistência dos dados, foram plotados fluviogramas e cotogramas da estação de referência a fim de se observar suas variações ao longo do tempo. Para o primeiro, plotaram-se também as vazões medidas e, no segundo, as cotas com as vazões medidas. Tais medições são feitas periodicamente para aferir e validar as curvas-chave das estações. A validação dos dados da estação é feita quando os dados medidos de vazão coincidirem com as vazões obtidas pela extrapolação das curvas-chave.

A curva-chave estabelece uma relação entre nível e vazão para uma determinada seção de um rio. Ela é obtida a partir de medidas de vazões pontuais ao longo do tempo, leitura de níveis de forma contínua (limnógrafos) ou com duas leituras diárias em réguas. O traçado das curvas-chave é feito, geralmente, com base na equação do tipo potencial uma vez que tal forma apresenta significado físico, conforme mostrado a seguir:

$$Q = a(H - H_0)^b$$

Em que  $a$ ,  $b$  e  $H_0$  (cota correspondente à vazão igual a zero) são os coeficientes a serem obtidos a partir do ajuste.

Sendo validada a série de dados diários, do ponto de vista das medições, determinaram-se as máximas mensais e anuais (por ano hidrológico). A série de vazões anuais máximas foi submetida a uma análise de *outliers* pelo Método de Grubbs e Beck (1972) a fim de identificar possíveis valores espúrios.

A série resultante foi submetida a um teste não paramétrico de estacionaridade de Mann-Kendall, modificado por Yue and Wang (2004), ao nível de significância de 5%. O método faz a correção na variância considerando autocorrelações nos dados. O teste tem como hipótese nula a não existência de uma tendência monótona e a hipótese alternativa de que existe uma tendência monótona nos dados. Frisa-se que para os ajustes estatísticos de vazões máximas é recomendado que a série seja estacionária.

### 4.3.2. Análise de frequência das vazões

O ajuste estatístico da série de vazões observadas na estação Correntezas - nova (Cód. 59181000), devidamente consistida, resultou em um total de 35 anos de dados.

Essa série foi submetida a uma análise de frequência, com base nas distribuições de probabilidade Normal, Log-Normal, Exponencial, Pearson III e Gumbel, cujas equações estão apresentadas a seguir:

$$\text{Normal} = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

$$\text{LOG Normal} = f(x) = \frac{1}{x\sigma\ln\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu\ln}{\sigma\ln}\right)^2\right]$$

$$\text{Exponencial} = f(x) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{x}{\theta}}$$

$$\text{Pearson III} = f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-Y}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x-Y}{\alpha}}$$

$$\text{Gumbel} = f(y) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{y-\beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right]$$

Nas quais:

$\sigma$ = Média;	$n$ = Parâmetro de forma;
$\mu$ = Desvio padrão;	$\alpha$ = Parâmetro de escala;
$\sigma\ln$ = Média do logaritmo natural;	$\beta$ = Parâmetro de posição;
$\mu\ln$ = Desvio padrão do logaritmo natural;	$k$ = Parâmetro de forma;
$\theta$ = Parâmetro de escala;	$Y$ = Parâmetro de posição;

As probabilidades associadas a cada elemento da série de vazões máximas, usualmente denominadas de posições de plotagem ou probabilidade empírica, foram definidas conforme recomendado por Cunnane (1978).

As distribuições probabilísticas foram ajustadas à amostra utilizando a otimização com base no Método dos Mínimos Quadrados, para dar maior aderência entre a amostra e a população.

Foram avaliadas as vazões para os tempos de recorrências de 2, 10, 25 e 50 anos. Foram utilizadas como métricas de avaliação da qualidade dos ajustes, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{\text{ajustado}}$ ). O  $R^2_{\text{ajustado}}$  foi aplicado uma vez que se comparam distribuições com diferentes quantidades de parâmetros. Ele faz a correção do  $R^2$  levando em consideração o grau de liberdade dos dados, isto é, a diferença entre o número total de amostras e a quantidade de parâmetros do modelo.

### 4.3.3. Vazões instantâneas

Por meio do ajuste estatístico foi possível estimar os valores das vazões médias máximas associadas a diversos tempos de retorno. Contudo, como os postos fluviométricos com séries antigas não possuem registradores contínuos de nível d'água e as leituras de régua ocorrem apenas uma ou duas vezes ao dia, os valores obtidos para as vazões máximas diárias devem ser convertidos em valores máximos instantâneos, que são os valores máximos de vazões ocorridas efetivamente.

Assim, de forma a se estimar a vazão instantânea ( $Q_{\text{instantânea}}$ ) a partir da vazão máxima média diária ( $Q_{\text{média}}$ ), podem-se empregar diferentes métodos conforme Silva e Tucci (1998) dentre os quais se escolheu a equação empírica de Tucci et al (1991) recomenda para o Brasil, conforme mostrado a seguir:

$$Q_{\text{instantânea}} = Q_{\text{média}} * \left( 1 + \frac{15,03}{A^{0,59}} \right)$$

Em que área de drenagem (A) é dada em km<sup>2</sup>.

### 4.3.4. Hidrogramas de cheia

A definição do formato do hidrograma de cheia com base na vazão, seguiu a metodologia proposta por Sokolov *et al.* (1975) *apud* Tucci (1993). Nesta metodologia, a forma do hidrograma de projeto é definida a partir de hidrogramas críticos observados. Assim, selecionou-se os três eventos mais críticos da série de vazões da estação de referência, ocorridos em 2018, 1998 e 1994. O formato do hidrograma foi dado pela envoltória aproximada dos três eventos. Vale ressaltar que o formato definido para o hidrograma na estação de referência será mantida nos hidrogramas

resultantes da regionalização de vazões para as sub-bacias dos principais tributários rio Capivari.

#### **4.3.5. Regionalização de vazões**

A partir das máximas instantâneas pelos tempos de retorno na estação de referência, uma regionalização foi feita a fim de transferir esses dados para as sub-bacias do rio Capivari. A regionalização foi feita com base na proporção de áreas, conforme a equação apresentada a seguir:

$$Q_{sub-bacias} = \frac{A_{sub-bacia}}{A_{estação}} \times Q_{estação}$$

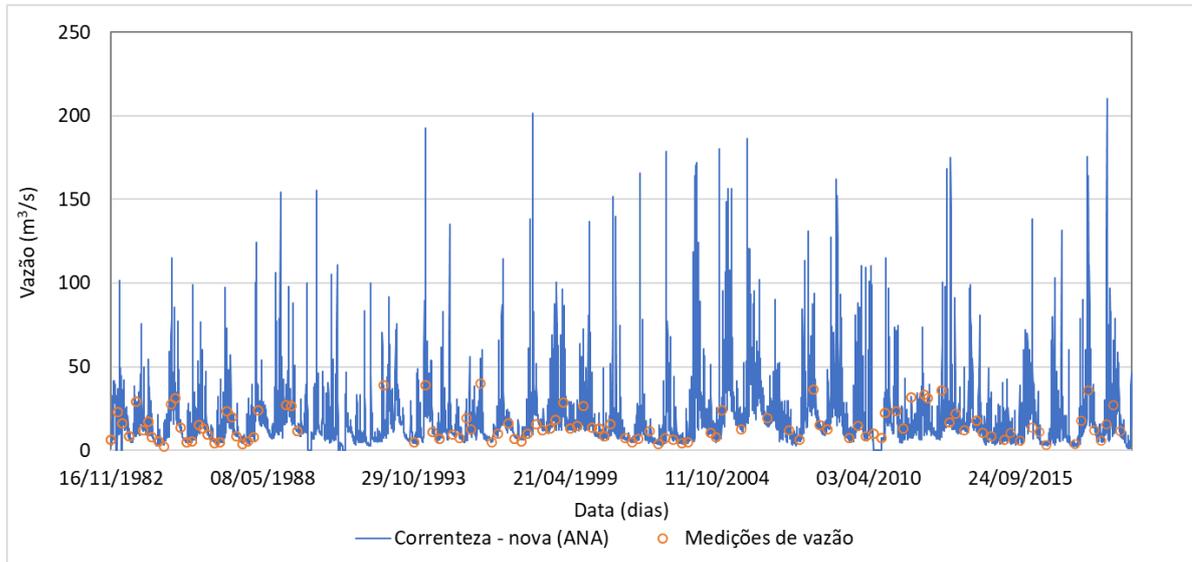
Em que  $Q_{estação}$  corresponde às vazões máximas obtidas na estação fluviométrica de referência para diferentes tempos de retorno e  $Q_{sub-bacias}$  as vazões máximas regionalizadas para as sub-bacias da área de estudo, para diferentes recorrências.

## **5. RESULTADOS**

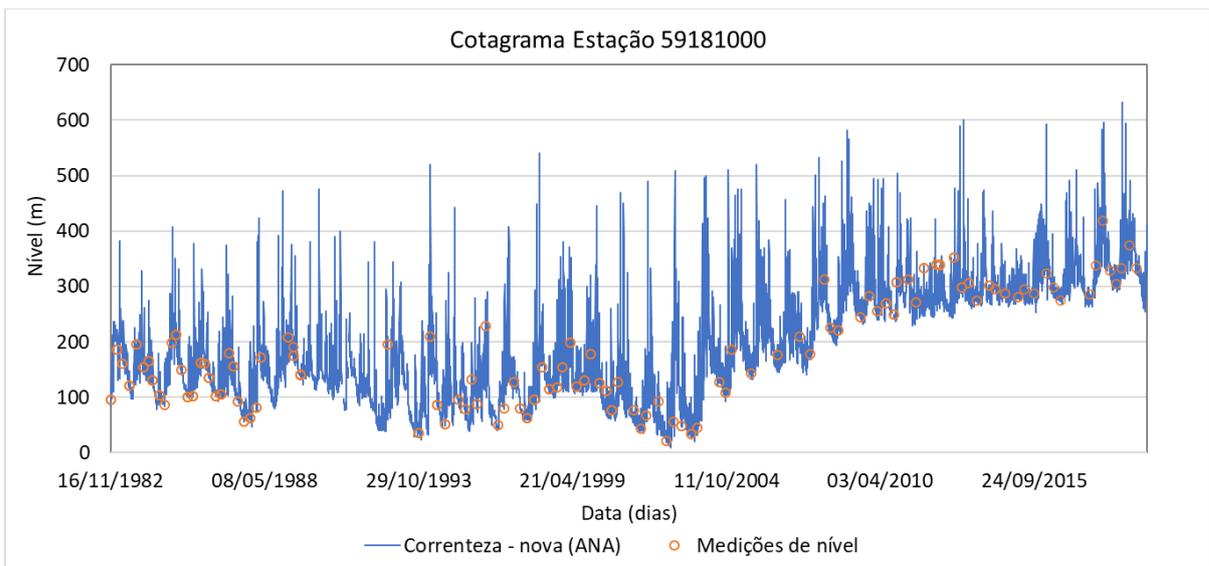
### **5.1. Dados hidrometeorológicos**

A estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000) apresenta diferentes períodos de validade das curvas-chaves. Contudo, a partir da análise dos fluviogramas (Figura 16) e cotagramas (Figura 17), percebe-se que as cotas correspondentes às vazões medidas são coincidentes com as cotas fornecidas pelas curvas chaves definidas para diferentes períodos. As vazões medidas, que auxiliam na aferição e validação das curvas-chave, também se mostraram coerentes com a série de vazões disponibilizadas na estação.

Portanto, percebe-se destas análises, que apesar da variação nas curvas-chave da estação fluviométrica, as variações são mínimas entre o dado extrapolado e o dado medido.



**Figura 16. Fluviograma da estação Correntezas -nova (Cód. 59181000).**

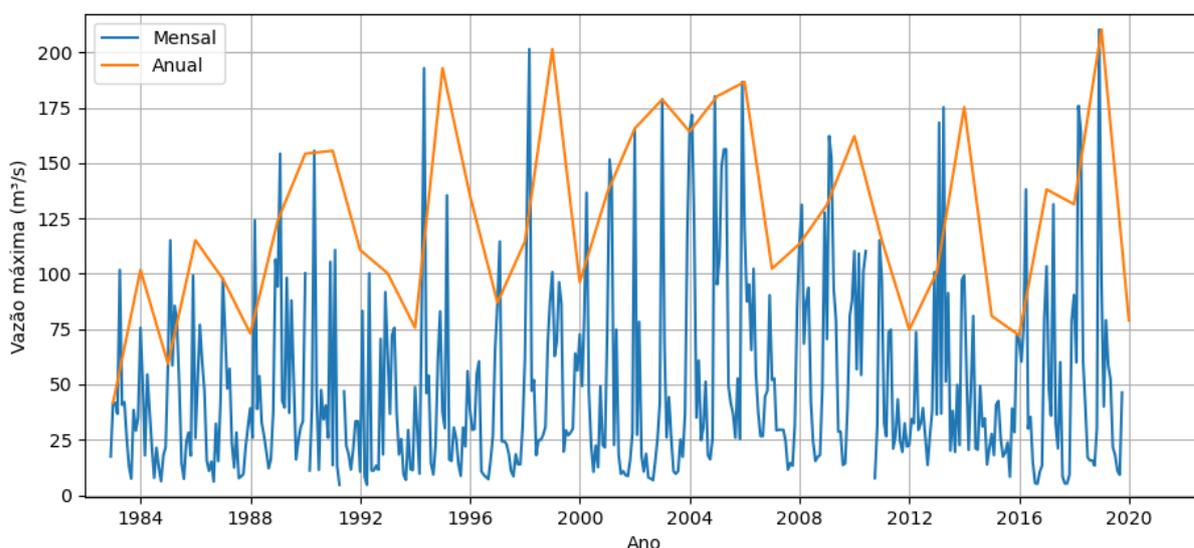


**Figura 17. Cotograma da estação Correntezas -nova (Cód. 59181000).**

## 5.2. Vazões máximas mensais e anuais

A série de vazões máximas mensais e anuais da estação fluviométrica de referência estão apresentadas na Figura 18. Para as análises de frequência, foram utilizadas a série de vazões máximas por ano hidrológico que foi definido como sendo de setembro de um ano a agosto do ano subsequente, resultando nos máximos apresentados no Quadro 9.

Pelo teste de Grubbs e Beck (1972), a vazão referente ao ano hidrológico de 2014-2015 foi considerado um *outlier*, optando-se pela exclusão do mesmo das análises posteriores, sem prejuízo amostral. A série de vazões máximas por ano hidrológico resultante contabiliza 35 anos de dados (Quadro 9). Na Tabela 4 são apresentadas as estatísticas descritivas da série de dados devidamente consistida.



**Figura 18. Série de vazões mensais e anuais da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000).**

**Quadro 9. Vazões máximas por ano hidrológico da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000)**

ANO HIDROLÓGICO	VAZÃO MÁXIMA (m³/s)	ANO HIDROLÓGICO	VAZÃO MÁXIMA (m³/s)
1983-1984	75,61	2001-2002	165,56
1984-1985	115,11	2002-2003	178,75
1985-1986	99,20	2003-2004	171,74
1986-1987	97,68	2004-2005	180,17
1987-1988	124,15	2005-2006	186,64
1988-1989	154,25	2006-2007	90,29
1989-1990	155,56	2007-2008	131,18
1990-1991	110,74	2008-2009	162,19
1991-1992	100,22	2009-2010	110,20
1992-1993	91,72	2010-2011	115,11
1993-1994	192,87	2011-2012	73,54
1994-1995	135,38	2012-2013	175,22
1995-1996	60,45	2013-2014	99,20
1996-1997	114,56	2014-2015	42,52*

ANO HIDROLÓGICO	VAZÃO MÁXIMA (m <sup>3</sup> /s)	ANO HIDROLÓGICO	VAZÃO MÁXIMA (m <sup>3</sup> /s)
1997-1998	201,49	2015-2016	138,10
1998-1999	100,73	2016-2017	131,39
1999-2000	136,60	2017-2018	175,83
2000-2001	151,65	2018-2019	210,33

\*considerado *outlier* e excluído das análises de frequência

**Tabela 4 – Estatística descritiva das vazões máximas por ano hidrológico da estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000)**

PARÂMETRO	UHE SANTA CLARA (ONS)
Dimensão da amostra	35
Média	134,7
Variância	1561,3
Desvio Padrão	39,5
Amplitude	149,9
Máximo	210,3
Mínimo	60,4
Assimetria	0,1
Curtose	-1,0

### 5.3. Análise de frequência de vazões

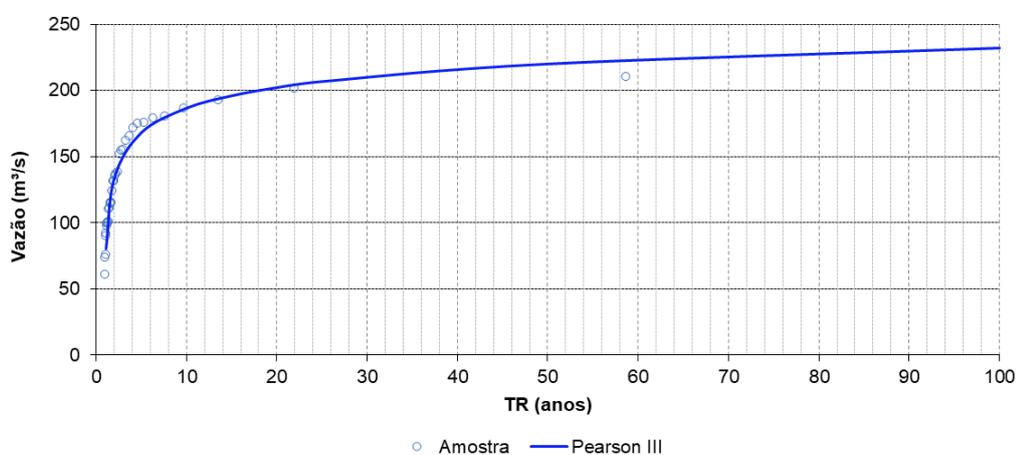
A partir da série de vazões máximas por ano hidrológico apresentada na Tabela 5, foi feita uma análise de frequência das vazões conforme descrito no Item 4.3.2. Vale ressaltar que esta série não apresentou tendência ao nível de significância de 5% conforme mostrou o teste Mann-Kendall aplicado ( $p = 0,14$ ). Um  $p$  valor acima de 0,05 significa que não foi possível rejeitar a hipótese nula de não existência de uma tendência monótona tendência. Assim, a série de vazões máximas por ano hidrológico está apta para as análises de frequência subsequentes.

Dentre as distribuições aplicadas, as que tiveram melhor aderência aos dados de vazão da estação Correntezas -nova (Cód. 59181000) foi a distribuição Pearson III seguida da Normal, com os maiores  $R^2_{ajustado}$  de 0,9775 e 0,9772, respectivamente (Tabela 5).

**Tabela 5 – Parâmetros dos ajustes das distribuições à série de vazões máximas da estação  
fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000)**

PARÂMETRO	NORMAL	LOG NORMAL	EXPONENCIAL	PEARSON III	GUMBEL
$\sigma$	134,669	4,868	-	-	117,155
$\mu$	39,886	0,282	-	-	31,164
$\alpha$	-	-	96,818	134,734	-
$\beta$	-	-	38,596	39,915	-
$\Omega$	-	-	-	0,146	-
R <sup>2</sup>	0,9779	0,9563	0,8428	0,9788	0,9399
R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub>	0,9773	0,9550	0,8381	0,9775	0,9381
Delta	0,001	0,002	0,008	0,001	0,003
Assimetria	0,141	0,877	1,696	0,268	1,072
Curtose	-0,214	0,667	2,800	-0,158	1,145

A Figura 19, ilustra o ajuste da distribuição Pearson III que melhor se aderiu às vazões extremas observadas.


**Figura 19. Ajuste da distribuição Pearson III à série de vazões da estação fluviométrica  
Correntezas - nova (Cód. 59181000).**

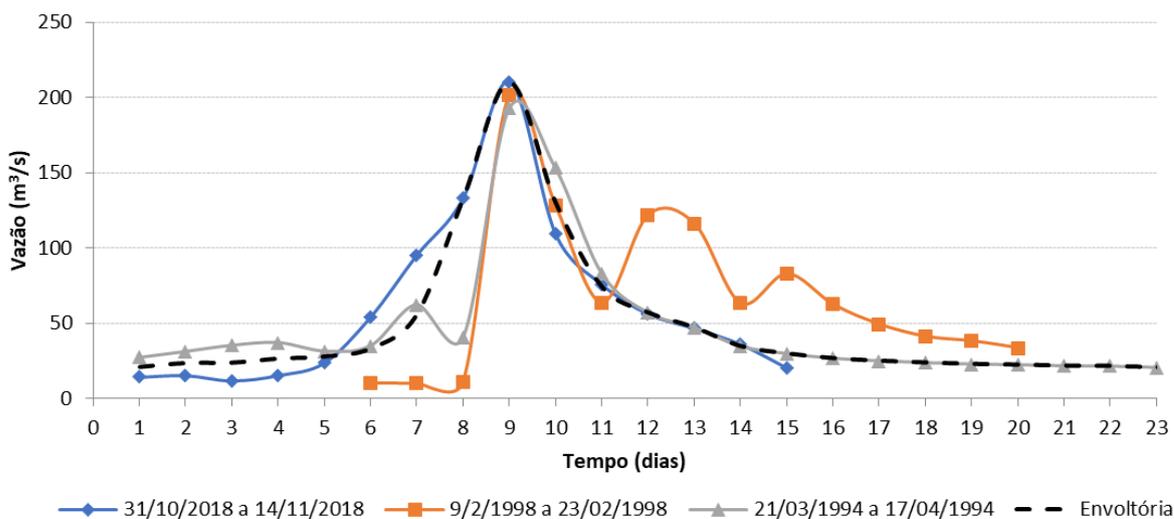
A partir da distribuição de extremos definido, calcularam-se as vazões máximas instantâneas para os diferentes tempos de retorno, conforme apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Vazões máximas e instantâneas para diversas recorrências obtidas para estação fluviométrica Correntezas -nova (Cód. 59181000)**

TR (anos)	VAZÃO MÁXIMA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO MÁXIMA INSTANTÂNEA (m <sup>3</sup> /s)
2	134	192
10	186	268
25	207	297
50	220	316

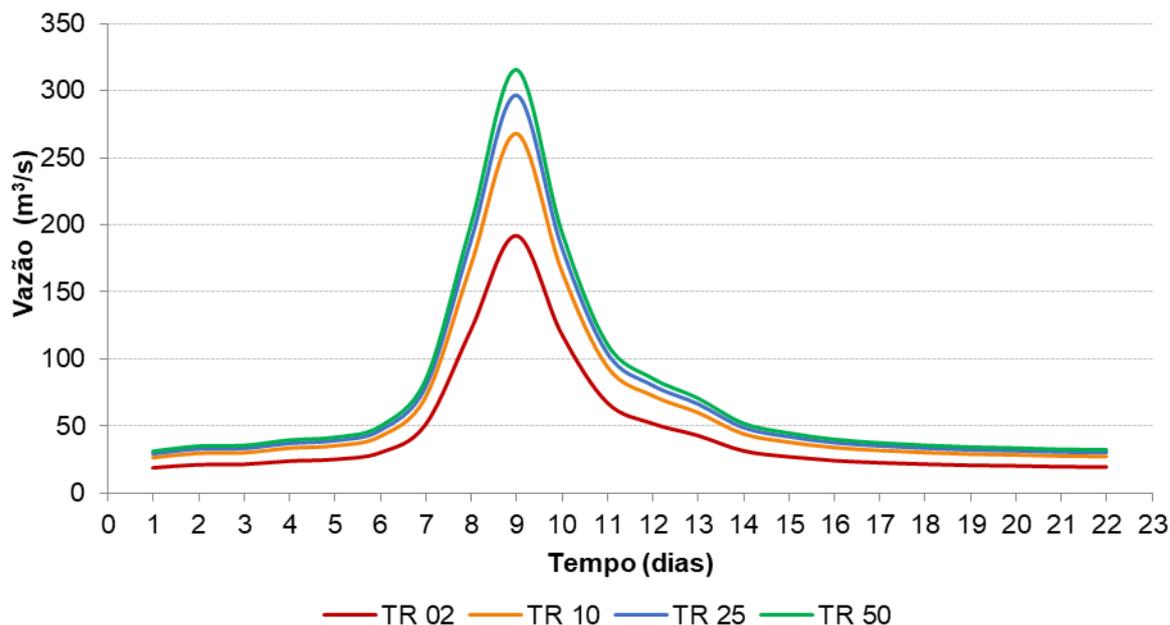
#### 5.4. Hidrogramas de cheias

Conforme descrito na metodologia, o formato do hidrograma foi dado pela envoltória dos 3 eventos mais críticos observados na estação de referência, conforme ilustrado na Figura 20.



**Figura 20. Envoltória dos principais eventos críticos registrados na estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000).**

Tendo o formato definido e conhecendo-se as vazões máximas instantâneas, determinaram-se os hidrogramas de cheias para a estação de referência, conforme ilustrados na Figura 21.

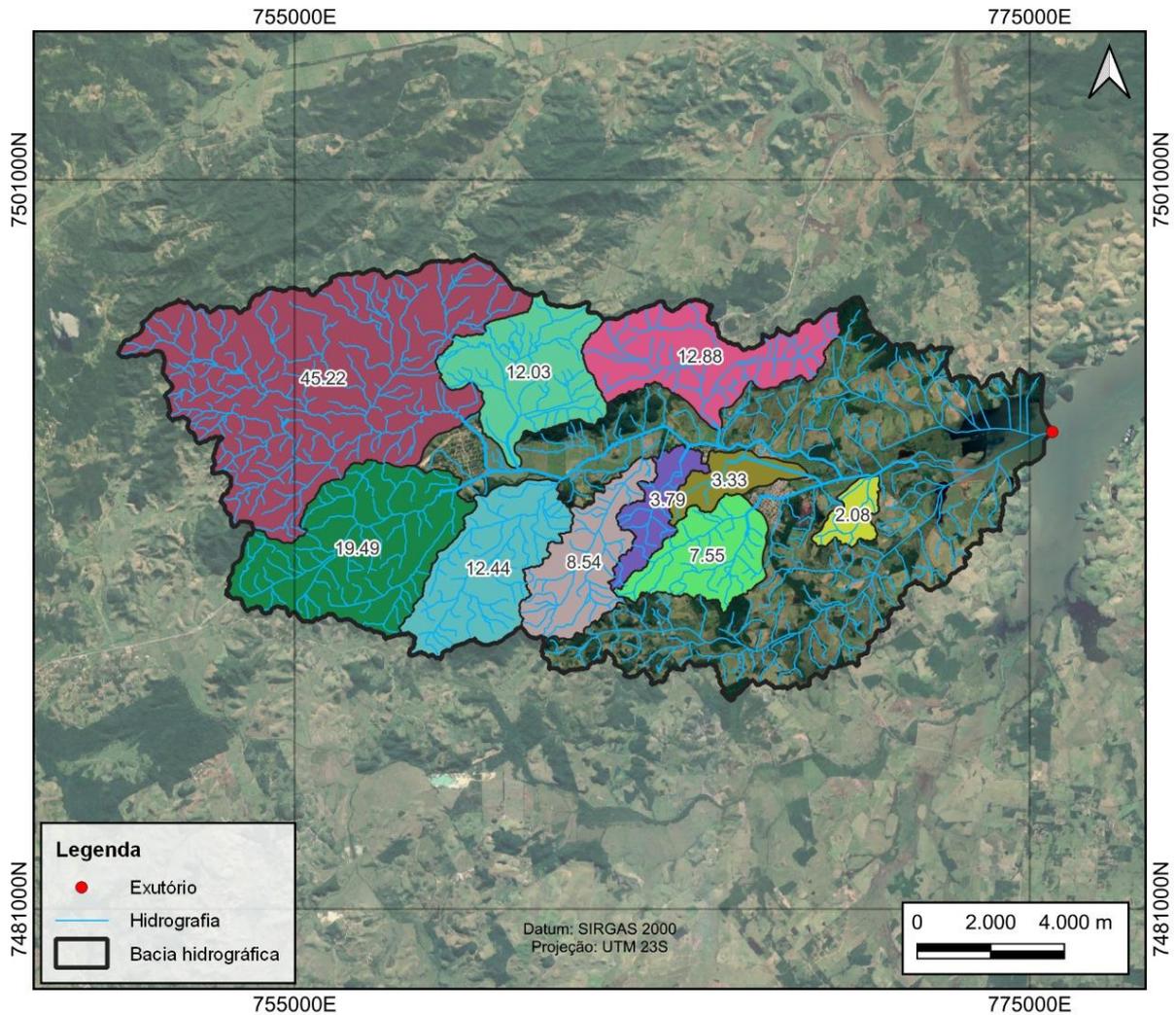


**Figura 21. Hidrogramas de cheias para a estação fluviométrica Correntezas - nova (Cód. 59181000).**

### **5.5. Regionalização dos hidrogramas de cheia**

Conforme descrito ao longo deste estudo, os dados de vazões com dados representativos se localizam numa estação distante cerca de 27 km da bacia do rio Capivari (local de interesse). Portanto, uma regionalização dos hidrogramas de cheias obtidas na estação de referência se faz necessário.

Assim, primeiramente, a bacia de estudo foi subdividida em sub-bacias menores, considerando os tributários mais significativos para posterior modelagem hidrodinâmica, conforme mostrada na Figura 22. Importa frisar que esta subdivisão pode sofrer modificações no âmbito da modelagem hidrodinâmica, conforme se julgar mais adequado. Portanto, é ilustrada a regionalização do hidrograma de cheia para a maior sub-bacia (localizada mais a montante da bacia), apenas a título de exemplificação.



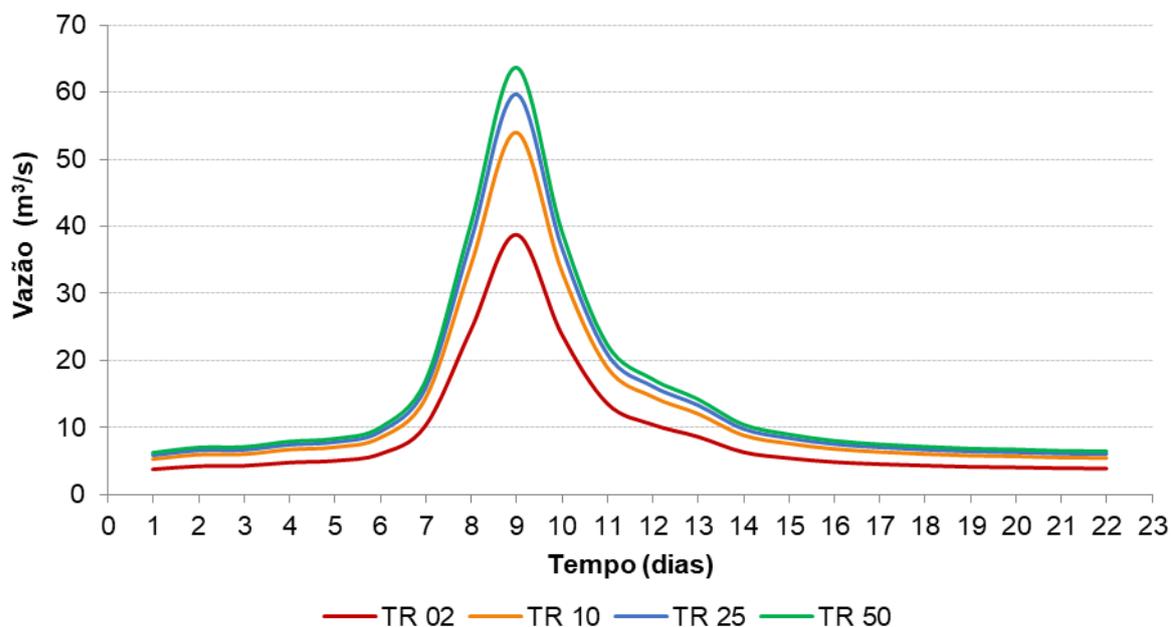
**Figura 22. Sub-bacias do rio Capivari e suas respectivas áreas de drenagem.**

Considerando a maior sub-bacia de drenagem, de aproximadamente 45,22 km<sup>2</sup>, as vazões máximas instantâneas regionalizadas são menores, conforme apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Vazões máximas e instantâneas regionalizadas para uma das sub-bacias da área de estudo.**

TR (anos)	VAZÃO MÁXIMA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO MÁXIMA INSTANTÂNEA (m <sup>3</sup> /s)
2	15	39
10	21	54
25	23	60
50	220	316

A partir das vazões máximas instantâneas e do formato do hidrograma definido previamente, os hidrogramas de cheias resultantes se configuram de menor magnitude visto ser uma área menor, conforme ilustrados na Figura 23.



**Figura 23. Hidrogramas de cheias regionalizadas de uma das sub-bacias da área de estudo.**

Em um processo similar serão obtidos os hidrogramas de cheias para as recorrências de 2, 10, 25 e 50 anos para as principais sub-bacias de contribuição ao trecho modelado.

## **6. CONCLUSÃO**

Neste quarto relatório (R-4) foram apresentados os dados e estudos hidrológicos da bacia do rio Capivari, que, posteriormente, fornecerá os dados necessários para a modelagem hidrodinâmica a ser apresentada na sequência dos produtos. Para tal, primeiramente foi feita uma caracterização fisiográfica e climatológica da área de estudo. Na sequência, uma análise exploratória dos dados foi feita a fim de se determinar as estações fluviométricas dentro e fora da bacia que dispusessem de dados estatisticamente representativos para as análises de vazões máximas almejada.

A partir da análise dos dados disponíveis, verificou-se que a estação com melhor série de vazões e poucas falhas é a estação Correntezas – nova (Cód. 59181000), localizada na bacia vizinha (a aproximadamente 27 km). Os dados foram consistidos e validados com base nas análises dos cotogramas e fluviogramas desta estação. Foram feitos ainda testes estatísticos que garantiram a estacionariedade da série de vazões máximas por ano hidrológico.

A partir da série de vazões máximas consistidas, aplicaram-se algumas distribuições estatísticas de frequência, do qual se constatou que a distribuição de Pearson III foi a que melhor se aderiu aos dados. A mesma foi adotada para a obtenção das curvas de probabilidades da estação de referência (vazões pelos tempos de recorrência). As vazões máximas foram convertidas em vazões instantâneas e, a partir das envoltórias de três principais eventos críticos registrados nesta estação, se definiu o formato do hidrograma. Por fim, uma regionalização dos hidrogramas de cheias foi demonstrada para uma das sub-bacias de interesse.

Assim, através da metodologia aplicada, obtiveram-se os dados essenciais para a posterior modelagem hidrodinâmica e consequente obtenção das manchas de inundação para diferentes tempos de recorrências.

## 7. REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

COLLISHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 2 ed, rev. e ampl. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DOS LAGOS E DO RIO SÃO JOÃO. Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João. Rio de Janeiro, 2005.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS DO SÃO JOÃO (CILJS). Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do Rio São João. Araruama-RJ: Consórcio Intermunicipal para Gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira – CILSJ, 2005. 153p.

CUNNANE, C. Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis. Word Meteorological Organization Operational Hydrology Report, No. 33, Geneva. 1989.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, 2018.

GRUBBS, F. E., e BECK, G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. Technometrics, 14 (4), 847– 854. 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). História: Silva Jardim (RJ). Brasil, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/silva-jardim/historico>>. Acesso em 15 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de Biomas do Brasil de escala 1:250.000. Brasil, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de Solos do Brasil de 1:5.000.000. Brasil, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de vegetação do Brasil de 1:250.000. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em 15 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas (1991-2020). Brasil, 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 15 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil - Planos de informações de altitude. São José dos Campos, 2008. Disponível em: [\\_\\_<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>](http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php). Acesso em 15 set. 2022.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil engineering, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

MEHDI, F.; MEHDI, J. Determination of Plotting Position Formula for the Normal, Log-Normal, Pearson(III), Log-Pearson(III) and Gumble Distributional Hypotheses Using The Probability Plot Correlation Coefficient Test. World Applied Sciences Journal, Ramhormoz, Iran., v. 15, n. 8, p.1184-1884. 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Silva Jardim. Rio de Janeiro, 2017.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL MUNICIPAL (SEMDEC). Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLACON, 2015. Disponível em: [<http://ww2.silvajardim.rj.gov.br/site/phocadownload/2015/plano\\_de\\_contingencia\\_d\\_e\\_proteo\\_e\\_defesa\\_civil\\_atualizado\\_2015.pdf>](http://ww2.silvajardim.rj.gov.br/site/phocadownload/2015/plano_de_contingencia_d_e_proteo_e_defesa_civil_atualizado_2015.pdf). Acesso em: 22 set. 2022.

SILVEIRA, A.L.L. (2005). Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 10, pp.5-23.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO (TCE). Estudos socioeconômicos dos municípios do estado do Rio de Janeiro: Silva Jardim. Rio de Janeiro, 2019

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 1ª ed. Porto Alegre: EDUSP: ABRH, 1993.

YUE, S.; WANG, C. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. Water Resources Management, 18(3), 201-218, 2004. doi:10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60