

HUNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO AMBIENTAL

LEONARDO CASTILHO BALBINOT

**HIDROLOGIA E REGENERAÇÃO PASSIVA: UM ESTUDO DE CASO NA RPPN  
FLORESTA DAS ÁGUAS PERENES, BROTAS-SP**

Hydrology and passive regeneration: a case study in the RPPN Floresta das Águas Perenes,  
Brotas-SP

Sorocaba

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO AMBIENTAL

LEONARDO CASTILHO BALBINOT

**HIDROLOGIA E REGENERAÇÃO PASSIVA: UM ESTUDO DE CASO NA RPPN  
FLORESTA DAS ÁGUAS PERENES, BROTAS-SP**

Hydrology and passive regeneration: a case study in the RPPN Floresta das Águas Perenes,  
Brotas-SP

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Sustentabilidade na  
Gestão Ambiental, para obtenção do título  
de Mestre Sustentabilidade na Gestão  
Ambiental

Orientação: Profa. Dra. Kelly Cristina  
Tonello

Sorocaba

2023

Balbinot, Leonardo Castilho

Hidrologia e restauração passiva: um estudo de caso na RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP / Leonardo Castilho Balbinot -- 2023.  
79f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Kelly Cristina Tonello  
Banca Examinadora: Marcelle Teodoro, Jeferson Alberto de Lima  
Bibliografia

1. Restauração passiva. 2. Índices de vegetação. 3. Bacia hidrográfica. I. Balbinot, Leonardo Castilho. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8  
6979

*FOLHA DE APROVAÇÃO***LEONARDO CASTILHO BALBINOT****HIDROLOGIA E REGENERAÇÃO PASSIVA: UM ESTUDO DE CASO NA RPPN FLORESTA DAS ÁGUAS PERENES, BROTAS-SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 30 de maio de 2023.

Orientador(a)



Documento assinado digitalmente  
KELLY CRISTINA TONELLO  
Data: 19/06/2023 11:56:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. (a) Kelly Crisitna Tonello

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Examinador(a)



Documento assinado digitalmente  
MARCELLE TEODORO LIMA CUNHA  
Data: 20/06/2023 15:18:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. (a) Marcelle Teodoro

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Examinador(a)



Documento assinado digitalmente  
JEFERSON ALBERTO DE LIMA  
Data: 21/06/2023 18:11:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr.(a) Jeferson Alberto de Lima

Universidade Federal de Rondônia - UNIR

**DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a toda a minha família que me apoiou nessa trajetória.*

## AGRADECIMENTO

Agradeço, À Professora Dra. Kelly Cristina Tonello pela confiança, pelos desafios, por todo apoio, dedicação e amizade que tornaram este trabalho possível.

A todos os membros do grupo de pesquisa Hidrolef, pelas contribuições neste trabalho, em especial Alexandra Guideli, Marcelle Teodoro, Gregório Matus e Cícero Branco, pelas boas risadas em campo, por todo apoio e amizade nesta jornada.

A toda minha família, em especial meus pais Moacir e Mônica e irmão Eduardo, pela confiança e conselhos.

A minha Esposa Luara pelo amor, companheirismo e apoio em todos os momentos dessa jornada.

Aos doutores Darllan, Luiz, Jefferson, Marcelle pela participação das bancas e contribuições ao trabalho.

À empresa Sylvamo do Brasil Ltda pela disponibilidade da área e pelo apoio financeiro, viabilizando toda a coleta de dados.

Ao PPGSGA pela oportunidade e conhecimento.

## RESUMO GERAL

As mudanças climáticas e a perda de biodiversidade florestal são dois dos maiores desafios enfrentados em nível global e a proteção e a regeneração florestal de áreas ecologicamente frágeis pode auxiliar a enfrentar esses problemas. Porém, ainda existem muitos desafios para avaliar com precisão a regeneração florestal. Do ponto de vista hidrológico, o Cerrado é o local de formação das principais bacias hidrográficas brasileiras e vem cada vez mais sofrendo com ações de desmatamento. A presente pesquisa teve como objetivo contribuir para o entendimento da relação entre a morfometria de bacias hidrográficas e o comportamento da regeneração natural através de índices de vegetação. Os dados foram trabalhados no software QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2. tendo como base dados da base do IBGE, o Serviço Geológico dos Estados Unidos e avaliações de campo. A bacia hidrográfica apresenta forma alongada, sendo seu coeficiente de compacidade igual a 5,83 (Kc), assim como fator de forma 0,48 (F) e índice de circularidade de 0,37 (IC), afastando-se dos valores que representam uma bacia hidrográfica circular, essas características indicam uma menor concentração do deflúvio, apresentando menor capacidade de infiltração. A densidade de drenagem (Dd) observada foi de 2,27 km/km<sup>2</sup>, O padrão de drenagem da bacia hidrográfica, mostrou-se dendrítico com sistema de ordenamento dos canais de terceira ordem, sendo 9 canais de primeira ordem, 5 de segunda ordem e 1 de terceira ordem, a declividade média encontrada foi de 8,97%, condizendo com o relevo suave ondulado a ondulado da região. Os valores encontrados para os parâmetros físicos e concentração de nutrientes estão na Classe 1 para águas doces da Resolução CONAMA 365/2005. Analisando a situação atual da RPPN Águas Perenes, pode-se concluir que esta se encontra em estágio avançado de regeneração, principalmente ao longo dos cursos de água, tendo aproximadamente 80% de sua área em estágio médio/avançado de regeneração.

Palavras-chave: Regeneração florestal, Recursos hídricos, Bioma Cerrado.

## ABSTRACT

Climate change and the loss of forest biodiversity are two of the biggest challenges faced globally and the protection and forest regeneration of ecologically fragile areas can help to face these problems. However, there are still many challenges to accurately assess forest regeneration. From the hydrological point of view, the Cerrado is where the main Brazilian river basins form and is increasingly suffering from deforestation. This research aimed to contribute to the understanding of the relationship between the morphometry of watersheds and the behavior of natural regeneration through vegetation indices. Data were processed using QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2 software. based on data from the IBGE database, the United States Geological Survey and field assessments. The hydrographic basin has an elongated shape, with a compactness coefficient equal to 5.83 ( $K_c$ ), as well as a shape factor of 0.48 ( $F$ ) and a circularity index of 0.37 ( $IC$ ), moving away from the values that represent a circular hydrographic basin, these characteristics indicate a lower concentration of runoff, with lower infiltration capacity. The observed drainage density ( $D_d$ ) was 2.27 km/km<sup>2</sup>. and 1 of the third order, the average slope found was 8.97%, consistent with the gently undulating relief of the region. The values found for the physical parameters and nutrient concentration are in Class 1 for fresh waters of CONAMA Resolution 365/2005. Analyzing the current situation of the RPPN Águas Perenes, it can be concluded that it is in an advanced stage of regeneration, mainly along the watercourses, with approximately 80% of its area in a medium/advanced stage of regeneration.

**Keywords:** Forest restoration, Water resources, Cerrado Biome.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização RPPN - Águas Perenes, Brotas - SP.....	23
Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica, Brotas, SP. ....	23
Figura 3: Fluxograma representando as operações realizadas na modelagem hidrográfica do terreno.....	24
Figura 4: (A) Localização dos pontos de amostragem na microbacia da Floresta das Águas Perenes, (B, C) cursos d'águas sem calha delimitada, (D) ponto de amostragem 1 (P1) e (E) ponto de amostragem 2 (P2).....	31
Figura 5: Ordenamento da bacia hidrográfica, Brotas – SP. ....	34
Figura 6: Mapa de declividade da bacia hidrográfica, Brotas - SP. ....	35
Figura 7: Boxplot das médias de pH (a), temperatura (b), oxigênio dissolvido (c), nitrato (d), amônia (e), nitrogênio total (f), fósforo total (g) e ortofosfato (h) nos pontos amostrados (P1 e P2). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP.....	37
Figura 8: Médias mensais de (a, b) pH, (c, d) temperatura e oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de amostragem, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP. 2019-2020. Barras verticais indicam erro padrão da média.....	38
Figura 9: Médias mensais de (a) nitrato, (b) amônia, (c) nitrogênio total, (d) ortofosfato, (e) fosfato total e (f) vazão nos pontos de amostragem, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP. 2019-2020. Barras verticais indicam erro padrão da média.....	39
Figura 10: Fluxograma metodológico. ....	51
Figura 11: Mapa de localização RPPN - Águas Perenes, Brotas – SP.....	52
Figura 12: Localização da Bacia Hidrográfica, Brotas, SP. ....	52
Figura 13: Fluxograma de atividades para realização da classificação supervisionada. ....	56
Figura 14: Boxplot dos índices de vegetação em relação aos períodos.....	61
Figura 15: Mapa temporal do Índice de Vegetação SRI. ....	62
Figura 16: Mapa temporal do Índice de Vegetação NVDI.....	62
Figura 17: Mapa temporal do Índice de Vegetação SAVI. ....	63
Figura 18: Mapa temporal do Índice de Vegetação EVI. ....	63
Figura 19: Mapa de uso e ocupação do solo RPPN, em 2022.....	65
Figura 20: Mapa de uso e ocupação do solo RPPN com hidrografia, em 2022. ....	66
Figura 21: Média mensal das temperaturas média (a), máximas (b) e mínima (c) para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil. ....	67

Figura 22: Distribuição espacial das temperaturas médias mensais. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil. ....	68
Figura 23: Média mensal do NDWI médio (a), máximo (b) e mínimo (c) para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil. ....	70
Figura 24: Distribuição espacial das médias mensais do NDWI. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil. ....	71
Figura 25: Comportamento da precipitação ao longo do ano 2019.....	72
Figura 26: Média mensal das temperaturas máximas, média e mínima nas matas ciliares para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil.....	73
Figura 27: Média mensal do NDWI máximo, médio e mínimo da APP para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil. ....	73

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Índices calculados para o estudo da sub-bacia hidrográfica.....	25
Tabela 2: Classificação da declividade segundo Embrapa (1979). .....	29
Tabela 3: Coordenadas, altitude, ordem do trecho e descritores fisiográficos nos pontos de coleta 1 (P1) e 2 (P2). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP. 2019-2020. ....	31
Tabela 4: Definição de estado trófico a partir das concentrações de fósforo total em águas superficiais.....	32
Tabela 5: Características da bacia hidrográfica, Brotas, SP. ....	33
Tabela 6: distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica, Brotas – SP. ....	35
Tabela 7: Correlação entre variáveis físicas e concentração de nutrientes com a vazão (Q) e chuva (P) nos pontos amostrados (P1 e P2). * correlação significativa para p-value < 0.05. ....	40
Tabela 8: camadas geradas pelo satélite Landsat-8. ....	53
Tabela 9: Valores da média dos índices de vegetação SRI, NVDI, SAVI e EVI.....	61
Tabela 10: Porcentagem dos índices de regeneração. ....	64

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>13</b>
1.1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	15
1.3 REFERÊNCIAS .....	17
<b>CAPÍTULO II: MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRAFICA EM UMA RPNN NO MUNICIPIO DE BROTAS, SP.....</b>	<b>19</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
<b>2.2.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Morfometria da bacia e sub-bacia hidrográficas .....</b>	<b>24</b>
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
2.4 CONCLUSÃO.....	40
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
<b>CAP III: AVALIAÇÃO TEMPORAL DE USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS COM DIFERENTES IDADES DE REGENERAÇÃO FLORESTAL.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>47</b>
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
<b>3.2.1 Área de estudo.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.2 Imagens utilizadas .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.3 Processamento das imagens .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.3 Análise estatística.....</b>	<b>59</b>
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
3.4 CONCLUSÃO.....	74
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>75</b>
4.1 CONCLUSÃO GERAL .....	79

## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Os padrões ecológicos são dinâmicos em dimensões espaciais e temporais. A distribuição espacial das espécies de plantas terrestres é limitada por grandes processos físicos, como temperatura e precipitação, bem como por pequenos fatores, como proximidade de um riacho ou posição topográfica. O tempo também desempenha um papel fundamental nas distribuições de escalas de tempo sazonais a geológicas.

A vegetação, em conjunto com os corpos de água, contribui com o balanço e melhoramento do ecossistema em si. Nesse aspecto, a vegetação ripária tem um papel fundamental pois é o regulador entre solo e água. Junto com isso, a integração da zona ripária com a superfície da água contribui com a cobertura e alimentação de diferentes organismos aquáticos como também proporciona sombreamento, intercepta e absorve a radiação solar, o que de fato contribui para a estabilidade térmica (FRITZSONS *et al.*, 2005). É importante compreender que os ecossistemas terrestres e aquáticos estão fortemente vinculados, criando uma interação contínua entre a troca de fluxo de água, energia, regulação de temperatura, materiais orgânicos e inorgânicos (STUDINSKI *et al.* 2012; TANENTZAP *et al.* 2014; CHASE *et al.* 2016; LO *et al.* 2020), e dessa forma os fluxos de água formam habitats físicos e ecológicos que favorecem a estruturação das comunidades aquáticas (LO *et al.* 2020).

Dentre os biomas do Brasil, o Cerrado é o segundo bioma com maior território na América do Sul, ocupando uma área de 2,036,448 km<sup>2</sup>, cerca de 22% do território nacional segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), que possui um dos ecossistemas mais diversos e ricos em espécies de todas as savanas do mundo (MENDONÇA *et al.* 2008). O termo Cerrado significa “fechado” ou “denso”, um lugar considerado inacessível (AYARZA *et al.*, 2007; JEPSON *et al.*, 2010), o qual estende-se desde os bosques profundamente arraigados, formações com menor porte de vegetação arbórea, para pastagem quase sem árvores (EITEN, 1972; RIBEIRO e WALTER, 1998; FURLEY, 1999; HUNKE *et al.*, 2015), e que está considerado como a última fronteira entre vegetação natural e os cultivos agrícolas (BORLAUG, 2002).

Do ponto de vista hidrológico, o Cerrado é o local de formação das principais bacias hidrográficas brasileiras, sendo oito das doze regiões hidrográficas instituídas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ele é considerado um grande reservatório hídrico, sendo chamado de “berço das águas”, e desempenha papel fundamental nos processos de captação e distribuição dos recursos hídricos pelas demais regiões do Brasil, ocorrendo nele grande parte da recarga do aquífero Guarani (SANTOS *et al.*, 2012, HONDA, 2013).

A regeneração passiva é um modelo de regeneração interessante principalmente pelo baixo custo de implantação, se diferenciando da regeneração ativa, a qual pressupõe ação humana na área, como plantio de mudas, porém, a regeneração passiva possui como desvantagem o maior período necessário e dependência de áreas próximas com densidades maiores de vegetação (ERFANZADEH *et al.*, 2023;(PROCKNOW *et al.*, 2023).

Dessa maneira, o local de estudo dessa pesquisa concentrou-se na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes (Brotas-SP), tendo-se a importância do bioma Cerrado em termos de ecologia e manutenção hídrica, assim como pelo seu reconhecimento em 2011 pelo FSC (Forest Stewardship Council) como Floresta de Alto Valor de Conservação (FAVC) em função de fornecer serviços ambientais básicos em situações críticas (proteção de bacias hidrográficas). A RPPN em questão possui áreas com estágios diferentes de regeneração, sendo que todas elas eram plantios de eucalipto, a área mais recente está a 8 anos em regeneração, outra a 16 anos e a mais velha a 49 anos.

Além da importância científica e acadêmica, essa proposta apresenta também importância local. O município de Brotas localiza-se na região central do estado de São Paulo, possui uma área de 1.101km<sup>2</sup>, com apenas 5km<sup>2</sup> urbanizado, o clima é o subtropical úmido e temperatura média anual de 22°C. Atualmente possui como principais atividades econômicas a agroindústria canavieira, a cultura da laranja, a silvicultura de eucalipto, a pecuária e o turismo, esse último conta com inúmeras atividades vivenciadas na natureza. (RIBEIRO, 2012).Um dos principais atributos de Brotas é o Rio Jacaré Pepira que tem 174km de extensão, possuindo uma bacia hidrográfica de 2.612km<sup>2</sup>, esse corpo d'água possui grande importância no abastecimento do município para uso comercial, agrícola e doméstico, além de estar intimamente ligado as atividades de ecoturismo da região (REGRA, 2013). De acordo com Trevisan; Moschini; Guerrero, (2017) os bens e serviços ambientais proporcionados pelos ecossistemas naturais subsidiam diversas atividades socioeconômicas e quando sobrecarregados além de sua capacidade de suporte podem afetar o atendimento as atividades humanas, sendo assim, o planejamento é uma importante ferramenta para

minimizar os impactos negativos das atividades antrópicas, mantendo seus benefícios à economia, sociedade e meio ambiente.

Um importante método para entender os processos dinâmicos que ocorrem com os recursos hídricos é utilizado como recorte espacial a bacia hidrográfica, como um dos instrumentos para este estudo, a análise da morfometria hidrográfica pode elucidar questões acerca das alterações ambientais, auxiliado a análise do uso e cobertura do solo proporciona uma melhor compreensão espaço-temporal dos fenômenos naturais, podendo subsidiar a tomada de decisão (RIOS; VALE, 2015; ARAÚJO et al., 2017).

Técnicas de geotecnologias tem sido cada vez mais usada para a espacialização de resultados em estudos ambientais, entre elas, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode auxiliar na identificação de parâmetros, tanto morfométricos como altimetria e declividade, como também em índices de vegetação (MOREIRA; SANTANA; DE QUEIROZ, 2022).

Dados morfométricos como altimetria e declividade apresentam grande relevância nos estudos de índices de vegetação, pois áreas de menor altitude e em menor declividade tendem a apresentar um valor de pixel maior nos estudos de índices de vegetação, mostrando uma interdependência entre os fatores (MOREIRA; SANTANA; DE QUEIROZ, 2022). Essa tendência também é demonstrada no trabalho de Aires, (2020), onde os valores maiores de pixel foram encontrados ao longo dos eixos dos cursos d'água.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve como objetivo contribuir para o entendimento da relação entre a morfometria de bacias hidrográficas e o comportamento da regeneração natural através de índices de vegetação. Para tanto, este documento está dividido em 2 capítulos, onde cada um apresenta um objetivo específico, sendo eles:

Capituli I – Introdução Geral.

Capítulo II - Morfometria da bacia hidrográfica em uma RPPN no município de Brotas, SP: Constitui de uma análise morfométrica dos parâmetros de uma bacia hidrográfica, demonstrando suas características físicas, além dos valores de vazão e nutrientes dos principais corpos de água da RPPN.

Capítulo III - Avaliação temporal de uso e cobertura do solo em áreas com diferentes idades de regeneração florestal: Esse capítulo busca avaliar a dinâmica da regeneração natural da RPPN Águas Perenes através de índices de vegetação ao longo de uma série temporal (2014-2020), a avaliação da atual ocupação do solo quanto ao estágio de sucessão e o efeito da temperatura na regeneração.

Capítulo IV – Conclusão Geral.



## REFERÊNCIAS

- AIRES, A. DE A. Caracterização morfométrica e da suscetibilidade à erosão na microbacia de Pau dos Ferros/RN. 2020, 62 f Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semiárido. 2020.
- ARAÚJO, A. N.; PINHO, D. M.; LOBATO, A. A. C., TRZECIACK, L. DA S., NASCIMENTO, J. C. DO. Análise morfométrica de quatro sub-bacias hidrográficas do Rio Gurupi na Amazônia Oriental. *Ciência e Sustentabilidade*, n 3, p 83–89, 2017.
- ERFANZADEH, R.; KESBI, M. A.; FATTAHI, B.; SHER, A. A. Is the soil seed bank a reliable source for passive restoration of intensive grazed habitats in river riparian areas of western Iran? *Ecological Engineering*, 192, 2023
- MOREIRA, É. C.; SANTANA, L. S.; DE QUEIROZ, V. T. Utilização do método AHP, em ambiente SIG, para caracterização espacial de índice relativo de clorofila, índice de vegetação e incidência solar em área de cultivo de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, n 3, p 002–014, 2022.
- PROCKNOW, D.; ROVEDDER, A. P. M.; PIAIA, B. B.; CAMARGO, B.; DE MORAES STEFANELLO, M.; DA SILVA, M. P. K. L.; DA SILVA, P. S.; CRODA, J. P.; DREYER, J. B. B. Monitoring ecological restoration of riparian forest: Is the applied nucleation effective ten years after implementation in the Pampa? *Forest Ecology and Management*, 538. 2023.
- REGRA, A. P. M. Cenários como ferramenta na gestão ambiental municipal: um estudo de caso em Brotas-SP. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2013.
- RIBEIRO, O. C. F. Um estudo das políticas públicas de lazer de Brotas/sp. *Revista do Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Estudos do Lazer*. v 16, n 3, 2013
- RIOS, I. Q.; VALE, R. DE M. C. DO. Análise morfométrica e NDVI como subsídio para o estudo do processo de degradação dos solos na bacia hidrográfica do rio Vaza-Barris-Ba. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2015.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; GUERRERO, J. V. R. Dinâmica Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Município de Brotas-SP entre os Anos de 1988 e 2016. *Fronteiras*, n 6(4), p 204–219, 2017

## **CAPÍTULO II: MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRAFICA EM UMA RPPN NO MUNICIPIO DE BROTAS, SP**

### **RESUMO**

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade territorial de planejamento para aplicação de políticas de exploração. Com isso, estas têm se tornado objeto de estudo para os mais diversos trabalhos, como: estudo dos fatores que impactam os parâmetros hidrológicos, detecção de mudança de cobertura vegetal, evolução espaço temporal da vulnerabilidade ecológica, entre outros. Para realização desses estudos pode-se fazer uso de ferramentas de SIG (sistema de informações geográficas) a fim de se avaliar a morfometria de bacias hidrográficas, obtendo-se parâmetros como área total, fator de forma, padrão de drenagem, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção e outros. O objetivo do presente trabalho foi analisar a morfometria de uma bacia hidrográfica em uma RPPN no Cerrado paulista, além dos valores de vazão e nutrientes dos principais corpos de água da RPPN. Os dados foram trabalhados no software QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2. tendo como base dados da base do IBGE e avaliações de campo. A bacia hidrográfica apresenta forma alongada, sendo seu coeficiente de compactidade igual a 5,83 (Kc), assim como fator de forma 0,48 (F) e Índice de circularidade de 0,37 (IC), afastando-se dos valores que representam uma bacia hidrográfica circular, essas características indicam uma menor concentração do deflúvio, apresentando menor capacidade de infiltração. A densidade de drenagem (Dd) observada foi de 2,27 km/km<sup>2</sup>, o padrão de drenagem da bacia hidrográfica, mostrou-se dendrítico com sistema de ordenamento dos canais de terceira ordem, sendo 9 canais de primeira ordem, 5 de segunda ordem e 1 de terceira ordem, a declividade média encontrada foi de 8,97%, condizendo com o relevo suave ondulado a ondulado da região, o pH variou de 5,5 a 7,8 e o oxigênio dissolvido variou de 9,9 mg.L<sup>-1</sup> à 22.1 mg L<sup>-1</sup>. A análise dos dados e a interpretação da bacia hidrográfica permitem concluir que a mesma possui forma alongada, evidenciando menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade. Os valores encontrados para os parâmetros físicos e concentração de nutrientes estão na Classe 1 para águas doces da Resolução CONAMA 365/2005. A bacia estudada apresenta características, como densidade de drenagem e declividade, semelhantes a outras bacias no bioma Cerrado.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, morfometria, SIG.

## ABSTRACT

Increasingly, the hydrographic basin has been used as a territorial planning unit for the application of exploitation policies. As a result, watersheds have become the object of study for the most diverse works, such as: study of the factors that impact hydrological parameters, detection of changes in vegetation cover, temporal evolution of ecological vulnerability, among others. To carry out these studies, GIS (geographic information system) tools can be used in order to evaluate the morphometry of watersheds, obtaining parameters such as total area, shape factor, drainage pattern, drainage density, maintenance coefficient and others. The objective of this work is to analyze the morphometry of a hydrographic basin in an RPPN in the Cerrado of São Paulo, in addition to the flow and nutrient values of the main water bodies of the RPPN. Data were processed using QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2 software. based on data from the IBGE database and field evaluations. The hydrographic basin has an elongated shape, with a compactness coefficient equal to 5.83 ( $K_c$ ), as well as a form factor of 0.48 ( $F$ ) and a circularity index of 0.37 ( $IC$ ), moving away from the values that represent a circular hydrographic basin, these characteristics indicate a lower concentration of runoff, with lower infiltration capacity. The observed drainage density ( $D_d$ ) was 2.27 km/km<sup>2</sup>, the drainage pattern of the watershed was dendritic with a third-order ordering system, with 9 first-order channels and 5 second-order channels. and 1 of the third order, the average slope found was 8.97%, consistent with the gently undulating relief of the region, the pH ranged from 5.5 to 7.8 and dissolved oxygen ranged from 9.9 mg. L<sup>-1</sup> to 22.1 mg L<sup>-1</sup>. Data analysis and interpretation of the hydrographic basin allow us to conclude that it has an elongated shape, showing a lower risk of flooding under normal rainfall conditions. The values found for the physical parameters and nutrient concentration are in Class 1 for fresh waters of CONAMA Resolution 365/2005. The studied basin has characteristics, such as drainage density and slope, similar to other basins in the Cerrado biome.

Keywords: watershed, morphometry, GIS.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade territorial para o planejamento e para a aplicação de políticas de exploração de usos múltiplos da água (HIRATA; BURKERT, 2020), além de ser utilizada em diversas pesquisas científicas, no estudo de fatores que impactam o escoamento da água (YANG et al., 2022), detecção de mudança de cobertura vegetal (LIU et al., 2022), evolução espaço-temporal da vulnerabilidade ecológica sob iniciativas de restauração ecológica (ZHANG et al., 2022), tendência de eventos extremos de chuvas e pontos de inundação (MAKHASANA; JOSHI, 2022), avaliação de erodibilidade (GAAYEN; HAQUE, 2022), entre outros.

A bacia hidrográfica pode ser caracterizada como uma área de captação da água oriunda de precipitação, delimitada por divisores topográficos, na qual toda a água é direcionada para o exultório, sendo este o único ponto de saída (PINTO et al., 2018), servindo como unidade de planejamento ambiental devido aos seus sistemas ecológicos e recursos naturais operarem de forma interligada e dependente (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022). O padrão hidrológico da bacia é principalmente controlado pelos caracteres morfométricos de drenagem, que por sua vez, são influenciados pelo clima, capacidade de infiltração do solo, e terreno, e podem ser facilmente determinadas usando ferramentas de SIG (Sistema de Informações Geográficas) (MALLICK et al., 2022).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, tais como, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal dentre outros (TONELLO, K. C. *et al.* 2006; LEAL; TONELLO, 2016; BARBOSA, R. A. *et al.*, 2021; YOGI *et al.* 2021). A morfometria é uma ferramenta precisa no entendimento das características geomorfológicas e hidrológicas de bacias hidrográficas (ANGILLIERI, 2012; KABITE; GESSESSE, 2018; TEWARI; MISRA; SHARMA, 2019; DOMINGUES et al., 2020). A análise morfométrica é tipicamente realizada em uma bacia não calibrada e auxilia no melhor planejamento e gestão da bacia hidrográfica no contexto da modelagem hidrológica regional (MALLICK et al., 2022), isso ocorre devido sua estreita relação com o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022).

As características físicas de uma bacia hidrográfica como área, perímetro, forma, declividade, comprimento do rio principal e densidade de drenagem exercem importante

papel nos processos hidrológicos, esses atuam sobre o deflúvio, a infiltração, a evapotranspiração, além do escoamento superficial e subsuperficial, sendo o conhecimento destas características essencial para o planejamento ambiental e gestão integrada dos recursos hídricos (BASIN; TAPUIO, 2016).

A utilização de tecnologias voltadas ao uso de um Sistema de Informação Geográfica, faz com que aumente a precisão de detalhes e complexidade nas análises voltadas ao estudo da geomorfologia (RAMOS et al., 2017), as técnicas de geoinformática vem sendo utilizadas como uma ferramenta de grande importância na análise quantitativa da morfometria de bacias hidrográficas (OMAR et al., 2022) . Assim, o trabalho conta com aplicação de técnicas de geoprocessamento para manipulação de dados, advindos do Sensoriamento Remoto (SR) para auxílio na obtenção dos resultados encontrados.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho compreendeu 1) o estudo da morfometria da bacia hidrográfica, 2) vazão e 3) análise física, de compostos nitrogenados, fósforo total e ortofosfatos na água dos cursos principais, a fim de contribuir com o manejo integrado de seus recursos naturais.

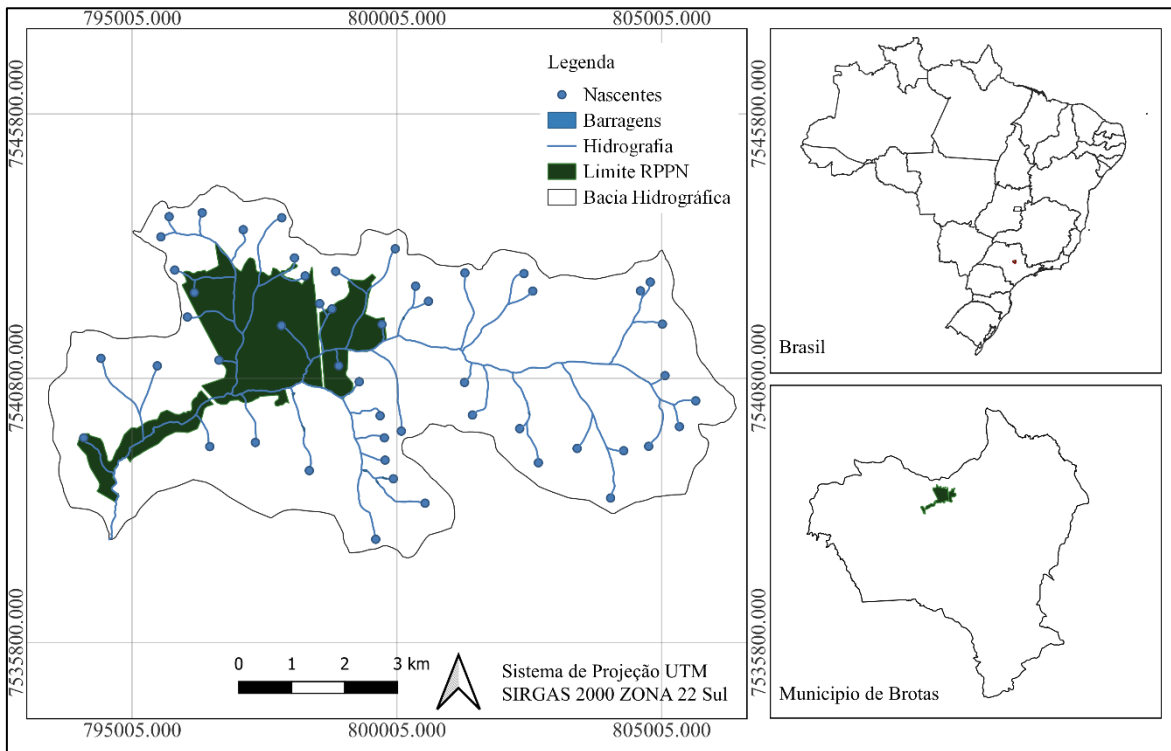
## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Floresta das Águas perenes, reconhecida pelo Forest Stewardship Council (FSC) como uma Floresta de Alto Valor de Conservação, com o objetivo de manter o Atributo de Alto Valor de Conservação 4 de Serviços Ambientais Críticos (PEREIRA, 2020), sendo esses, serviços ambientais básicos como proteção de bacias hidrográficas. A RPPN (Figura 1 e 2) possui 809,78 ha de Cerrado, sendo sua fitofisionomia caracterizada como vegetação secundária dos tipos Cerrado Típico e Cerradão (BESSI, 2017). Segundo Koppen/Geiger, a classificação climática de Brotas/SP é Cwa, com precipitação média anual de 1400 a 1500 mm (BESSI, 2017; CLIMATE-DATA, 2019; Tonello et al. 2021). A área se localiza na região de transição entre Neossolo quartzarênico e Latossolo vermelho-amarelo com textura

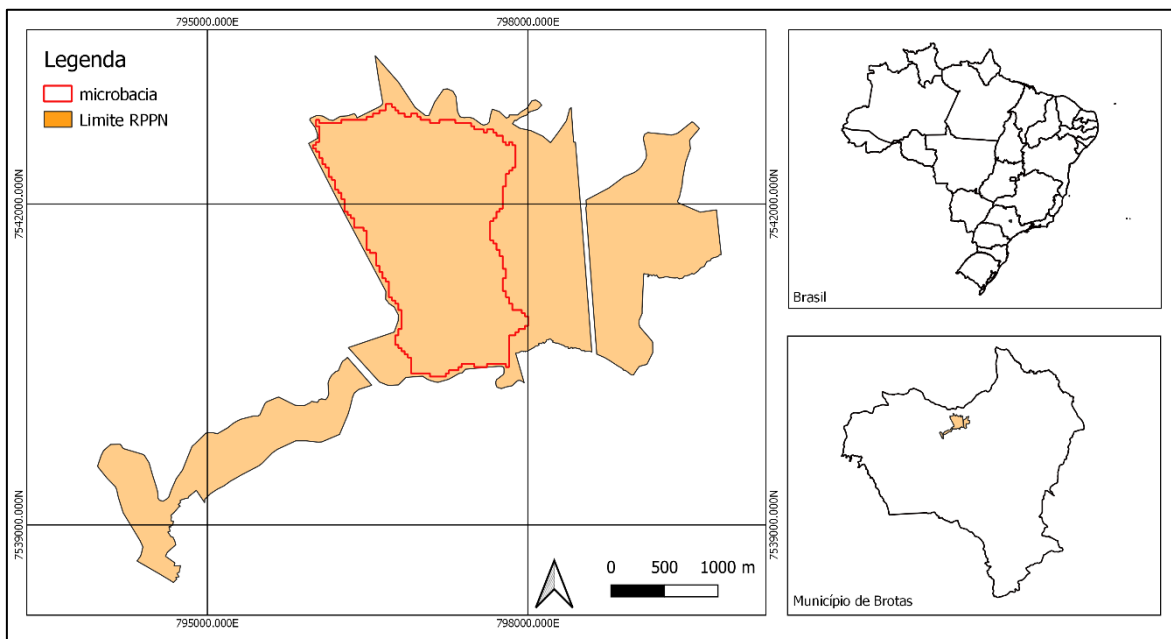
Arenosa (PEREIRA, 2020). A RPPN está localizada na Bacia do Ribeirão da Rasteira, sendo este corpo d'água o principal.

Figura 1: Mapa de localização RPPN - Águas Perenes, Brotas - SP.



Fonte: O Autor, 2023.

Figura 2: Localização da Microbacia Hidrográfica Lagoa Seca, Brotas, SP.

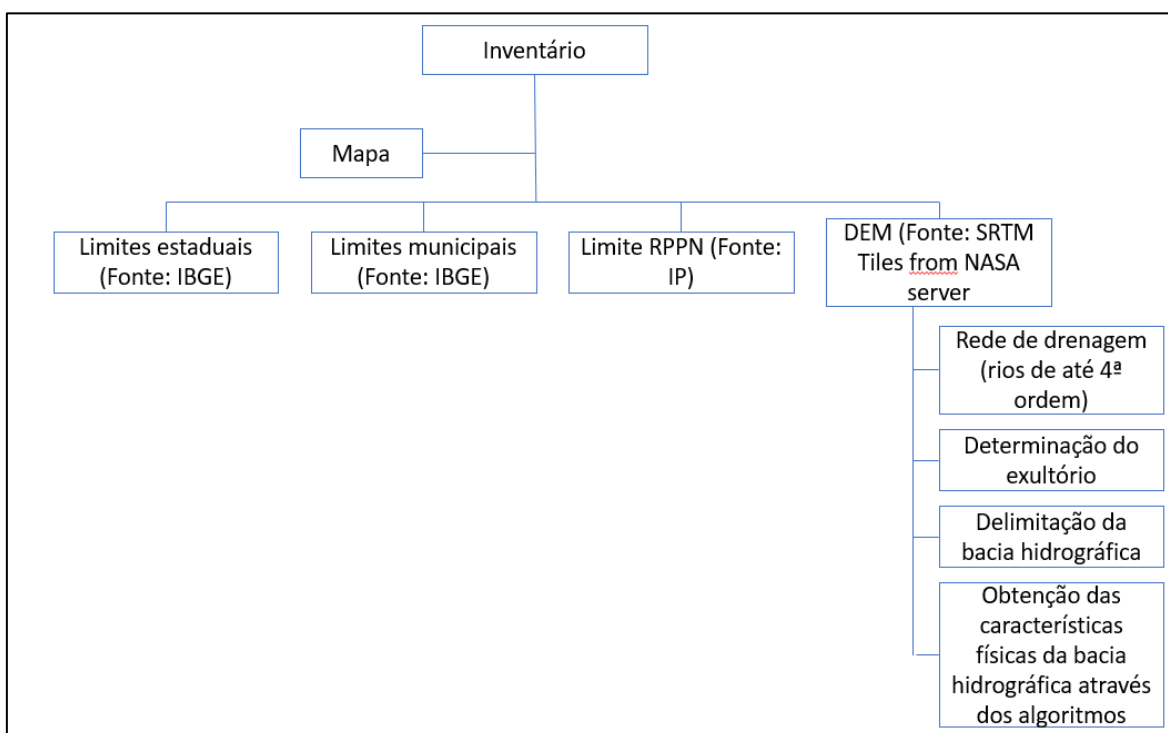


Fonte: O Autor, 2023.

### 2.2.2 Morfometria da bacia e sub-bacia hidrográficas

Para o gerenciamento de dados georreferenciados e análises espaciais utilizadas para realizar a caracterização física da bacia, foi empregado o software QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2. A Figura 3 demonstra as operações que envolveram a modelagem hidrológica do terreno. Dentro dos softwares foi utilizado os seguintes algoritmos: “SAGA”, “Strahler order”, “Channel network and drainage basins”, “Upslope area”, “Hypsometric curves”, “linha”, “campo para estatística básica”, “calculadora de campo”. Com esses algoritmos foi possível obter os dados de área de drenagem, perímetro, altitudes máxima e mínima, comprimento total dos canais, comprimento do eixo axial da bacia e comprimento do canal principal. Para construção de tabelas e gráficos utilizou-se a planilha eletrônica Excel.

Figura 3: Fluxograma representando as operações realizadas na modelagem hidrográfica do terreno.



Fonte: O Autor, 2023.

A morfometria da sub-bacia foi representada pelas características e índices apresentados no Tabela 1.



Tabela 1: Índices calculados para o estudo da sub-bacia hidrográfica.

<b>Características geométricas</b>	
Área total	Fator de forma (F)
Perímetro total	Índice de circularidade (IC)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Padrão de Drenagem
<b>Características do relevo</b>	
Orientação	Altitude mínima
Declividade mínima	Altitude média
Declividade máxima	Altitude máxima
Declividade média do curso de água principal	
<b>Características da rede de drenagem</b>	
Comprimento do curso de água principal	Densidade de drenagem (Dd)
Comprimento total dos cursos de água	Ordem dos cursos de água
Coeficiente de manutenção (Cm)	Extensão do percurso superficial da água de enxurrada

Fonte: O Autor, 2023.

#### 2.2.2.1 Área de drenagem e perímetro

A área de drenagem (A) é toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal, sendo o elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos (TONELLO, 2005). A determinação da área deve ser feita com muito rigor, a partir de fotografias aéreas, mapas topográficos, ou levantamento de campo, e se possível com auxílio de computadores (LIMA, 2008; SILVA et al., 2018). O perímetro da bacia (P) constitui o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas.

#### 2.2.2.2 Comprimento total dos cursos de água

O comprimento total dos cursos de água para a bacia hidrográfica é obtido por meio da somatória do comprimento dos arcos de toda a hidrografia dentro da bacia de contribuição, ou seja, dentro dos divisores de água (LIMA, 2008; CAVALCANTE; GRIGIO; DIODATO, 2021).

### 2.2.2.3 Densidade de drenagem

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários, Horton, (1932) definiu densidade de drenagem como sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica.

De acordo com Lima, (2008) esse é um importante índice, pois reflete a influência geológica, topográfica, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia (CAVALCANTE; GRIGIO; DIODATO, 2021).

É dado por:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>); Lt = comprimento total dos cursos de água (km); A = área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>).

### 2.2.2.4 Forma da bacia hidrográfica

A forma da bacia, bem como, a forma do sistema de drenagem pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia, essa característica é uma das mais difíceis de ser expressa em termos quantitativos (LIMA, 2008), também podendo ser relacionado com a contribuição ou deflúvio (CAVALCANTE; GRIGIO; DIODATO, 2021). Os índices normalmente utilizados são o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (F) e o índice de circularidade (IC).

### 2.2.2.5 Coeficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo, sendo a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a um corresponderia a uma bacia circular, e para uma bacia

alongada, seu valor é significativamente maior que um. O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) é obtido pela seguinte equação (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022):

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

Onde,  $K_c$  = coeficiente de compacidade;  $P$  = perímetro da bacia ou sub-bacia (km);  $A$  = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km<sup>2</sup>).

#### 2.2.2.6 Fator de forma

Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (sendo, da foz ao ponto mais longínquo do espigão), determinado por (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022):

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Onde:  $F$  = fator de forma;  $A$  = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km);  $L$  = comprimento do eixo da bacia (km).

#### 2.2.2.7 Índice de circularidade

Similar ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular, determinado por (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022):

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

Onde:  $IC$  = índice de circularidade;  $A$  = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km<sup>2</sup>);  $P$  = perímetro da bacia ou sub-bacia (km)

#### 2.2.2.8 Ordem dos cursos de água

O sistema de drenagem é constituído pelo curso de água principal e seus tributários ou afluentes, e os índices utilizados para caracterizá-los são a ordem dos cursos de água e a densidade de drenagem. Os canais primários (nascentes) são designados de 1ª ordem. A junção de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente.

#### 2.2.2.9 Padrão de drenagem

O padrão de drenagem é definido de acordo com Cristofolletti, (1974), citado por Lima, (2008) e Cavalcante; Grigio; Diodato, (2021). Os padrões de drenagem podem ser observados pelo exame de mapas topográficos de diferentes províncias geológicas. Os tipos de padrões mais comuns são: dendrítica, treliça, retangular, paralela, radial e anelar.

#### 2.2.2.10 Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção dos canais ( $C_m$ ) proposto por Schumm, (1956), refere-se ao inverso da densidade de drenagem, sua dimensão aumenta em termos de magnitude conforme a área de contribuição aumenta, desse modo, esse coeficiente demonstra a área de drenagem (em  $\text{km}^2$ ) necessária para sustentar um quilômetro linear de canal (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022).

$$C_m = \frac{1}{D_d}$$

Onde:  $C_m$  = coeficiente de manutenção ( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $D_d$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ).

#### 2.2.2.11 Extensão do percurso superficial da água de enxurrada

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada ( $E_p$ ) infere sobre a distância média que é percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente (CHRISTOFOLETTI, 1969; SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2022).

$$Eps = 0,5 * Dd$$

Onde: Eps = extensão do percurso superficial da água de enxurrada (km); Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

#### 2.2.2.11 Características do relevo

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, já que influencia a velocidade do escoamento superficial, assim o tempo de concentração, são determinados pela declividade do terreno. A temperatura, a precipitação e a evaporação, são funções da altitude da bacia (TONELLO, 2005). Sendo assim, é de grande importância a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

A declividade do terreno é elaborada a partir do modelo digital do terreno, gerado por triangulação irregular de grade (TIN) a partir de curvas de nível vetorizadas, com base nas cartas digitais planialtimétricas do IBGE. O Modelo Digital do Terreno (MDT) é uma imagem matricial que apresenta os padrões de relevo de uma região por meio da interpolação das curvas de nível, gerando atributos topográficos como a declividade (SILVA; TONELLO, 2014). As classes de declividades geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA, (1979), como demonstrado no Tabela 2. Esta operação pode ser feita no software QGIS.

Tabela 2: Classificação da declividade segundo Embrapa (1979).

<b>Declividade</b>	<b>Discriminação</b>
0 - 3	Relevo plano
3 - 8	Relevo suave ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo forte ondulado
45 - 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo forte montanhoso

Fonte: Embrapa, 1979.

A orientação da declividade de um determinado ponto no terreno ou exposição é definida como sendo o azimute em graus (ou ponto cardinal na rosa dos ventos) para o qual se encontra orientado o plano de máxima declividade nesse ponto.

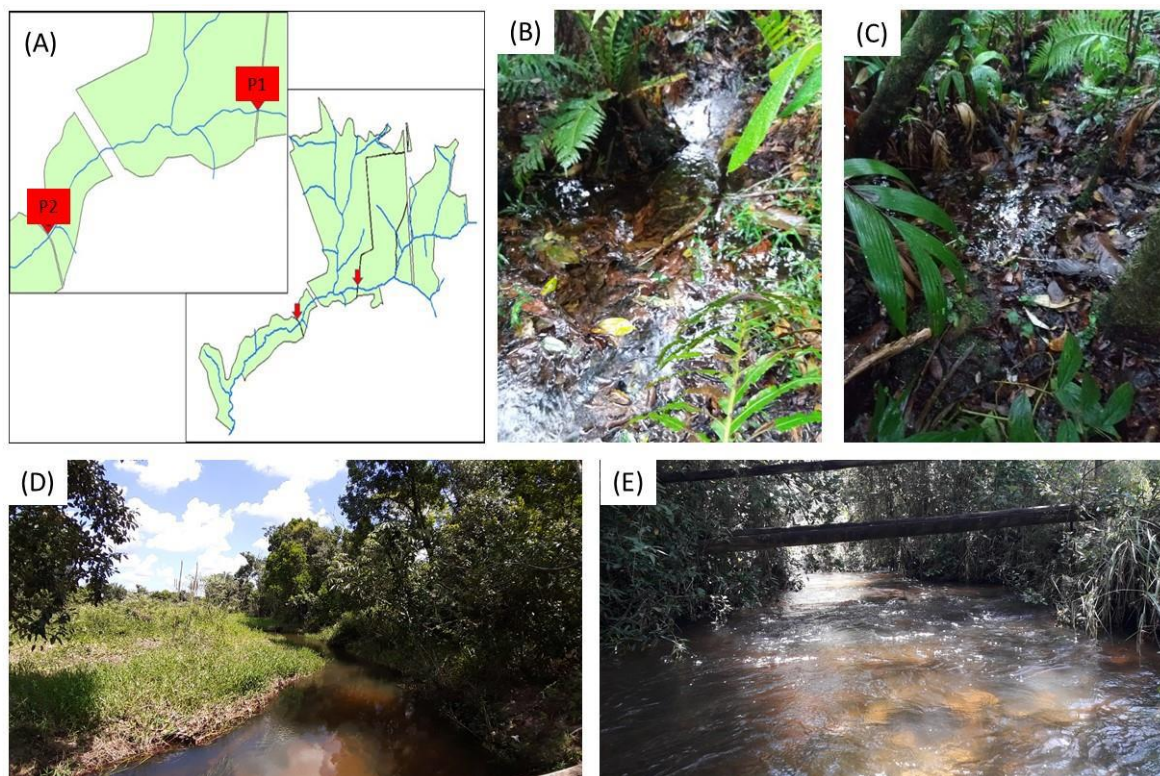
### **2.2.3 Vazão e nutrientes**

O estudo da vazão e dos nutrientes dos cursos d'água foi conduzido ao longo do período de setembro de 2019 a novembro de 2020.

#### **2.2.3.1 Escolha dos locais para amostragem**

A microbacia da Floresta das Águas Perenes foi percorrida para seu reconhecimento e escolha de pontos de amostragem, que priorizaram locais em que a calha do curso d'água tivesse uma delimitação definida. A análise dos cursos da microbacia identificou que a mesma possui a predominância de cursos não delimitados, ou seja, em que a água se espalha ao longo do terreno (Figuras 4B, C). Desse modo, foram selecionados dois pontos ao longo do curso da água principal para monitoramento da vazão e parâmetros físicos e nutrientes da água (Figura 4A). Assim, o ponto 1 (P1) correspondeu à parte do curso da água que antecede a foz da microbacia da Lagoa Seca (Figura 4D) e o ponto 2 (P2), foi alocado após a foz da microbacia da Lagoa Seca (Figura 4E). Demais características dos pontos de coleta podem ser visualizadas na Tabela 3.

Figura 4: (A) Localização dos pontos de amostragem na microbacia da Floresta das Águas Perenes, (B, C) cursos d'água sem calha delimitada, (D) ponto de amostragem 1 (P1) e (E) ponto de amostragem 2 (P2).



Fonte: O Autor, 2019

Tabela 3: Coordenadas, altitude, ordem do trecho e descritores fisiográficos nos pontos de coleta 1 (P1) e 2 (P2). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP. 2019-2020.

Parâmetros do ponto de coleta	P1	P2
Coordenada	22°13'12.56"S 48°07'38.57"O	22°12'52.66"S 48°06'53.81"O
Altitude (m)	636	628
Ordem do trecho (IBGE 1:50.000)	3	4
Vegetação ripária	Presente	Presente
Vegetação marginal em contato com a água	Floresta ripária/Várzea/ Poaceae	Floresta ripária
Meso-habitats dominantes	Poço e Água correntes	Água corrente

Dados de chuva referente ao período de estudo, foram obtidos a partir dos registros da estação oficial localizada em São Carlos (ID=83726), administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Parâmetros físicos como pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura foram obtidos com o auxílio de medidores portáteis de pH e de oxigênio. Os compostos nitrogenados foram

determinados segundo Mackereth *et al.* (1978) com exceção do nitrogênio amoniacal, onde foi utilizada a metodologia descrita em Koroleff, (1976) e do nitrogênio orgânico total, onde utilizou-se Apha, (1985). As concentrações das diferentes formas de fósforo foram determinadas segundo Strickland e Parkons, (1960).

A vazão dos cursos d'água foi obtida pelo método indireto, com auxílio do micromolinetete Global Water FP311, sendo a velocidade do curso tomada em ao longo da largura e profundidade nas secções selecionadas. Com a área da secção transversal (A) e a velocidade registrada (V), a vazão (Q) se obteve por meio da seguinte equação:

$$Q \text{ (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)} = V \text{ (m s}^{-1}\text{)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

Os valores de pH, temperatura e oxigênio dissolvido, assim como as concentrações de nutrientes na água foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) one way seguida de uma análise post hoc de Tukey ( $p < 0,05$ ) do programa Past4.03. Posteriormente, considerando-se os valores médios anuais das concentrações de fósforo total, os cursos d'água foram classificados por nível de trofismo de acordo com a classificação de Von Sperling (1996) (Tabela 4).

Tabela 4: Definição de estado trófico a partir das concentrações de fósforo total em águas superficiais

<b>Status trófico</b>	<b>Concentração de Fósforo total (mg L<sup>-1</sup>)</b>
Ultraoligotrófico	< 0,005
Oligotrófico	< 0,010 – 0,020
Mesotrófico	0,010 – 0,050
Eutrófico	0,025 – 0,100
Hipereutrófico	>0,100

Fonte: Von Sperling, (1996).

A partir dos dados obtidos, foi realizada uma análise comparativa, correlacionando os resultados com os limites máximos estabelecidos para os corpos d'água de classe I, II, III e IV, pela resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005), entre outras normas, como as estabelecidas pela CETESB (2005).

O teste de Spearman e análises de regressão foi adotado para determinar correlações significativas entre os parâmetros físicos, concentração de nutrientes, vazão e chuva nos pontos amostrados.



## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados morfométricos obtidos, a bacia hidrográfica estudada (Figura 4) apresenta forma alongada, sendo seu coeficiente de compacidade igual a 5,83 (Kc), assim como fator de forma 0,48 (F) e índice de circularidade de 0,37 (IC), (Tabela 5) afastando-se dos valores que representam uma bacia hidrográfica circular. Essas características indicam uma menor concentração do deflúvio, apresentando menor capacidade de infiltração (Villega; Mattos, 1975; Silva; Tonello, 2014; Gomes, 2014; Miotto et al., 2014; Pinto et al., 2018; Domingues et al., 2020).

A densidade de drenagem (Dd) observada foi de 2,27 km/km<sup>2</sup>, de acordo com Lima, (2008), esse valor representa uma bacia de com baixa densidade de drenagem (valor abaixo de 5,0km/km<sup>2</sup>). Os estudos de Maroneze et al., (2014) e Cassettari; De Queiroz, (2019) estudando bacias e sub-bacias hidrográficas em área de Cerrado também encontrou valores de densidade de drenagem abaixo de 5,0km/km<sup>2</sup>. Lima, (2008) ainda afirma que valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

Tabela 5: Características da bacia hidrográfica, Brotas, SP.

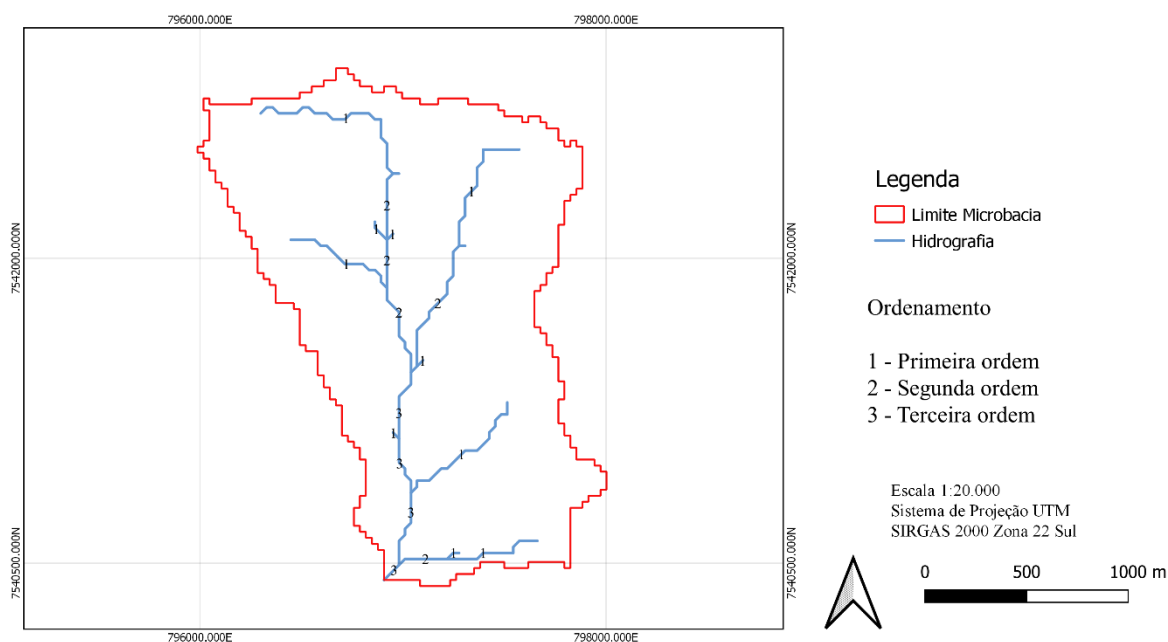
<b>Características Morfométricas</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidade</b>
Área de drenagem (A)	3,09	km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	10,24	km
Coeficiente de compacidade (Kc)	5,83	
Fator de forma (F)	0,48	
Índice de circularidade (IC)	0,37	
Padrão de drenagem	dendrítico	
Orientação	sul	
Declividade mínima	0,0%	%
Declividade máxima	49,99%	%
Altitude mínima	616,19	m
Altitude média	654,01	m
Altitude máxima	691,82	m
Comprimento total dos canais (Lt)	7,00	km
Comprimento do canal principal (Lp)	3,13	km
Comprimento do eixo axial da bacia (L)	2,53	km
Ordem da bacia	3	
Densidade de drenagem (Dd)	2,27	km/km <sup>2</sup>
Coeficiente de manutenção (Cm)	0,441	km/km <sup>2</sup>

Extensão do percurso superficial da água de  
 enxurrada 1,135 km

Fonte: O Autor, 2023.

O padrão de drenagem da bacia hidrográfica, mostrou-se dendrítico com sistema de ordenamento dos canais de terceira ordem, sendo 9 canais de primeira ordem, 5 de segunda ordem e 1 de terceira ordem (Figura 5). De acordo com Tonello et al., (2006) ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso da terra. A orientação do movimento do curso de água principal se dá da direção Norte para Sul.

Figura 5: Ordenamento da bacia hidrográfica, Brotas – SP.

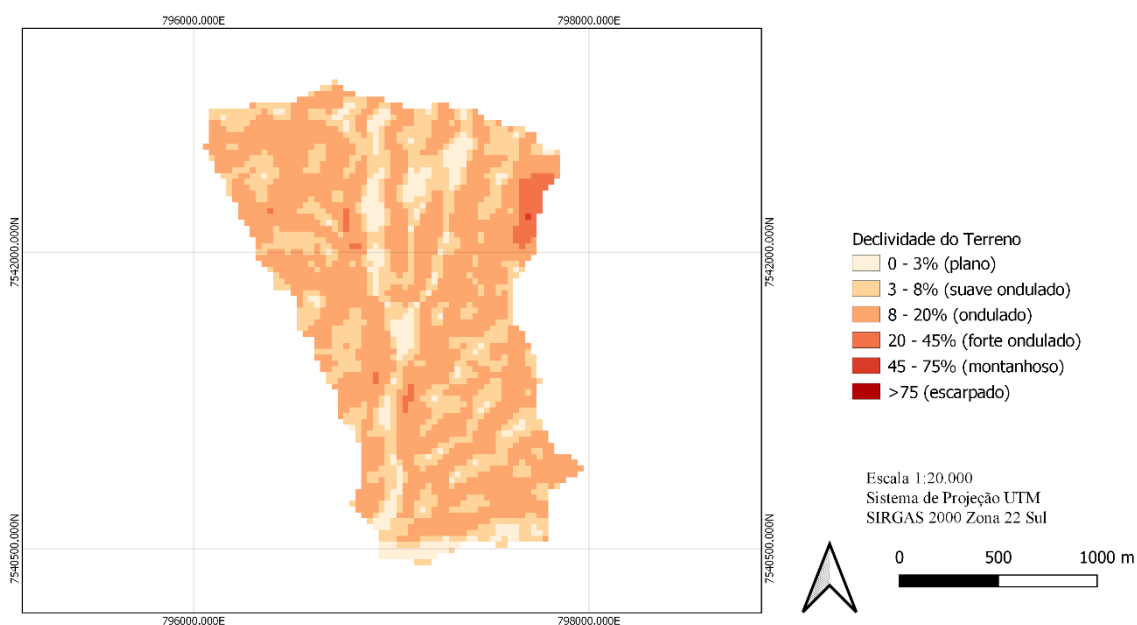


Fonte: O Autor, 2023.

A altitude mínima da bacia é de 616 m e a máxima é de 692 m, sendo a altitude média igual a 654m, esse dado é importante pois ele influencia a quantidade de radiação recebida pelo terreno, conseqüentemente influenciando a evapotranspiração, temperatura e precipitação (TONELLO et al., 2006).

A declividade (Figura 6) é um importante fator no planejamento de áreas, pois ela tem importância em relação a legislação no quesito de uso da terra, mas também porque se relaciona com outras questões como erosão, sendo que para erosão, relevos com mais que 12% de declividade já deve-se utilizar de técnicas para controle de erosão.

Figura 6: Mapa de declividade da bacia hidrográfica, Brotas - SP.



Fonte: O Autor, 2023.

A declividade média encontrada foi de 8,97%, condizendo com o relevo suave ondulado a ondulado da região, sendo esse valor abaixo do encontrado por autores como Tonello et al., (2006) – 33,9% e Silva; Tonello, (2014) – 12,7%, e apresentando valor similar ao encontrado por Hirata; Burkert, (2020) e Pinto et al., (2018) o qual encontraram valor de 6% de declividade média.

Na tabela 6, apresentam-se a reclassificação da declividade em seis classes e as informações quantitativas associadas. Observa-se que mais da metade da bacia hidrográfica possui relevo ondulado (8 – 20%), representando 54,39% da área total.

Tabela 6: distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica, Brotas – SP.

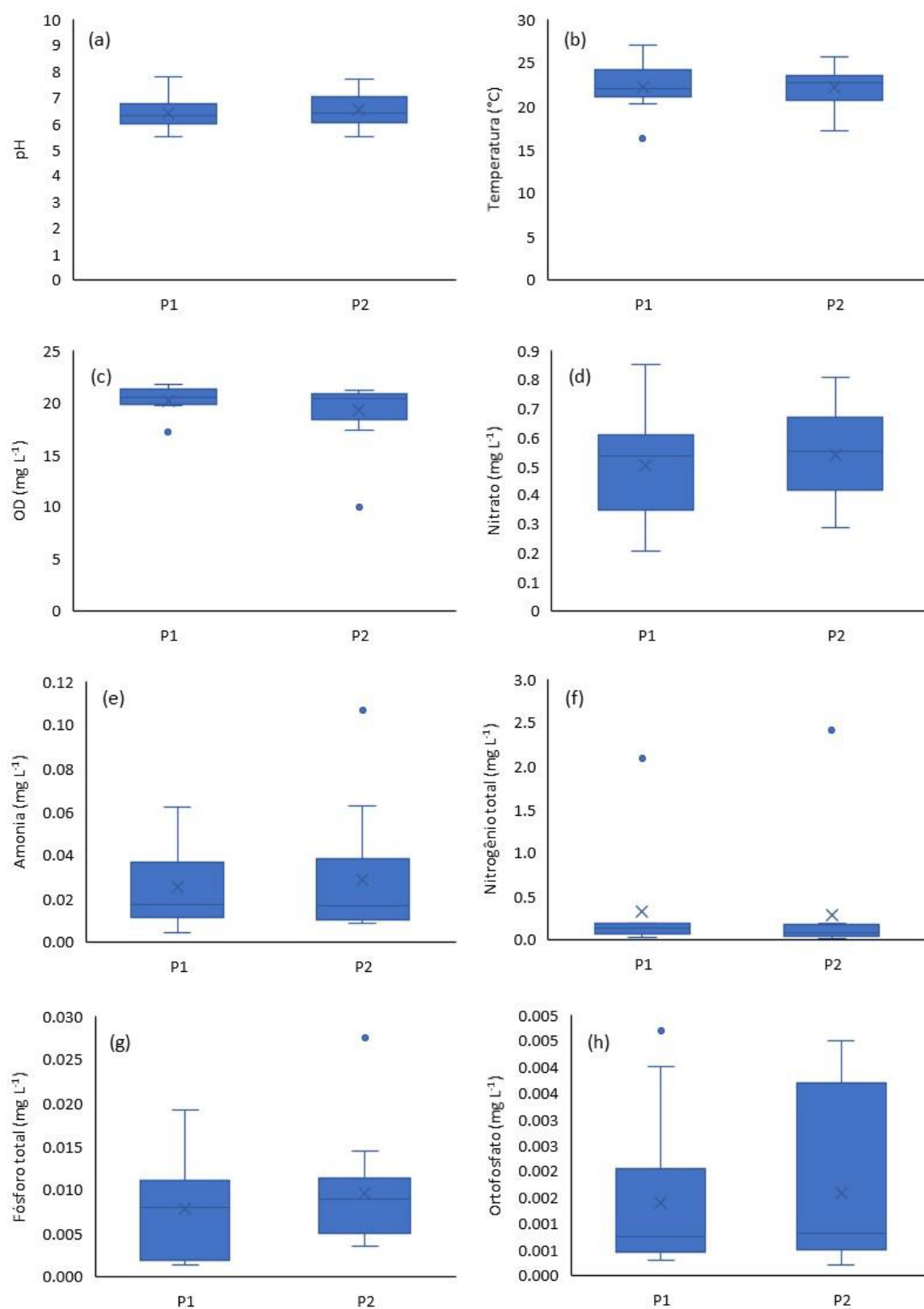
<b>Declividade (%)</b>	<b>Discriminação</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
0 - 3	Relevo plano	0,301	9,74%
3 - 8	Relevo suave ondulado	1,053	34,06%
8 - 20	Relevo ondulado	1,682	54,39%
20 - 45	Relevo forte ondulado	0,055	1,79%
45 - 75	Relevo montanhoso	0,001	0,03%
> 75	Relevo forte montanhoso	0	0,00%
<b>Total</b>		<b>3,09</b>	<b>100</b>

Fonte: O Autor, 2023.

A extensão do percurso superficial (Eps), distância percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente foi de 1,1 Km. Em função da densidade de drenagem, obteve-se um coeficiente de manutenção correspondente a 0,44 km<sup>2</sup>/km, portanto, denota a necessidade de uma área de drenagem de, no mínimo 0,44 km<sup>2</sup> para a manutenção de um quilometro de canal de escoamento.

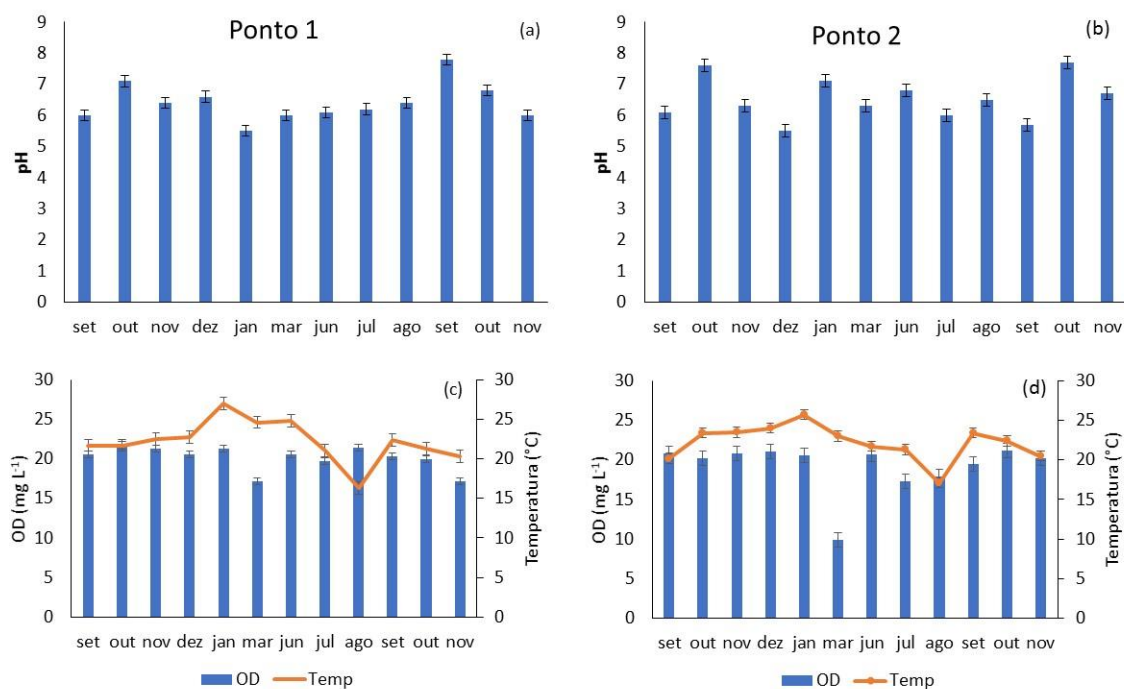
Em relação as características físicas e nutrientes da água não foram observadas diferenças estatísticas (*p-value* >0.05) entre os pontos amostrados tanto quanto às médias anuais dos parâmetros físicos como de nutrientes (Figura 7). Ao longo do período de estudo, o pH variou de 5,5 (janeiro/2019) à 7,8 (outubro/2020) em ambos os pontos de amostragem. A temperatura mínima foi observada em agosto de 2020 (16,3°C e 17,1°C, em P1 e P2, respectivamente) e máxima em janeiro/2020 (27°C e 26°C em P1 e P2, respectivamente). O oxigênio dissolvido variou de 17 mg L<sup>-1</sup> (março/2020) à 22.1 mg L<sup>-1</sup> (outubro/2019) em P1 e entre 9,9 mg L<sup>-1</sup> (março/2019) à 21,2 mg L<sup>-1</sup> (outubro/2020) em P2 (Figura 8).

Figura 7: Boxplot das médias de pH (a), temperatura (b), oxigênio dissolvido (c), nitrato (d), amônia (e), nitrogênio total (f), fósforo total (g) e ortofosfato (h) nos pontos amostrados (P1 e P2). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP.



Fonte: O Autor, 2019

Figura 8: Médias mensais de (a, b) pH, (c, d) temperatura e oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de amostragem, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP. 2019-2020. Barras verticais indicam erro padrão da média.



Fonte: O Autor, 2019.

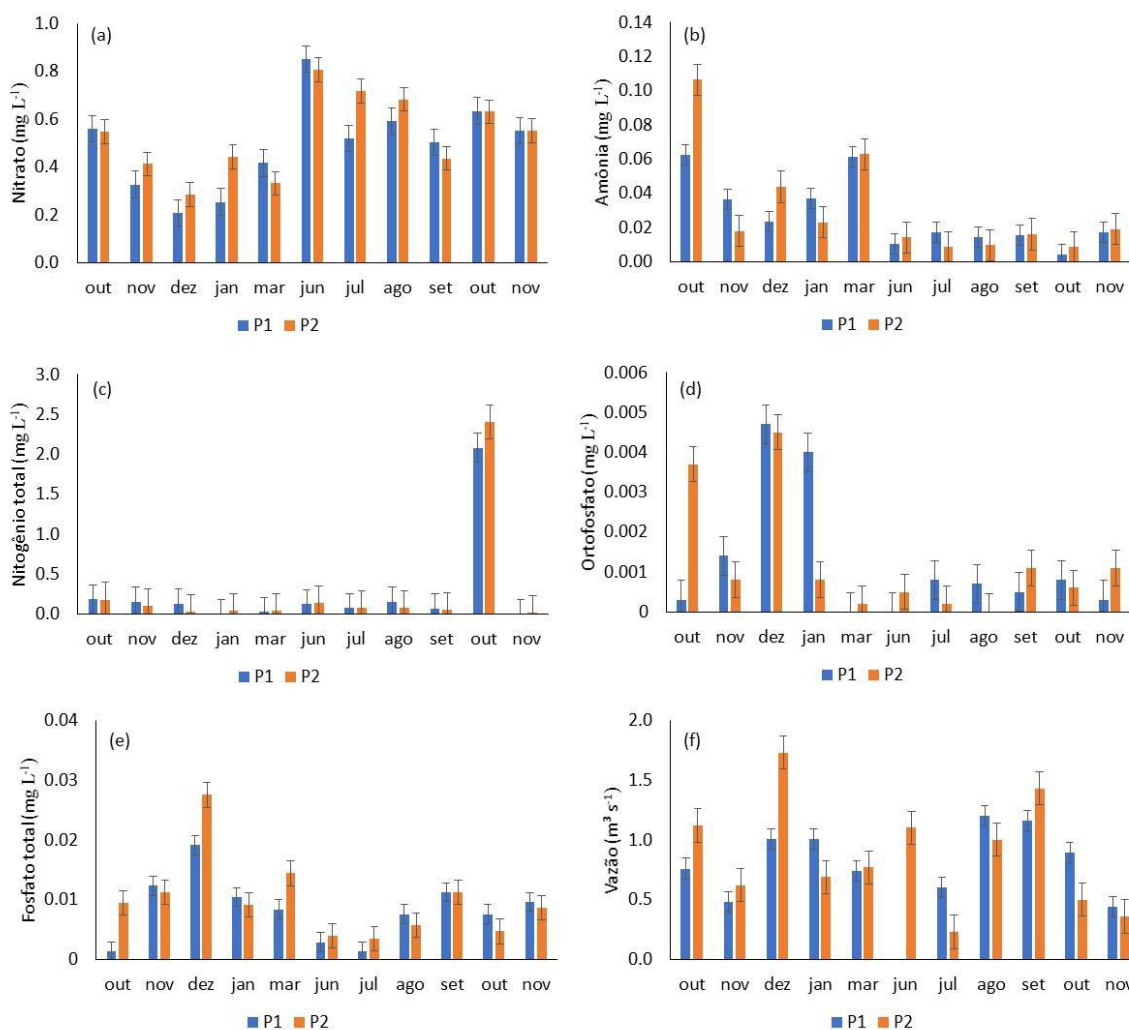
Quanto aos nutrientes, a presença do nitrito foi notada apenas nos meses de março e junho de 2020 em P1, ao passo que não houve nenhuma detecção no P2. Em ambos os pontos, o nitrato apresentou suas menores concentrações em dezembro de 2019, atingindo, aproximadamente, concentrações 400% maiores em junho de 2020 (Figura 9a). No caso da amônia, as maiores concentrações foram observadas em outubro, no entanto, P2 apresentou concentração 170% superior à P1. Por sua vez, as menores concentrações ocorreram em dezembro/2020, correspondendo a 0,004 mg L<sup>-1</sup> e 0,008 mg L<sup>-1</sup> em P1 e P2, respectivamente (Figura 9b). De acordo com Pereira e Mercante, (2005) níveis de amônia acima de 0,02 mg L<sup>-1</sup> pode causar irritação intensa e inflamação nas brânquias de peixes, e níveis entre 0,70 mg L<sup>-1</sup> e 2,40 mg L<sup>-1</sup> podem ser letais para os peixes, não sendo o caso da área de estudo.

O nitrogênio total foi o que apresentou a maior amplitude: de 0 à 2,08 mg L<sup>-1</sup> em P1 e 0,01 mg L<sup>-1</sup> à 2,41 mg L<sup>-1</sup> em P2. Nos dois pontos de amostragem, as concentrações mínimas e máximas corresponderam aos meses de dezembro de 2019 e outubro de 2020 (Figura 9c). De acordo com a RESOLUÇÃO N°357 do CONAMA, o valor máximo para ambientes lóticos (com fluxo de água constante) não deve ultrapassar 2,18 mg L<sup>-1</sup>, sendo que em P2 foi encontrado valor superior ao da Resolução, entretanto esse valor foi superior

apenas em uma coleta no mês de outubro, sendo esse um caso isolado, já que nas outras coletas os valores se mantiveram abaixo do recomendado pela Resolução.

O ortofosfato não foi detectado em março e junho de 2020 em P1 e em agosto/2020 em P2. Sua concentração máxima foi de aproximadamente  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  em P1 e P2, respectivamente, ambos em dezembro de 2020 (Figura 9d). Por sua vez, a média das concentrações de fósforo total indicaram que os dois pontos amostrados possuem status oligotrófico. Apesar disso, as maiores concentrações de fósforo total foram observadas em P2, de  $0,004 \text{ mg L}^{-1}$  à  $0,028 \text{ mg L}^{-1}$ , ao passo que em P1, as concentrações estiveram entre  $0,001 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,019 \text{ mg L}^{-1}$ . Em ambos os casos, as mínimas ocorreram em julho/2020 e máximas em dezembro/2019 (Figura 9e). Os valores de ortofosfato e fósforo total se mantiveram abaixo dos valores estabelecidos pela Resolução.

Figura 9: Médias mensais de (a) nitrato, (b) amônia, (c) nitrogênio total, (d) ortofosfato, (e) fósforo total e (f) vazão nos pontos de amostragem, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP. 2019-2020. Barras verticais indicam erro padrão da média.



Dentre os parâmetros físicos, a temperatura em P2 foi a única variável que apresentou correlação positiva e significativa com a chuva. As concentrações de nitrato apresentaram correlação forte e inversa com a chuva nos dois pontos de monitoramento (Tabela 7). O ortofosfato e fosfato total estiveram positivamente correlacionados com a chuva em P1, ao passo que apenas a correlação entre o ortofosfato e vazão mostraram-se positivos e significativos em P2.

Tabela 7: Correlação entre variáveis físicas e concentração de nutrientes com a vazão (Q) e chuva (P) nos pontos amostrados (P1 e P2). \* correlação significativa para p-value < 0.05.

		pH	Temp	OD	Nitrato	Amônia	Nitrogênio Total	Ortofosfato	Fosfato Total	Chuva
P1	Q	0,00	0,40	-0,27	-0,04	-0,23	0,09	0,31	0,25	-0,03
	P	-0,44	0,10	0,54	-0,78 *	0,26	-0,14	0,82 *	0,66 *	-
P2	Q	-0,30	-0,24	0,29	-0,37	0,32	-0,26	0,63 *	-0,26	0,08
	P	-0,01	0,64 *	0,24	-0,64 *	0,08	-0,14	0,34	-0,14	-

## 2.4 CONCLUSÃO

A análise dos dados e a interpretação da bacia hidrográfica permitem concluir que a mesma possui forma alongada, evidenciando menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade. Os valores encontrados para os parâmetros físicos e concentração de nutrientes encontram-se na Classe 1 para águas doces da Resolução CONAMA 365/2005. Apenas as concentrações de nitrato, ortofosfato e fosfato total tiveram correlação significativa com a precipitação e apenas ortofosfato teve correlação significativa com a vazão. A vazão possui correlação com os meses mais chuvosos. O estudo da morfometria de bacias hidrográficas é um bom recurso para avaliação de áreas, e aliado com outras informações podem gerar descrições completas sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas.



## REFERÊNCIAS

- ANGILLIERI, M. Y. E. Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina. *Quaternary International*, 253, 74–79. 2012.
- BASIN, H., TAPUIO, R. Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará–Brasil). *Revista de Geociências Do Nordeste*, 2, 555–564. 2016.
- BESSI, D. Inclusão de parâmetros hidrológicos na avaliação da restauração florestal. 1998. 2017 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2017.
- CASSETTARI, G. A., DE QUEIROZ, T. M. Morphometric characterization of the hydrographic basin of Jauquara river in the transition between the cerrado and Amazon biomes in Mato Grosso-Brazil. *Floresta*, v 49(2), p 325–334, 2019.
- CAVALCANTE, A. E. DE Q. M., GRIGIO, A. M., DIODATO, M. A. Morfometria e diagnóstico físico conservacionista (dfc) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró. *Revista Brasileira de Geografia Física* v, 14(7), p 3891–3909, 2021
- CLIMATE-DATA. (2019). Clima Brotas: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Brotas.
- DOMINGUES, G. F., BARBOSA, R. A., CORRÊA, C. C. S. A., GUIMARÃES, C. M., SILVEIRA, L. ESUS DA, DIAS, H. C. T. Caracterização Morfológica E Comportamento Hidrológico Da Bacia Hidrográfica Do Rio Pardo. *Revista Ifes Ciência*, 6(2), 03–16. 2020
- EMBRAPA, E. B. D. P. A.-. (1979). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula Da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 83.
- GAAZEN, A., HAQUE, SK. M. Soil erodibility assessment of laterite dominant sub-basin watersheds in the humid tropical region of India. *Catena*, n 213. 2022
- GOMES, D. D. M. (2014). Análise e compartimentação morfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. *Revista de Geologia*. v 27, n 2, p 167-182, 2014.
- HIRATA, A. A., BURKERT, D. Morfometria Da Bacia Do Ribeirão Lajeado – Sp. *Formação (Online)*, 27(50), 175–199, 2020.

- HORTON, R. Drainagem Basin Characteristics. *American Geophysical Union*, 350–361, 1932.
- KABITE, G., GESSESSE, B. Hydro-Geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 6, 175–183, 2018.
- LIMA, W. DE P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008.
- LIU, C., ZHANG, X., WANG, T., CHEN, G., ZHU, K., WANG, Q., WANG, J. Detection of vegetation coverage changes in the Yellow River Basin from 2003 to 2020. *Ecological Indicators*, 138, 2022.
- MAKHASANA, P., JOSHI, G. S. Trends in rainfall extremity and peak flood in Sabarmati River Basin, India. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 2022.
- MALLICK, J., SHIVHARE, V., SINGH, C. K., SUBIH, M. AL. Prioritizing Watershed Restoration, Management, and Development Based on Geo-Morphometric Analysis in Asir Region of Saudi Arabia Using Geospatial Technology. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(2), 1201–1222, 2022.
- MARONEZE, M. M., ZEPKA, L. Q., VIEIRA, J. G., QUEIROZ, M. I., JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Água*, 9(3), 445–458, 2014.
- MIOTO, C. L., RIBEIRO, V. DE O., SOUZA, D. M. DE Q., PEREIRA, T. V., ANACHE, J. A. A., FILHO, A. C. P. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, n 37, p 16–22, 2014
- OMAR, P. J., SHIVHARE, N., DWIVEDI, S. B., DIKSHIT, P. K. S. Identification of soil erosion-prone zone utilizing geo-informatics techniques and WSPM model. *Sustainable Water Resource Management*, 8, 2022.
- PEREIRA, L. C. Evolução dos serviços ecossistêmicos em diferentes estágios de regeneração natural. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis), Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.

PINTO, V. R., PIERANGELI, M. A. P., DE SOUZA, C. A., NEVES, S. M. A. DA S., DA SILVA, C. J. Morfometria da bacia hidrográfica do Rio Sararé, sudoeste de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v 11(5), p 1721–1731, 2018.

RAMOS, R. P. DA S., DE DEUS, R. A. DA S. GO., ALEXANDRE, F. DA S., GOMES, D. D. M. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio por Meio de Técnicas de Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v 4(8), p 226–246, 2017

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambory, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, v 67, p 597–646, 1956.

SILVA, G., ALMEIDA, F., ALMEIDA, R., MESQUITA, M., ALVES JUNIOR, J. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, v 15(28), p 244–258, 2018.

SILVA, J. L., TONELLO, K. C. Morfometria Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Dos Pinheirinhos, Brotas – Sp. *Irriga*, v 19(1), p 103–114, 2014.

SIMONETTI, V. C., SILVA, D. C. DA C. E, ROSA, A. henrique. Compartmented spatial correlation of drainage patterns with morphometric characteristics of the Pirajibu-Mirim river watershed. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v 23(1), p 1134–1154, 2022a.

SIMONETTI, V. C., SILVA, D. C. DA C., ROSA, A. H. Compartmented spatial correlation of drainage patterns with morphometric characteristics of the Pirajibu-Mirim river watershed. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v 23(1), p 1134–1154, 2022b

TEWARI, N. K., MISRA, A. K., SHARMA, A. Assessment of geomorphological and hydrological variations in Bhagirathi River Drainage sub- basin with the help of morphometric studies. *Journal of Taibah University for Science*, v 13, p 1006–1013, 2019.

TONELLO, K. C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

TONELLO, K. C., DIAS, H. C. T., DE SOUZA, A. L., RIBEIRO, C. A. A. S., LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. *Revista Arvore*, v 30(5), p 849–857, 2006.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil.

YANG, L., ZHAO, G., TIAN, P., MU, X., TIAN, X., FENG, J., BAI, Y. Runoff changes in the major river basins of China and their responses to potential driving forces. *Journal of Hydrology*, v 607, 2022.

ZHANG, X., LIU, K., WANG, S., WU, T., LI, X., WANG, J., WANG, D., ZHU, H., TAN, C., JI, Y. (2022). Spatiotemporal evolution of ecological vulnerability in the Yellow River Basin under ecological restoration initiatives. *Ecological Indicators*, v 135, 2022.

### **CAP III: AVALIAÇÃO TEMPORAL DE USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREA DE REGENERAÇÃO PASSIVA**

#### **RESUMO**

Dois dos maiores desafios enfrentados em nível global são a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas, a proteção de área ecologicamente frágeis conduzindo a regeneração florestal pode ajudar a enfrentar esses problemas. Porém ainda existem muitos desafios para se avaliar com precisão a regeneração florestal. Nesse âmbito, uma ferramenta que é usada constantemente é o sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas. Com essas ferramentas é possível observar a refletância de diferentes regiões e analisar como cada uma se comporta, criando índices para serem analisados, com isso o objetivo desse trabalho é analisar o desenvolvimento da cobertura do solo e temperatura ao longo do tempo, a fim de se avaliar a regeneração florestal em uma RPPN no Cerrado paulista. As imagens foram obtidas através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos, sendo coletado imagens entre 2014 e 2020 do satélite Landsat-8. Alguns dados obtidos contradizem a hipótese de que a área estudada se encontra em bom estágio de regeneração, porém os resultados são explicados por condições climáticas que podem alterar os índices de vegetação, como secas recorrentes. Analisando a situação atual da RPPN Águas Perenes, pode-se concluir que esta se encontra em estágio avançado de regeneração, principalmente ao longo dos cursos de água, tendo aproximadamente 80% de sua área em estágio médio/avançado de regeneração.

Palavras-chave: Regeneração, índices de vegetação, landsat-8

## ABSTRACT

Two of the biggest challenges faced at a global level are the loss of biodiversity and climate change, the protection of ecologically fragile areas leading to forest restoration can help address these problems. However, there are still many challenges to accurately assess forest restoration. In this context, a tool that is constantly used is the SR (remote sensing) and the GIS (geographical information system). With these tools it is possible to observe the reflectance of different regions and analyze how each one behaves, creating indices to be analyzed, with this the objective of this work is to analyze the development of land cover and temperature over time, in order to evaluate forest restoration in an RPPN in the Cerrado of São Paulo. The images were obtained through the US Geological Survey website, and images were collected between 2014 and 2020 from the Landsat-8 satellite. Some data obtained contradict the hypothesis that the trained area is in a good exemption stage, but these data are explained by climatic conditions that can alter the vegetation indexes, such as recurrent droughts. Analyzing the current situation of RPPN Águas Perenes, it can be concluded that it is in an advanced stage of efficiency, mainly along the watercourses, with approximately 80% of its area in a medium/advanced stage of isolation.

Keywords: Restoration, vegetation indices, landsat-8

### 3.1 INTRODUÇÃO

A perda de biodiversidade e as mudanças climáticas são dois dos maiores desafios ambientais globais que estão interligados, e uma forma de reduzir esses problemas é através da interrupção da perda e degradação das florestas (XU et al., 2022). Entre as alterações mais comuns estão o aumento da temperatura e a perda de umidade, tanto do ar quanto do solo, que pode alcançar dezenas de metros da borda ao interior do fragmento florestal (KAPOS, 1989; SAUNDERS *et al.*, 1991; PIRES; FERNANDEZ; BARROZ, 2006). Assim, a floresta tem uma função muito importante que é contribuir na proteção contra o aquecimento da água, devido à menor exposição dos canais à radiação direta, já que a temperatura pode influir no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção do oxigênio e precipitação de compostos, o que pode originar um desequilíbrio ecológico (VON SPERLING, 1996). Diante disso, quando se tem como objetivo a avaliação da integridade de ecossistemas, torna-se importante a análise de gradientes de temperatura e umidade em fragmentos florestais.

De maneira geral, proteger áreas ecologicamente frágeis conduz a uma restauração florestal, porém, ainda existem muitos desafios em avaliar com precisão a restauração florestal e esclarecer seus mecanismos (XU et al., 2022), recursos limitados para manutenção, uso não sustentável de recursos, presença de espécies exóticas, fragmentação e poluição são alguns dos desafios de manter as áreas de preservação (MARTÍNEZ-GARZA; CECCON; MÉNDEZ-TORIBIO, 2022).

O uso de múltiplas bases e sensores, como ótico, radar, lidar, climatológicos etc., promove novos métodos de processamento de imagens em múltiplas escalas, permitindo um melhor entendimento e avaliação de classes vegetais e suas transições (DE OLIVEIRA et al., 2020). Informações de temperatura e umidade também podem ser obtida por imagens de satélites, o qual permitem avaliar grandes áreas com menor tempo e custo, de modo a promover a compreensão da distribuição espacial das fontes de calor e umidade em uma determinada área (DE SOUZA, 2012; AMORIM; FILHO, 2017; DORNELES *et al.*, 2020).

O uso de imagens de sensoriamento remoto multitemporal é uma fonte confiável de dados para avaliar a eficácia da restauração florestal em uma base regular (LIU et al., 2019), porém, ainda há poucos relatos de sensoriamento remoto para monitoramento das ações de restauração ecológica na reversão da degradação da terra (CAMARRETTA et al., 2020). A grande maioria das iniciativas de estudo de monitoramento de vegetação no Cerrado tem usado sensores óticos de médio a moderada resolução espacial, pesquisas recentes têm

indicado que alta resolução espacial é essencial para discriminar níveis hierárquicos de classificação de múltiplas fisionomias vegetais (DE OLIVEIRA et al., 2020).

O sensoriamento remoto baseia-se na aquisição de informações armazenadas pelos sensores e câmaras, os quais captam a energia eletromagnética irradiada por um objeto, a energia emitida ou refletida por objetos na superfície física da terra é transmitida aos sensores em formas de ondas eletromagnéticas (ANTUNES, 2008).

A informação recebida pelo sensor pode ser codificada em termos de frequência, intensidade e polarização da onda. O conjunto de comprimentos de onda que compõem a radiação eletromagnética é denominado espectro eletromagnético, o espectro eletromagnético é dividido em regiões onde o componente comprimento de onda possui características similares (Figura 10) (ANTUNES, 2008).

A estreita faixa da região visível (0,4  $\mu\text{m}$  – 0,7  $\mu\text{m}$ ) possui grande importância, não apenas por ser detectável ao olho humano, mas também pela quantidade de energia disponível para detecção. Os sensores detectam e armazenam a energia (fótons) em bandas ou faixas nas quais o sensor é sensível. A luz visível ou luz branca é um conjunto de ondas com diferentes frequências e comprimentos de onda, que nosso cérebro traduz como cores, portanto, cada cor corresponde a uma determinada onda eletromagnética, com frequência e comprimento de onda específico, que se refere a uma pequena faixa do espectro (ANTUNES, 2008).

As interações entre radiação eletromagnética e os objetos, quando aplicados à vegetação podem ser estimados por modelos de refletância, pois eles procuram estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros biofísicos da vegetação e as suas propriedades espectrais (BATISTA et al., 2018). A premissa básica para aplicação de sensoriamento remoto na avaliação de vegetação é que as diferenças podem ser identificadas por meio de variações nas respostas espectrais (MORAIS et al., 2021).

A resposta espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, na região do visível do espectro eletromagnético, corresponde a uma baixa refletância devido à absorção da radiação incidente pela clorofila e pelos carotenoides da planta, já na região do infravermelho próximo ocorre uma alta refletância devido à estrutura celular da folha (LIPPERT et al., 2015).



A obtenção do comportamento espectral da vegetação, a partir de imagens provenientes de satélite equipados com sensores multiespectrais, tem sido uma prática muito comum nos trabalhos que visam estimar variáveis como: o índice de área foliar, dinâmica da paisagem florestal e índices de vegetação (BATISTA et al., 2018).

A partir disso, índices de vegetação espectral têm sido frequentemente utilizados para avaliação de vegetação, entretanto, a escolha do índice de vegetação mais adequado para representar a vegetação requer estudos básicos, que relacionam a variabilidade das condições estruturais da vegetação com os fatores de refletância bidirecionais da superfície dos diferentes canais ou bandas espectrais (MORAIS et al., 2021). Alguns dos índices de vegetação que podem ser aplicados são: Índices de Vegetação da Razão Simples (SRI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Vegetação Melhorado, Green NVDI (GNVDI), Normalized Difference Red Edge (NDRE), Normalized Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI) entre outros (TAYLOR-ZAVALA et al., 2021).

O comportamento espectral dos solos é definido pela combinação e arranjos das substâncias que compõem as três fases do solo, sólida (minerais e matéria orgânica), líquida (água) e gasosa (ar), então os principais fatores são: constituição mineral, proporção de matéria orgânica, granulometria (textura e estrutura) e umidade (IBGE, 2001). O comportamento espectral da água varia em função de alguns fatores como estado físico, concentração de materiais em suspensão e dissolvidos na água e pela profundidade do corpo hídrico (IBGE, 2001).

A água líquida apresenta baixa refletância, entre 0,38  $\mu\text{m}$  e 0,7  $\mu\text{m}$ , a partir desse limite, toda a radiação é absorvida (JÚNIOR, 2021). Na forma de nuvens, a água apresenta altíssima refletância, as ondulações são devidas à leve absorção em torno de 1,3  $\mu\text{m}$  e 2  $\mu\text{m}$  (IBGE, 2001). Cada parte da superfície do solo apresenta uma curva característica de refletância, podendo então ser distinguido o que cada uma representa.

Dentre os índices de vegetação destacam-se o Índice de Razão Simples (Simple Ratio Index – SRI) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NVDI) para estudo de cobertura florestal, o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), o qual introduz uma constante que busca minimizar o efeito do solo, também tem sido utilizada para formações florestais (BERGER et al., 2019).

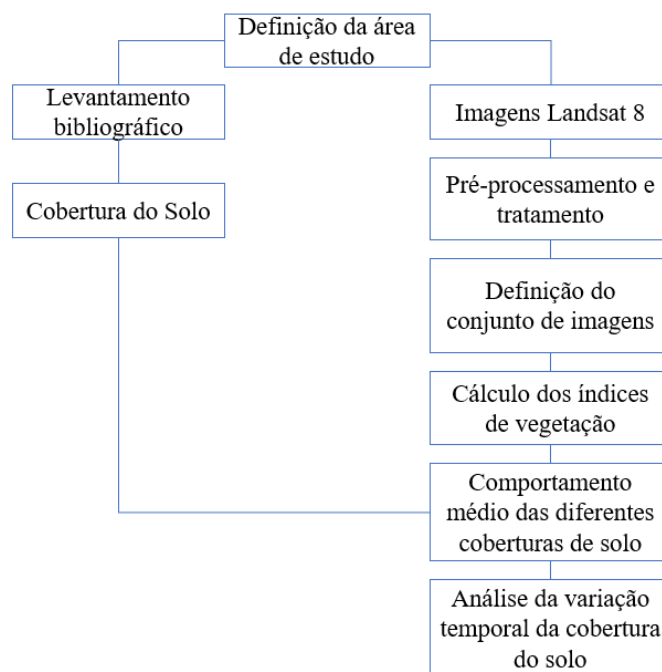
Nesse sentido, há estudos publicados que têm apresentado a aplicação da temperatura de superfície (TS) em uma diversidade de estudos como os de León, Rodríguez e Valero, (2019) os quais geraram modelos de temperatura do solo a partir de sondagens superficiais de temperatura e sensores remotos para a estimação e distribuição de calor em superfície e profundidade para a área geotérmica do vulcão Azufral, na Colômbia. Já Santos, (2018) avaliou efeitos da temperatura superficial terrestre (TST) em áreas de pastagens com diferentes sistemas de produção e manejo agrícola, isto para identificar e classificar as áreas, assim como detectar as ilhas de calor. Por sua vez, Nunes *et al.* (2017) analisaram a variação da temperatura no leste da Amazônia, utilizando informações de dados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, como a temperatura da superfície (TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com dados de temperatura do ar para análise e monitoramento de qualidade ambiental.

O objetivo geral desse capítulo é analisar o desenvolvimento da regeneração natural da RPPN Águas Perenes, Brotas, SP por imagens de satélite, analisando os índices de vegetação, umidade e temperatura ao longo dos anos.

### 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação da metodologia envolve etapas que devem ser seguidas para ser alcançado os objetivos propostos. Desta forma, a figura 10 apresenta o fluxograma metodológico utilizado no presente trabalho.

Figura 10: Fluxograma metodológico.



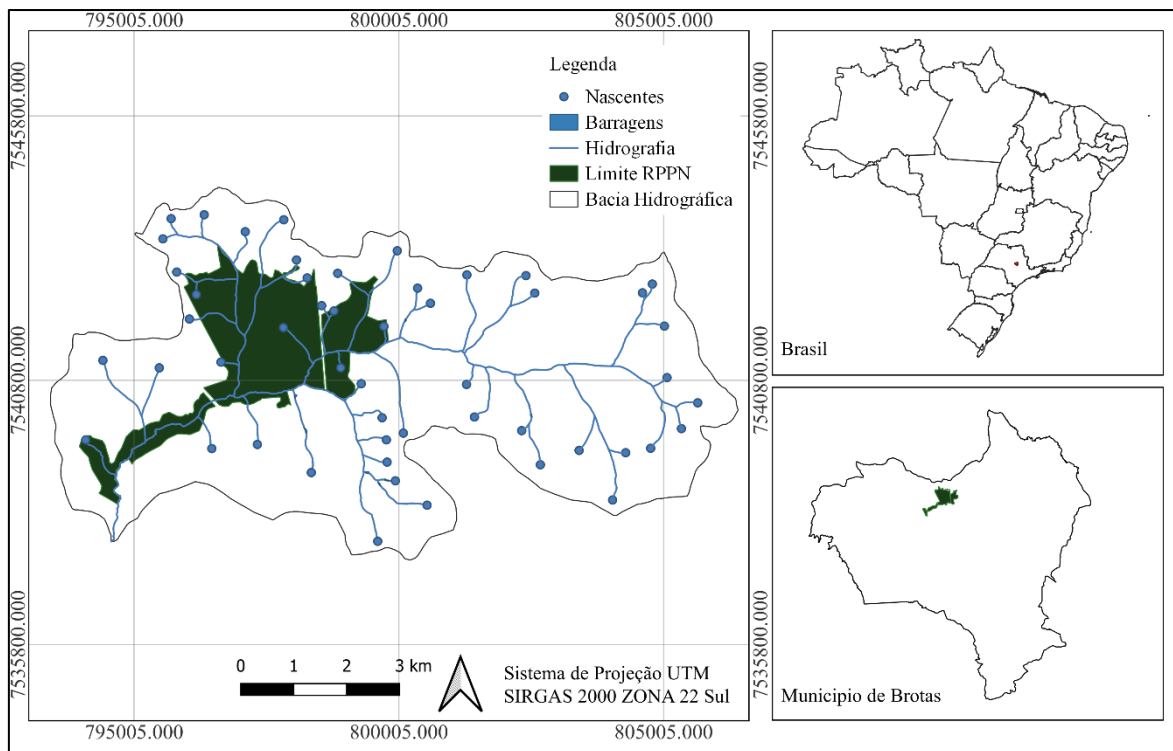
Fonte: O Autor, 2023.

### 3.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em área de propriedade da empresa International Paper Brasil, sendo a área em questão uma Unidade de Conservação do tipo RPPN (Reserva Particular de Patrimônio Natural), sendo reconhecida pelo Forest Stewardship Council (FSC) como uma Floresta de Alto Valor de Conservação, com o objetivo de manter o Atributo de Alto Valor de Conservação 4 de Serviços Ambientais Críticos (PEREIRA, 2020), sendo esses, serviços ambientais básicos como proteção de bacias hidrográficas.

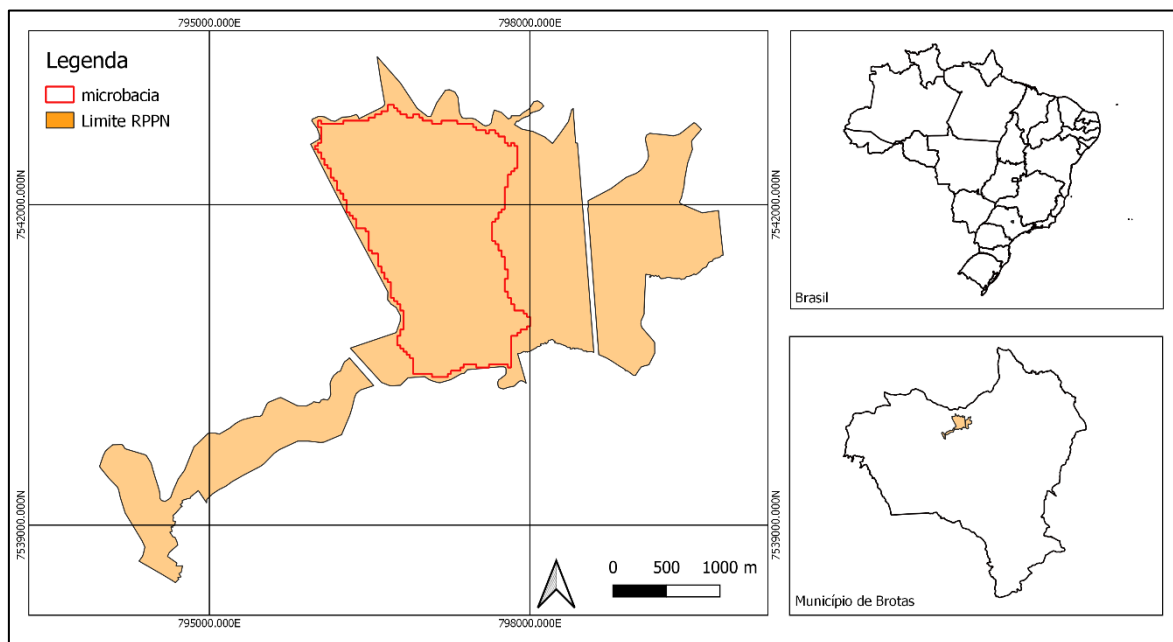
A RPPN (Reserva Particular de Patrimônio Natural) (Figura 11 e 12) possui 809,78 ha de Cerrado, sendo sua fitofisionomia caracterizada como vegetação secundária dos tipos Cerrado Típico e Cerradão (BESSI, 2017). Segundo Koppen/Geiger, a classificação climática de Brotas/SP é Cwa, com precipitação média anual de 1400 a 1500 mm (BESSI, 2017; CLIMATE-DATA, 2019). A área se localiza na região de transição entre Neossolo quartzarênico e Latossolo vermelho-amarelo com textura Arenosa (PEREIRA, 2020). Ainda na figura 12 é possível ver duas divisões no contorno da RPPN, sendo a menor por conta de uma linha de alta tensão, e a maior é devido a uma estrada.

Figura 11: Mapa de localização RPPN - Águas Perenes, Brotas – SP.



Fonte: O Autor, 2023.

Figura 12: Localização da Bacia Hidrográfica, Brotas, SP.



Fonte: O Autor, 2023.

### 3.2.2 Imagens utilizadas

As imagens foram obtidas de dois satélites. Para a análise multitemporal utilizou-se imagens do satélite Landsat-8, o qual possui o sensor OLI (*Operational Land Imager*). As imagens foram obtidas gratuitamente na página web: *United States Geological Survey - USGS* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (USGS, 2022).

Para a avaliação temporal da regeneração nos estratos da RPPN foi coletado imagens de 2014 até 2020, para cada ano foi selecionado uma imagem na estação de seca (junho e julho) e outra na estação de chuva (fevereiro e março), a fim de se observar se há diferença nos índices e vegetação. Para a análise os períodos foram nomeados de acordo com o ano e com a estação, imagens que representam a estação chuvosa ganhou o sufixo “.1” e a imagem que representa a estação seca ganhou o sufixo “.2”.

Em relação as camadas utilizadas (Tabela 8), das imagens de Landsat-8, foram selecionadas as bandas, azul (B2 - blue), vermelho (B4 - red) e infravermelho (B5 - nir), que são as imagens utilizadas pelas equações dos índices de vegetação, também foi utilizado a banda verde (B3 – green) para a análise de cobertura do solo. As imagens utilizadas foram selecionadas a partir da data, do cobrimento total da RPPN e ao máximo recobrimento de nuvem de 30%, selecionando aquelas com menor recobrimento possível da RPPN.

Tabela 8: camadas geradas pelo satélite Landsat-8.

<b>Nome</b>	<b>Resolução (m)</b>	<b>Comprimento da onda (µm)</b>	<b>Descrição</b>
B1	30	0,43 - 0,45	Coastal Aerosol
B2	30	0,450 - 0,51	Blue
B3	30	0,53 - 0,59	Green
B4	30	0,64 - 0,67	Red
B5	30	0,85 - 0,88	Near-infrared
B6	30	1,57 - 1,65	SWIR 1
B7	30	2,11 - 2,29	SWIR 2
B8	30	0,50 - 0,68	Panchromatic
B9	30	1,36 - 1,38	Cirrus

Fonte: USGS, (2022).

Em relação as camadas utilizadas, foram selecionadas as de banda azul (blue), verde (green), vermelho (red) e infravermelho (nir), que são as imagens utilizadas pelos algoritmos de determinação do uso e ocupação do solo.

Para analisar espacialmente e temporalmente o comportamento da temperatura na RPPN Floresta das Águas Perenes, também foram adquiridas imagens orbitais digitais gratuitas do sistema *United States Geological Survey* (USGS), do satélite Landsat 8 (USGS, 2019). Dessa forma, o cálculo da temperatura de superfície foi realizado a partir da banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) que trata da faixa infravermelho termal (10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$ ) com uma resolução espacial de 100 metros. As imagens obtidas estão localizadas na órbita 200 e ponto 75 e o período de análise foi de maio de 2013 a junho de 2019.

As imagens infravermelhas termais, foram recortadas levando-se em consideração os limites da RPPN. Posteriormente, foram usados parâmetros fixos de conversão dos níveis de cinza da imagem (NC) para radiância e calculado a temperatura da superfície em kelvin com posterior transformação para graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Para isso, foram utilizadas as equações (1) e (2), que estão disponíveis no Serviço Geológico Americano, conforme pode ser visualizado adiante:

$$L\lambda = ML \times Q_{\text{cal}} + AL$$

Onde:  $L\lambda$  = Radiância Espectral do sensor de abertura ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{Sr} \cdot \mu\text{m}$ );  $ML$  = Fator de escala multiplicativa de redimensionamento de banda 10 =  $3.3420\text{E}-04$  ( $\text{RADIANCE\_MULT\_BAND}_n$  a partir dos metadados);  $Q_{\text{cal}}$  = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN;  $AL$  = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 =  $0.10000$  ( $\text{RADIANCE\_ADD\_BAND}_n$  a partir dos metadados) .

Assim como foi descrito, após a transformação dos valores em radiância, obteve-se a temperatura de superfície ( $T$ ) com a aplicação da equação abaixo, com o objetivo de transformar os valores obtidos da equação de  $L\lambda$  , em temperatura kelvin, como segue:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Onde:  $T$  = Temperatura de superfície (K);  $K_2$  = Constante de calibração 2, obtido a partir dos metadados e igual a 1321,08 (K);  $K_1$  = Constante de calibração 1, obtido a partir dos metadados e igual a 774,89 (K);  $L\lambda$  = Radiância Espectral do sensor de abertura ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{Sr} \cdot \mu\text{m}$ ).

Após obter a temperatura em kelvin, os valores foram transformados para gerar o raster de temperatura de superfície em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Posteriormente, foram calculados o desvio padrão, a média e o coeficiente de variação para cada um dos meses estudados a

partir das imagens coletadas para temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima com o auxílio do software Excel 2013.

Uma vez tendo as imagens de temperatura de cada mês, calculou-se a temperatura média por mês através de uma operação algébrica de mapas visando apresentar como a temperatura média mensal se distribui espacialmente e sazonalmente pela área de estudo. Os dados de temperaturas médias mensais foram então reclassificados em faixas de valores para apresentação destes em mapa.

### 3.2.3 Processamento das imagens

Após a obtenção das imagens, elas foram trabalhadas em ambiente GIS no software QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2, sendo que as imagens foram recortadas para o perímetro de abrangência da RPPN.

A obtenção dos índices de vegetação foi realizada pelo software R, já o mapa de uso e ocupação da RPPN, pelo método de maior verossimilhança (*maximum likelihood*) processado no software QGIS 3.22 with GRASS 78.2. através do complemento SCP (classificação semiautomática / semi-automatic classification)

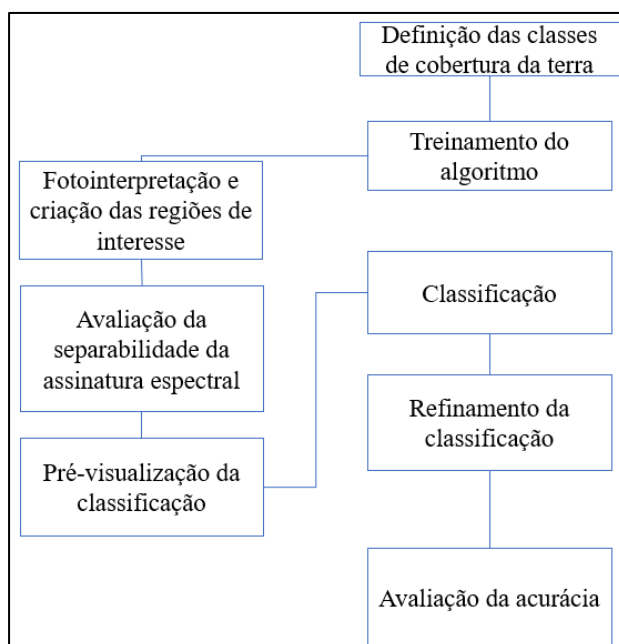
#### 3.2.3.1 Definição da cobertura de solo avaliada

Após a obtenção das imagens, elas foram trabalhadas em ambiente GIS no software QGIS 3.22 with GRASS 7.8.2, de forma que as imagens foram recortadas para o perímetro de abrangência da RPPN. Para a classificação será utilizado o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), o qual permite fazer a classificação supervisionada do tipo de cobertura do solo. As imagens de banda azul (blue), verde (green), vermelho (red) e infravermelho (nir), foram mescladas, então é gerado uma imagem com as bandas mescladas.

Através do SCP é separado 10-15 amostras e classificadas em: regeneração avançada, regeneração média, regeneração inicial e solo exposto, para que o programa possa classificar o restante das áreas, essas amostras foram classificadas de acordo com sua cor e

textura da imagem mesclada, de comparação com imagem de satélite Google Earth e com visitas in loco na RPPN. Por último é selecionado o algoritmo *maximum likelihood*, ou seja, o mais parecido possível, e é gerado o mapa de uso do solo. O fluxo de trabalho está descrito na figura 13. A figura 14 exemplifica como foi realizada a classificação das amostras através de imagens de satélite e verificação em campo.

Figura 13: Fluxograma de atividades para realização da classificação supervisionada.



Fonte: O Autor, 2023.



Figura 14: Esquema de classificação de amostras de imagens de satélite.



Fonte: O Autor, 2023.

### 3.2.3.2 Índices de Vegetação da Razão Simples (SRI)

O índice de vegetação da Razão Simples foi obtido através da razão entre o fluxo refletido no infravermelho próximo e o fluxo radiante refletido no vermelho descrito na equação (JENSEN, 2011):

$$SRI = \frac{P_{nir}}{P_{red}}$$

Onde:  $P_{nir}$  = fluxo radiante refletido no infravermelho próximo;  $P_{red}$  = fluxo radiante refletido no vermelho.

### 3.2.3.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI)

O índice de vegetação da Diferença Normalizada (NVDI) normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, onde as áreas de vegetação mais intensas aproximam-se dos

patamares superiores e áreas alagadiças, do limite inferior (ROUSE et al., 1973). A normalização é feita pela seguinte equação:

$$NVDI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}}$$

Onde:  $P_{nir}$  = fluxo radiante refletido no infravermelho próximo;  $P_{red}$  = fluxo radiante refletido no vermelho.

#### 3.2.3.4 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O índice de vegetação Ajustado para o Solo surgiu como uma opção ao NVDI buscando minimizar o efeito do solo no seu valor final (CRUZ; SOUZA; JESUS, 2011). Nesse índice é utilizado uma constante “L” com função de minimizar o efeito do solo no índice, sendo que essa constante varia de 0 a 1, sendo utilizado na maioria dos casos o valor médio de 0,5 (CRUZ; SOUZA; JESUS, 2011), porém, pode-se assumir outros valores, para Huete, (1988), pode-se usar  $L = 0,25$  para densidades de vegetação altas e  $L = 1$  para densidades de vegetação baixas. O índice é dado pela seguinte formula:

$$SAVI = (1 + L) * \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red} + L}$$

Onde:

$P_{nir}$  = fluxo radiante refletido no infravermelho próximo;  $P_{red}$  = fluxo radiante refletido no vermelho;  $L$  = fator de ajuste para o solo.

#### 3.2.3.5 Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

De acordo com Justice et al., (1998), o índice de vegetação Melhorado, busca otimizar o sinal da vegetação, intensificando a resposta em regiões de elevada concentração de biomassa, melhorando as interferências atmosféricas e do solo nas respostas. O índice é dado pela seguinte formula:

$$EVI = G * \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + (C1 * P_{red}) - (C2 * P_{blue}) + L}$$

Onde:

$P_{nir}$  = fluxo radiante refletido no infravermelho próximo;  $P_{red}$  = fluxo radiante refletido no vermelho;  $L$  = fator de ajuste para o solo;  $G$  = fator de ganho (2,5);  $C1$  e  $C2$  = coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis da atmosfera (6,0 e 7,5 respectivamente).

Então foi realizado a análise do comportamento médio dos índices de vegetação das diferentes coberturas de solo e a análise espaço-temporal das coberturas de solo.

### 3.2.3.6 Índice de Água pela Diferença Normalizada (NDWI)

De acordo com (ASHOK; RANI; JAYAKUMAR, 2021) os valores de NDWI estão fortemente relacionados com o teor de água das plantas, podendo representar o estresse hídrico da planta. Esses valores são uteis nos cálculos de status da água líquida da vegetação através do sensoriamento remoto. O índice é dado pela seguinte fórmula:

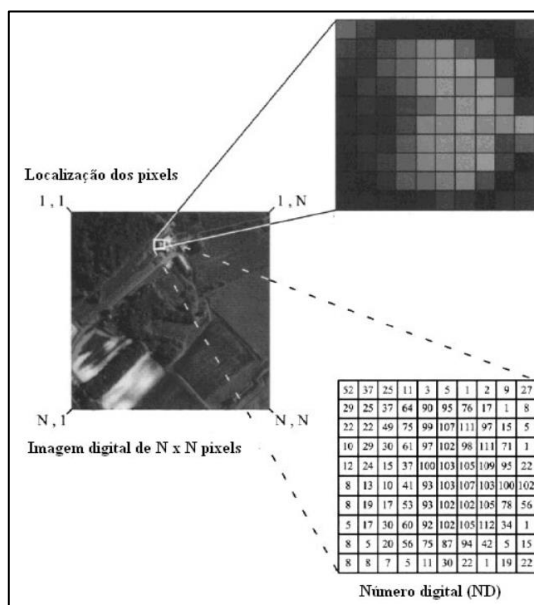
$$NDWI = \frac{P_{green} - P_{nir}}{P_{green} + P_{nir}}$$

Onde:  $P_{nir}$  = fluxo radiante refletido no infravermelho próximo;  $P_{red}$  = fluxo radiante refletido no verde.

### 3.2.3 Análise estatística

A fim de se observar se houve ou não variação nos índices de vegetação, foi realizado a média dos valores dos pixels das imagens de cada período, como mostra a figura 15, os quais foram comparadas para se observar se elas diferem estatisticamente com 5% de significância. Os dados foram testados em relação a normalidade para realização da ANOVA, como os dados não apresentem normalidade, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Assim os índices de vegetação foram comparados na escala anual e estações de chuva/seca. A análise estatística foi realizada no software estatístico R.

Figura 15: Esquema ilustrativo dos valores dos pixels



Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera

<https://www.ipma.pt/pt/oipma/quem/ipma/>.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores médios dos pixels das imagens dos índices de vegetação não apresentaram normalidade, então foi realizado testes não paramétricos para sua análise (Tabela 9). Pode-se observar que os índices apresentam tendências semelhantes, tendo valores maiores no ano de 2014 e 2015 e diminuindo bruscamente de 2016 a 2020, onde os dados se mantem próximos. No teste de Kuskal-Wallis, analisando os índices de vegetação não houve diferença significativa, sendo o p-valor = 0,4478.

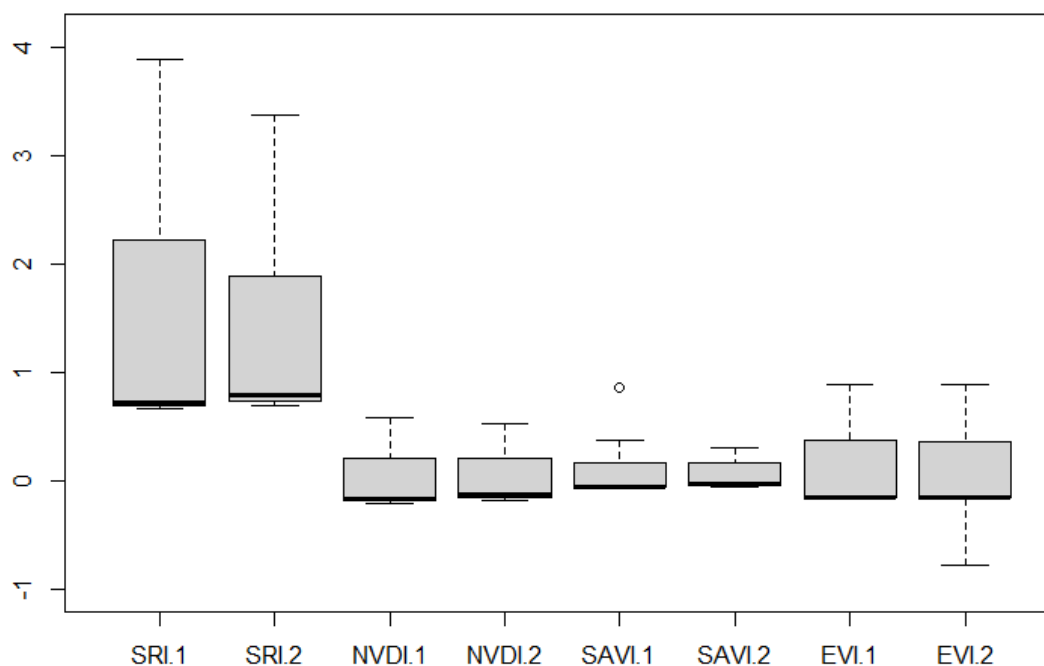
Tabela 9: Valores da média dos índices de vegetação SRI, NVDI, SAVI e EVI.

ANO	SRI	NVDI	SAVI	EVI
2014.1	3,72266	0,571937	0,8577895	5,72871
2014.2	2,929712	0,487856	0,3069305	0,8836767
2015.1	3,894239	0,5849207	0,3809413	0,8837011
2015.2	3,379867	0,530648	0,3100704	0,8310622
2016.1	0,7170405	-0,1697324	-0,04957873	-0,1515254
2016.2	0,7170405	-0,1697324	-0,04957873	-0,1515254
2017.1	0,7235419	-0,1646886	-0,04639052	-0,1336358
2017.2	0,7613438	-0,1373696	-0,04162414	-0,1538099
2018.1	0,7132374	-0,1692229	-0,0523862	-0,1650464
2018.2	0,8574599	-0,08163179	0,02305788	-0,7736892
2019.1	0,6869654	-0,1889547	-0,05496005	-0,1542798
2019.2	0,6971016	-0,1810433	-0,04754624	-0,1595368
2020.1	0,6622589	-0,2056044	-0,05927435	-0,168507
2020.2	0,7863791	-0,1231265	-0,03548554	-0,1187565

Fonte: O Autor, 2023.

Os dados em relação aos períodos não apresentaram diferença significativa em relação ao teste de Kruskal-Wallis ( $p$ -valor = 0,4232). A pouca diferença entre os períodos pode ser analisada na figura 14, onde o sufixo “.1” representa a estação chuvosa, com valores um pouco maiores, e o sufixo “.2” representa a estação seca.

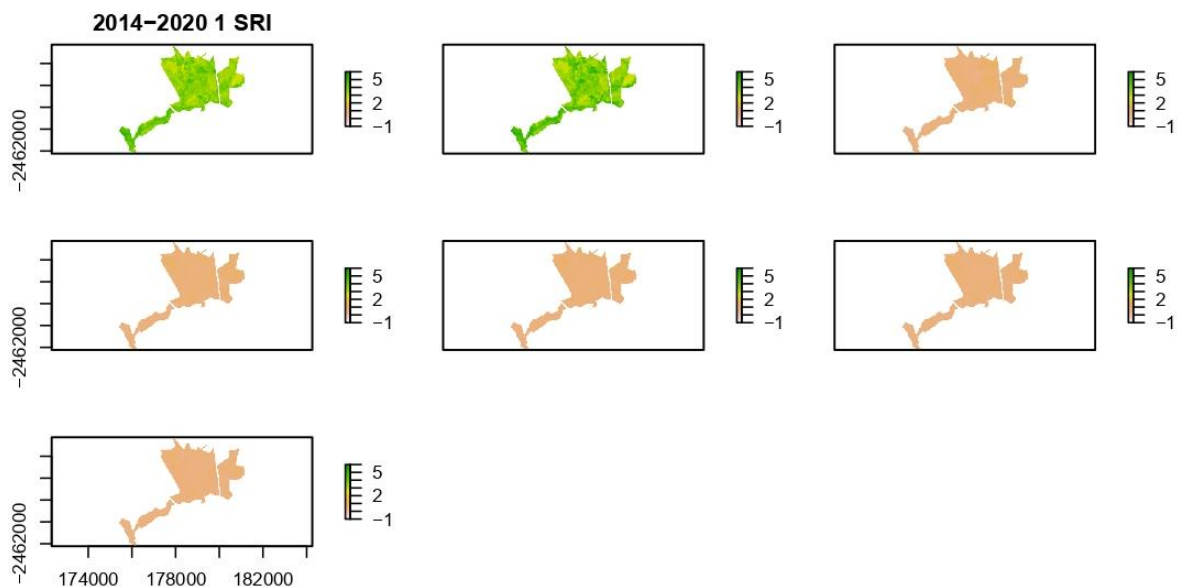
Figura 16: Boxplot dos índices de vegetação em relação aos períodos.



Fonte: O Autor, 2023.

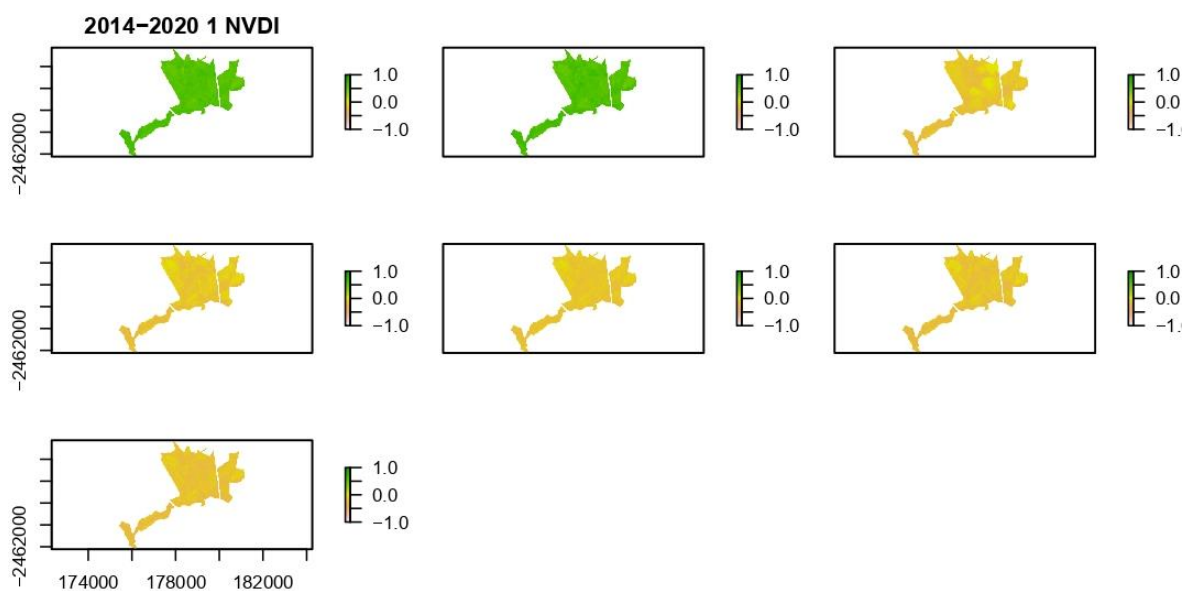
A diminuição dos valores médios do pixel dos índices de vegetação também pode ser observada nas figuras 15, 16, 17 e 18, onde a reflexão do verde fica menor ao longo dos anos.

Figura 17: Mapa temporal do Índice de Vegetação SRI.



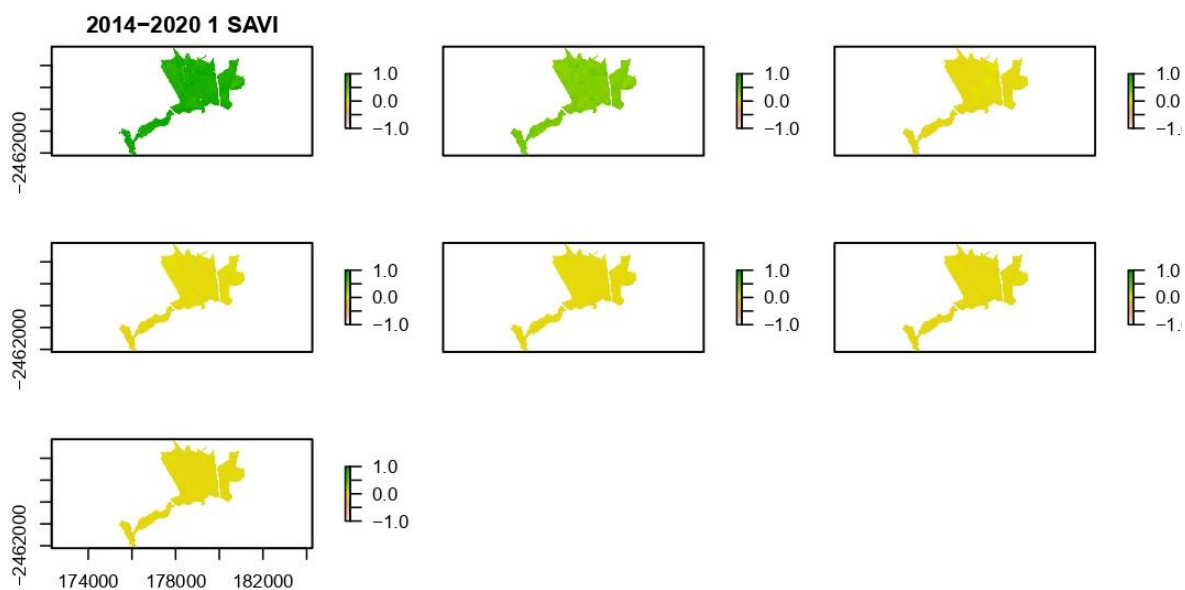
Fonte: O Autor, 2023.

Figura 18: Mapa temporal do Índice de Vegetação NVDI.



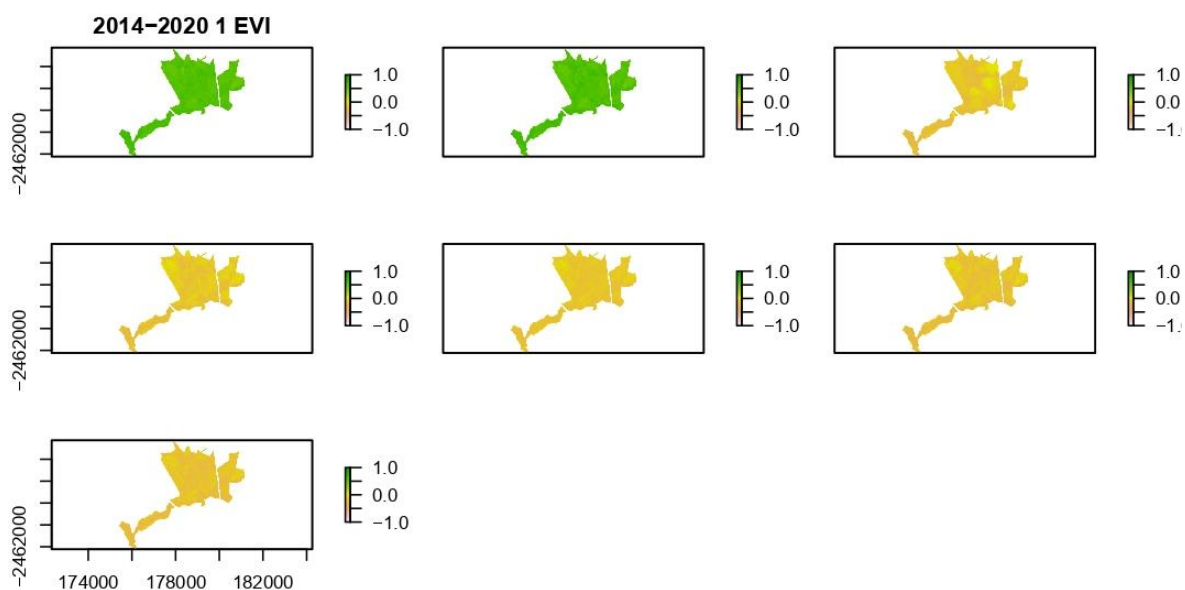
Fonte: O Autor, 2023.

Figura 19: Mapa temporal do Índice de Vegetação SAVI.



Fonte: O Autor, 2023.

Figura 20: Mapa temporal do Índice de Vegetação EVI.



Fonte: O Autor, 2023.

De acordo com Nepomuceno; Filho, (2015) e Júnior; Dantas, (2018) os resultados das imagens sugerem uma diminuição de biomassa foliar, o que contradiz com a hipótese inicial de aumento de vegetação e diminuição de solo exposto na RPPN. Porém, a hipótese

desse estudo corrobora com Pereira et al., (2021), indicando que as variações na intensidade fotossintética da vegetação também estão associadas a outros fatores diversos, isto é, além das características da cobertura vegetal, têm-se a influência do relevo ou dos condicionantes pedoclimáticos (RIOS; VALE, 2015).

Um desses fatores pode ser escassez hídrica, de acordo com Marengo et al., (2015) no ano de 2014 houve uma crise hídrica na região sudeste do Brasil, atingindo principalmente o estado de São Paulo, devido a um bloqueio atmosférico que impediu a passagem de chuvas, e um sistema de baixa pressão que impediu a recuperação da umidade do solo, essas informações são reforçadas por Marengo; Alves, (2015) e Fearnside; Laurence, (2015).

De acordo com César; Henrique, (2017) estudando dados do INMET/UFSCar e da EMBRAPA/Sudeste, no período de 2013/2014, percebe-se uma precipitação muito abaixo do usual, podendo ser caracterizada como “Ano Seco”, os valores são respectivamente 674,2 e 679,2 mm, respectivamente, sendo a média histórica 1.225,46 e 1.128,90 mm respectivamente, podendo ter causado a brusca queda dos índices de vegetação no ano de 2015. Outro ponto importante de se levar em consideração é que, após a finalização do ciclo de eucalipto, a área foi destinada à regeneração passiva, que naturalmente se desenvolve de maneira mais lenta.

Em relação ao uso do solo atual da RPPN, pode-se observar na figura 19 que sua maior parte está caracterizada como regeneração média ou avançada, com uma área menor em estágio de regeneração inicial, tabela 10. É importante destacar a relação dos cursos d’água na regeneração, nota-se que a regeneração acompanha os leitos dos cursos d’água figura 20.

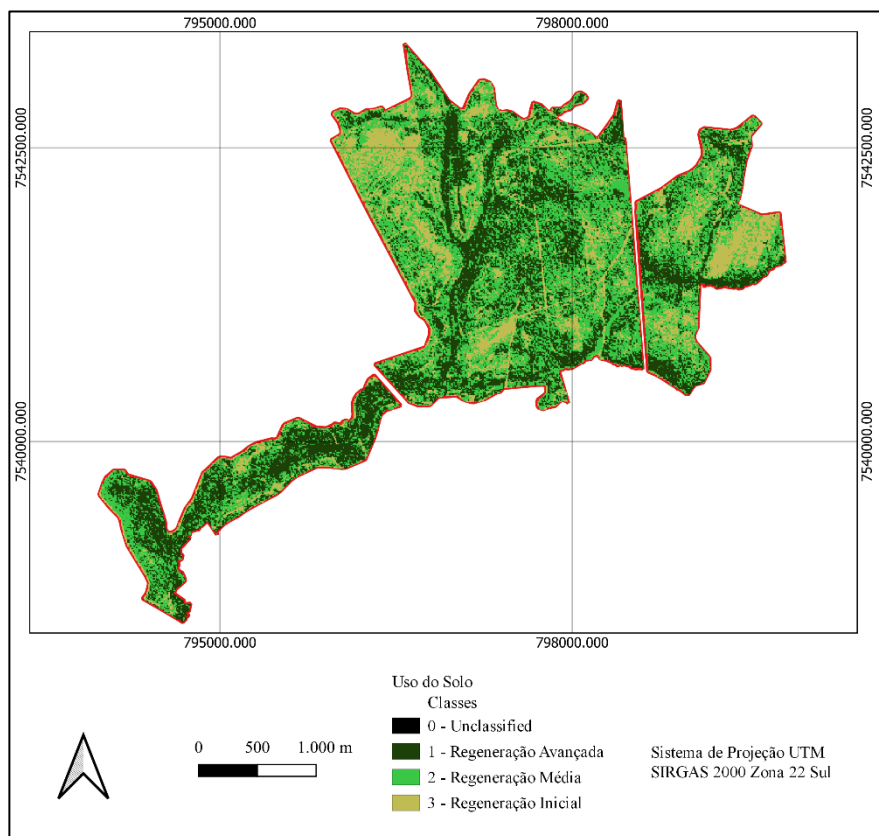
Tabela 10: Porcentagem dos índices de regeneração.

<b>Estágio de Regeneração</b>	<b>Porcentagem de área (%)</b>
<b>Inicial</b>	35,4
<b>Médio</b>	45,2
<b>Avançado</b>	19,4
	100,0

Fonte: O Autor, 2023.

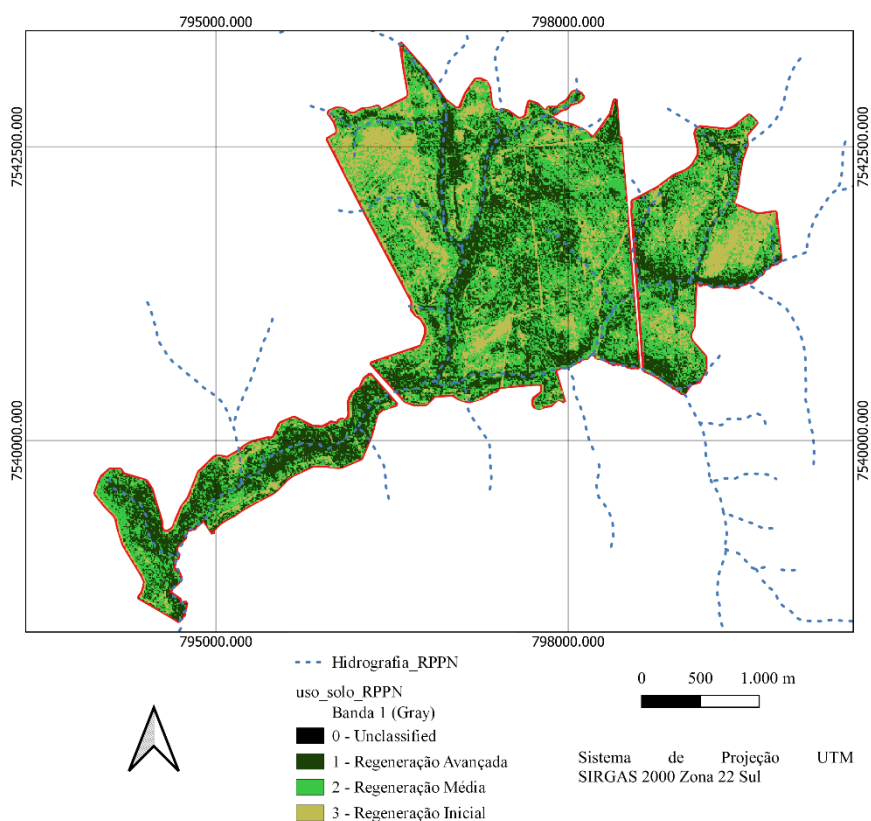


Figura 21: Mapa de uso e ocupação do solo RPPN, em 2022.



Fonte: O Autor, 2023.

Figura 22: Mapa de uso e ocupação do solo RPPN com hidrografia, em 2022.

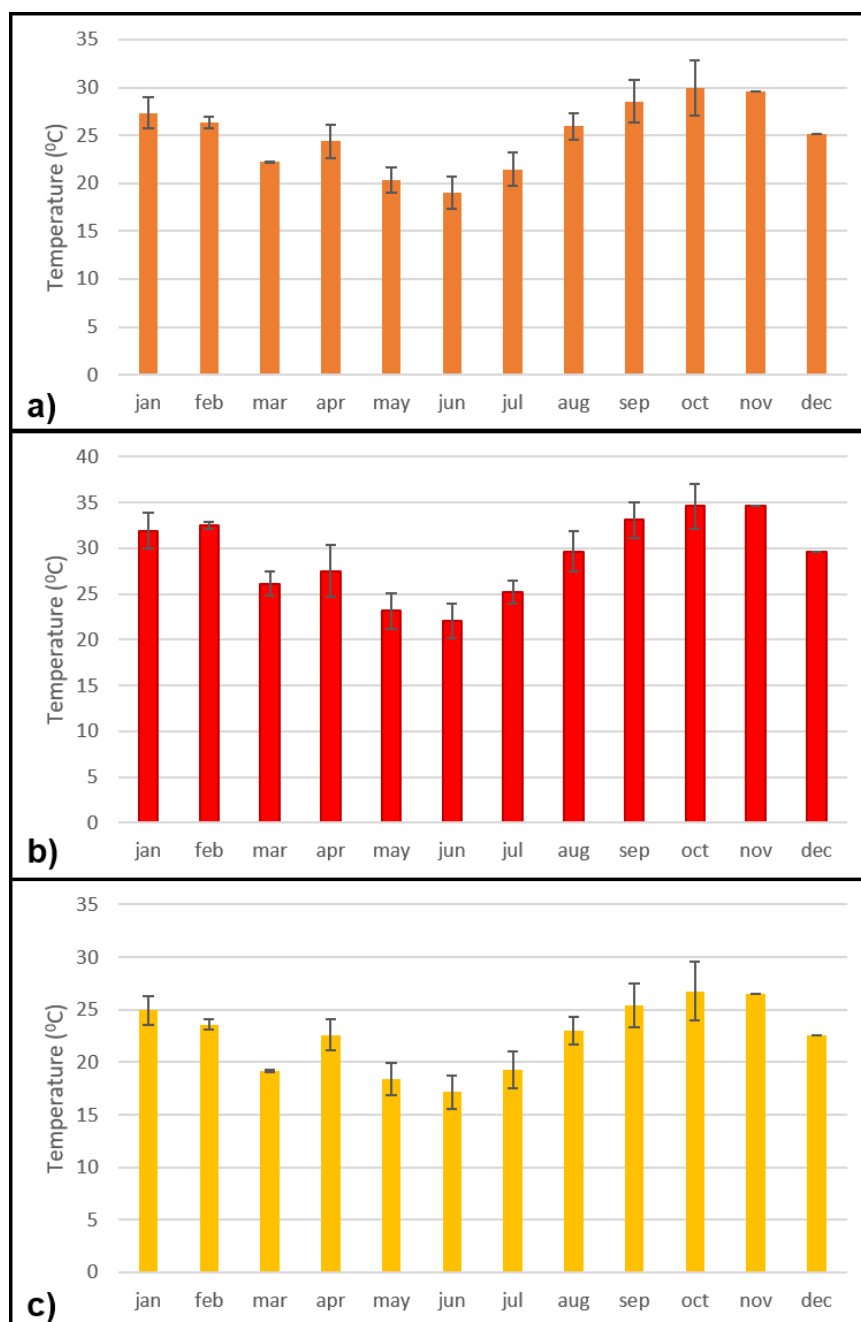


Fonte: O Autor, 2023.

Para a análise da temperatura foram analisadas um total de 74 imagens, aproximadamente 2 por cada mês ao longo do período analisado. Porém, 41% desse total não puderam ser utilizadas na análise devido à presença de nuvens o que impossibilitou a análise da temperatura da superfície nesses locais.

A temperatura média para o período analisado foi de 19°C a 30°C, onde a máxima de 30°C ( $\pm 2.9$ ) foi no mês de outubro e mínima de 19°C no mês de junho. As temperaturas máximas médias variam de 22.1°C ( $\pm 1.9$ ) (junho) à 34.6°C ( $\pm 0.0$ ) (novembro), ao passo que as temperaturas mínimas médias foram 17.1°C ( $\pm 1.6$ ) (junho) à 26.8°C ( $\pm 2.8$ ) (outubro). Junho foi o mês com menor amplitude (5 °C) ao contrário de novembro que mostrou uma amplitude de 8.1 °C (Figura 21).

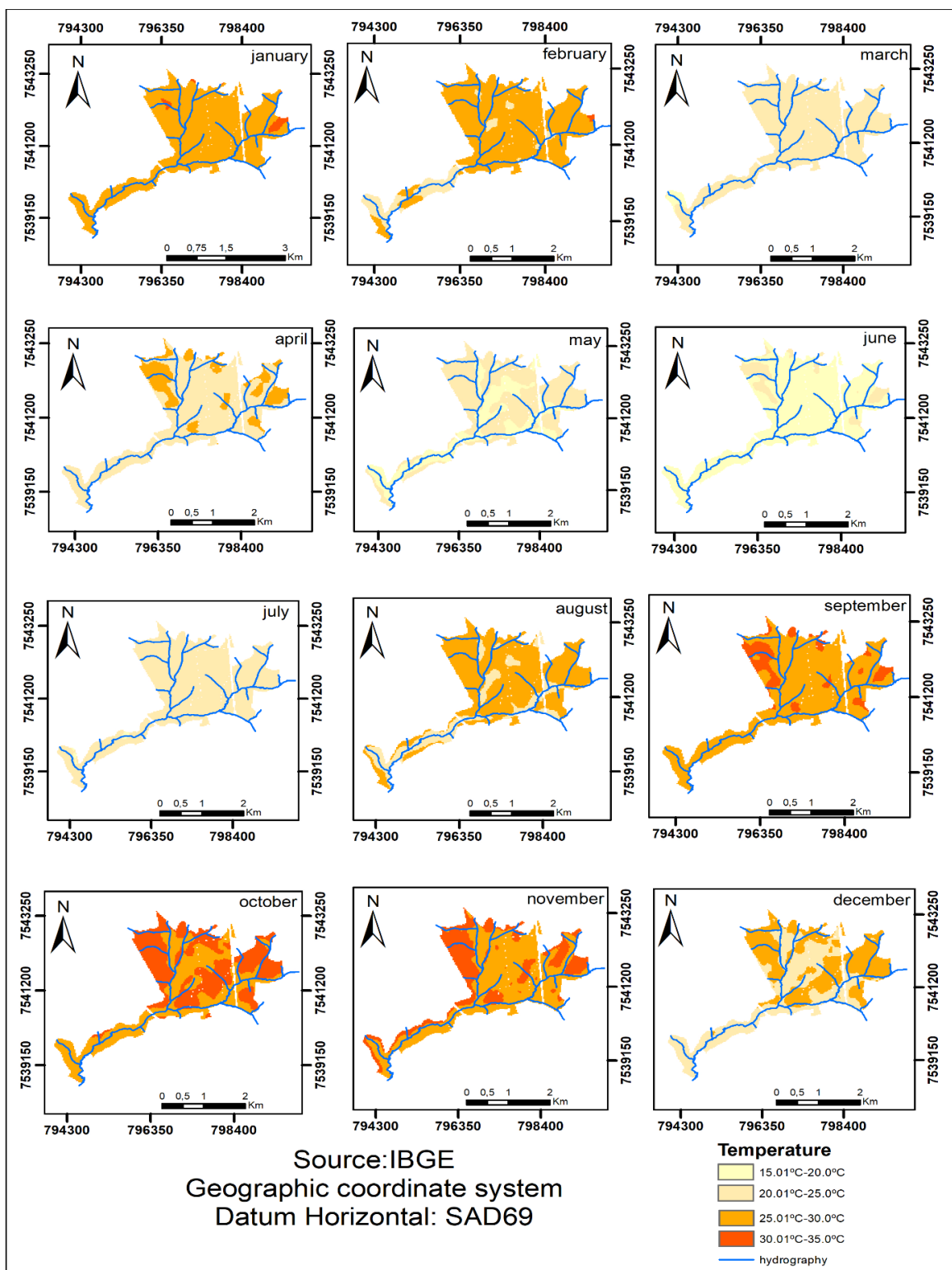
Figura 23: Média mensal das temperaturas média (a), máximas (b) e mínima (c) para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil.



Fonte: O Autor, 2019.

Ao analisarmos a temperatura média na RPPN Floresta das Águas Perenes, observamos que, principalmente nos meses mais quentes (agosto a fevereiro), a temperatura diminui com a proximidade de corpos d'água (Figura 22).

Figura 24: Distribuição espacial das temperaturas médias mensais. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil.

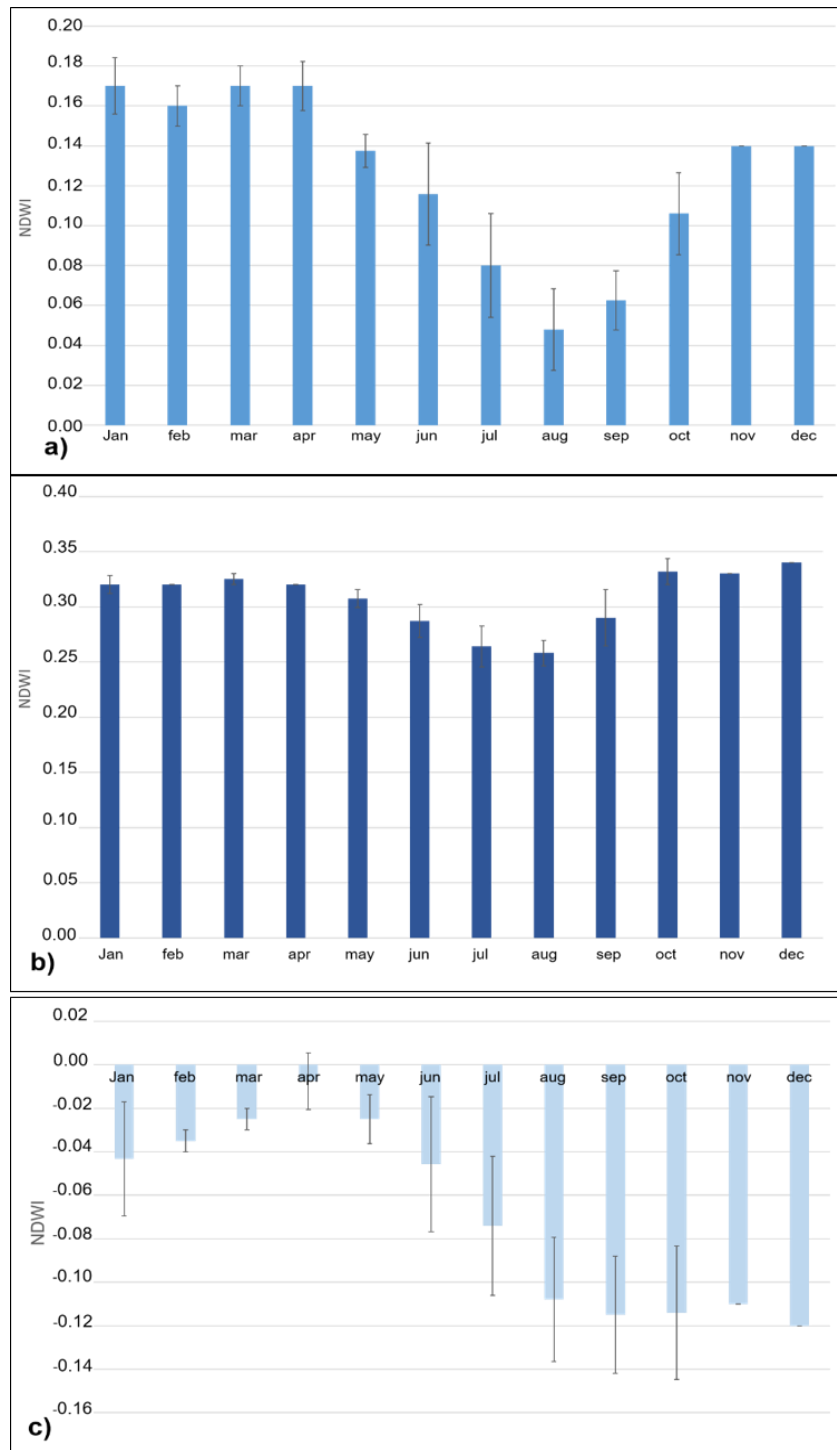


Fonte: O Autor, 2019.

Os valores de NDWI máximo ocorreram nos meses de outubro, novembro e dezembro seguido dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio (Figura 23). Nota-se ainda que o período de junho a setembro apresentou os menores valores de NDWI.

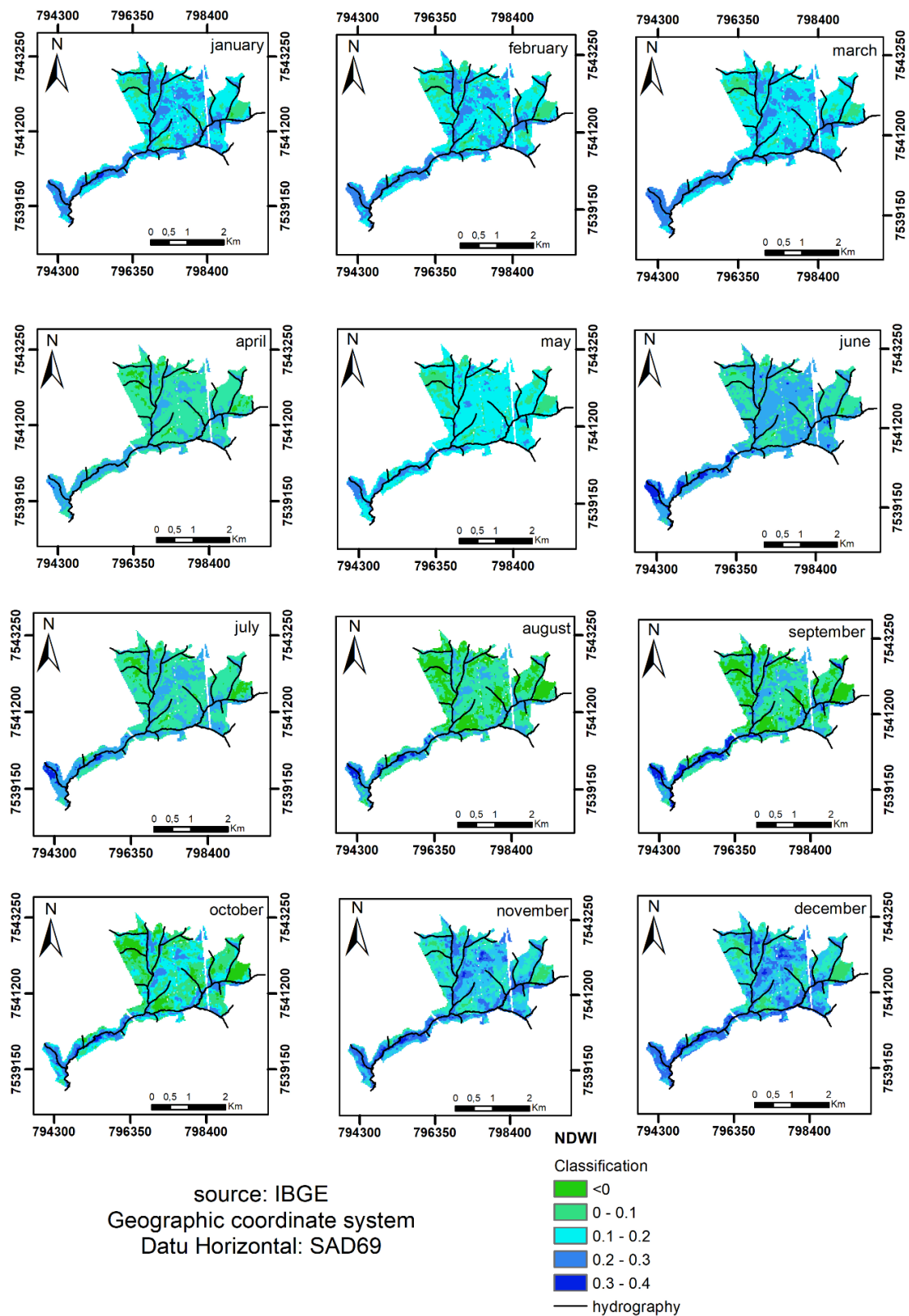
Ao analisarmos a umidade na área de estudo, verificou-se que o período de agosto, a outubro apresentou áreas maiores com baixa umidade, seguido dos meses de novembro e dezembro com algumas áreas com valores negativos (Figura 24). Porém, a análise de apenas uma imagem para novembro e uma para dezembro, pode ter influenciado no resultado de áreas mínimas com valores negativos quando comparados com os outros meses.

Figura 25: Média mensal do NDWI médio (a), máximo (b) e mínimo (c) para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil.



Fonte: O Autor, 2019.

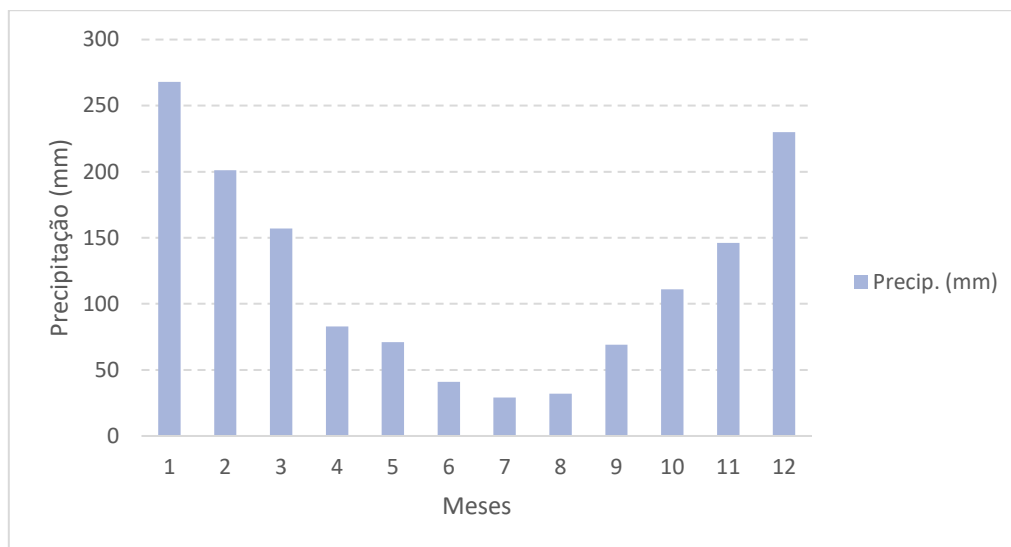
Figura 26: Distribuição espacial das médias mensais do NDWI. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-Brasil.



Fonte: O Autor, 2019.

Os menores registros de precipitação ocorreram para os meses de junho (41mm), julho (29mm) e agosto (32mm), sendo classificado como período de estiagem (Figura 25).

Figura 27: Comportamento da precipitação ao longo do ano 2019.

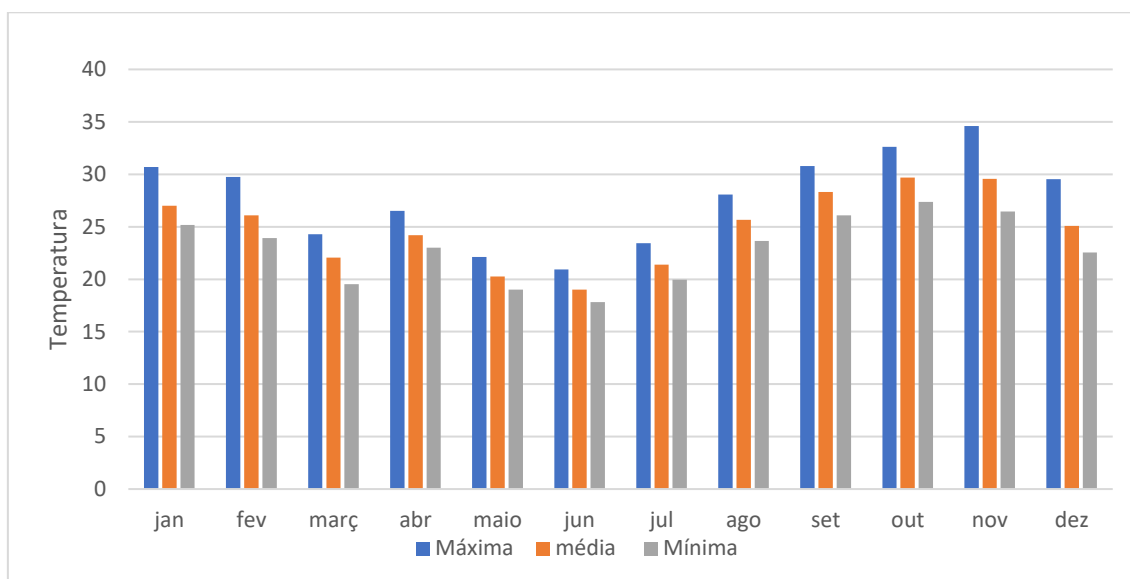


Fonte: Climatempo, 2020.

Ao observar a figura 26, podemos corroborar como descrito na figura 25, que embora não exista uma precipitação abundante nos meses junho, julho e agosto, a interação da vegetação com a rede de drenagem hídrica presente na área da RPPN contribui de forma significativa no balanço da umidade e temperatura, isto é, exerce um importante papel no equilíbrio ecológico. Na análise da variação de temperatura em áreas com floresta, ou seja, nas áreas de preservação permanente situadas às margens dos cursos d'água (matas ciliares), observa-se que as temperaturas máximas ocorreram nos meses de outubro, novembro e dezembro, e as temperaturas mínimas nos meses de maio e junho (Figura 27).

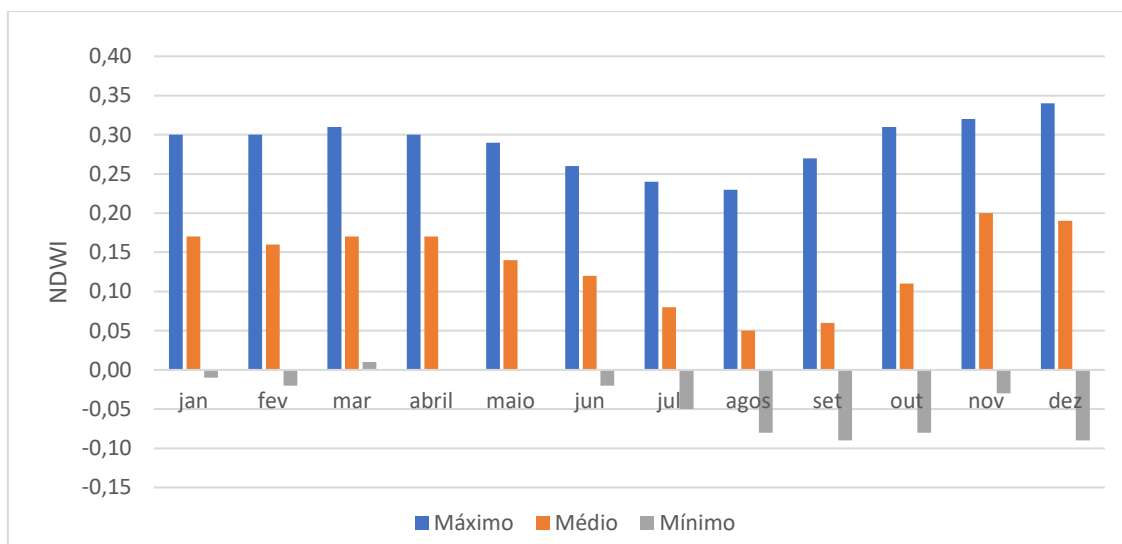


Figura 28: Média mensal das temperaturas máximas, média e mínima nas matas ciliares para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil.



Os valores médios mensais do NDWI nas matas ciliares, indica que os meses de agosto e setembro apresentam os menores valores médios de umidade, já no caso dos meses de outubro, novembro e dezembro são os meses com maior presença de umidade (Figura 28).

Figura 29: Média mensal do NDWI máximo, médio e mínimo da APP para o período de 2013 a 2019. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brasil.



### 3.4 CONCLUSÃO

Alguns dados obtidos demonstram que a área estudada não está avançando sua regeneração em seu máximo potencial, porém esses dados são explicados por condições climáticas que podem alterar os índices de vegetação, como secas recorrentes, contudo, analisando a situação atual da RPPN Floresta das Águas Perenes, pode-se concluir que esta se encontra em sua maior parte em estágio médio ou avançado de regeneração, principalmente ao longo dos cursos de água.

A vegetação associada à rede hídrica promoveu uma menor amplitude térmica e de umidade ao longo de 7 anos. Foi possível observar que tanto os meses com temperaturas altas quanto os com temperaturas baixas apresentam umidade significativa devido a presença de cursos de águas que ajudam regulação da umidade em conjunto com a vegetação, não apresentando a mesma tendência quando há vegetação sem a presença de cursos de água. Sendo assim, demonstra-se a importância que existe na relação entre a vegetação e os cursos hídricos, contribuindo na diminuição da temperatura, assim, como presença de umidade na nossa área de estudo, inclusive em meses com poucas chuvas, isto influenciando de uma forma positiva no ecossistema todo.

Também se concretiza a importância de um estudo abrangente dos objetos de estudo para se entender a dinâmica de áreas em regeneração natural.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, A. F. B. Fundamentos de Sensoriamento Remoto em ambiente de geoprocessamento. Universidade Federal Do Paraná, p 78, Curitiba-PR, 2008.
- ASHOK, A., RANI, H. P., JAYAKUMAR, K. V. Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, n 23, 2021.
- BATISTA, F. DE J., FRANCEZ, L. M. DE B., ALBA, E., SCHUH, M. S., FAVARIN, J. A. S., SILVA, J. DE O., HOFIÇO, N. DOS S., PEREIRA, R. S., SEBEM, E. Spectral behavior of paricá (*schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (huber ex ducke) barneby) in plantations of different ages. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, n 41(3), p 82–95, 2018.
- BERGER, R., DA SILVA, J. A. A., FERREIRA, R. L. C., CANDEIAS, A. L. B., RUBILAR, R. Vegetation indices for the leaf area index estimation in clonal plantations of eucalyptus saligna Smith. *Ciencia Florestal*, n 29(2), p 885–899, 2019.
- BESSI, D. Inclusão de parâmetros hidrológicos na avaliação da restauração florestal. 1998. 2017 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2017.
- CAMARRETTA, N., HARRISON, P. A., BAILEY, T., POTTS, B., LUCIEER, A., DAVIDSON, N., HUNT, M. Monitoring forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches. *New Forests*, n 51(4), p 573–596, 2020.
- CÉSAR, B., HENRIQUE DE, P. A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico. *Revista Brasileira de Climatologia*, n 21, p 135–152, 2017.
- CLIMATE-DATA. (2019). *Clima Brotas: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Brotas*.
- CRUZ, M. A. S., SOUZA, A. M. B., JESUS, J. S. DE. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 1357–1364, 2011.

DE OLIVEIRA, M. T., CASSOL, H. L. G., GANEM, K. A., DUTRA, A. C., PRIETO, J. D., ARAI, E., SHIMABUKURO, Y. E. Mapping the Cerrado's vegetation cover – A review of remote sensing initiatives. *Revista Brasileira de Cartografia*, n 72, p 1250–1274, 2020.

FEARNSIDE, P. M., LAURANCE, W. F. Infrastructure in Amazonia: Lessons from Brazil's pluri-annual plans. *Caderno CRH*, n 25(64), p 87–98, 2015.

HUETE, A. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, n 25, v 295–309, 1988.

IBGE. (2001). Introdução ao Processamento Digital de Imagens. 2001, 92 f. IBGE, Rio de Janeiro, n 9, 2001.

JENSEN, J. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres (P. Editora, Ed.). University of South Carolina, 2011.

JÚNIOR, J., DANTAS, M. Análise do albedo da superfície e índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE. *Revista Tecnologia*, n 39(2), p 1–18, 2018.

JÚNIOR, S. J. DE S. Análise espaço-temporal recente da cobertura do solo na bacia da Lagoa da Conceição/Florianópolis aplicando índices de vegetação. 2021. 75 f. TCC (Graduação) Universidade Federal de Santa Catarina. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2021.

JUSTICE, C. O., VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G., DEFRIES, R., ROY, D. P., HALL, D. K. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, n 36, p 1228–1249, 1998.

LIPPERT, D. B., BENEDETTI, A. C. P., MUNIZ, M. F. B., PEREIRA, R. S., JUNIOR, C. A. B., FINKENAUER, E., BERRA, E. F. Comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* (labill.) atacadas por *Mycosphaerella* spp. nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. *Ciência Florestal*, n 25, p 211–219, 2015.

LIU, C. C., CHEN, Y. H., WU, M. H. M., WEI, C., KO, M. H. Assessment of forest restoration with multitemporal remote sensing imagery. *Scientific Reports*, n 9(1), p 1–19, 2019.

- MARENGO, J. A., ALVES, L. M. Crise Hídrica em São Paulo em 2014: Seca e Desmatamento. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, n 19(3), 485, 2015.
- MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, A., ALVES, L. M., MENDIONDO, E. M., OBREGÓN, G., SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n 106, p 31–44, 2015.
- MARTÍNEZ-GARZA, C., CECCON, E., MÉNDEZ-TORIBIO, M. Ecological and Social Limitations for Mexican Dry Forest Restoration: A Systematic Review. *Sustainability*, n 14(7), 3793, 2022.
- MORAIS, L. F. DE, CAVALCANTE, A. C. R., AQUINO, D. DO N., NOGUEIRA, F. H. M., CÂNDIDO, M. J. D. Spectral responses in rangelands and land cover change by livestock in regions of the Caatinga biome, Brazil. *Scientific Reports*, n 11(1), p 1–10, 2021.
- NEPOMUCENO, T. C., FILHO, J. D. DE A. P. Utilização de índice de vegetação para áreas próximas ao reservatório epítacio pessoa durante período de crise hídrica (2013-2015), *II workshop internacional Água no Semiárido Brasileiro*. v 3322, Issue 83, 2015.
- PEREIRA, L. C. Evolução dos serviços ecossistêmicos em diferentes estágios de regeneração natural. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis), Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.
- PEREIRA, L. C., BALBINOT, L., MATUS, G. N., DIAS, H. C. T., TONELLO, K. C. Aspects of forest restoration and hydrology: linking passive restoration and soil–water recovery in Brazilian Cerrado. *Journal of Forestry Research*, n 32(6), p 2301–2311, 2021.
- RIOS, I. Q., VALE, R. DE M. C. DO. Análise morfométrica e NDVI como subsídio para o estudo do processo de degradação dos solos na bacia hidrográfica do rio Vaza-Barris-Ba. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 2015.
- ROUSE, J. W., HAAS, H. R., SCHEEL, J. A., DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. In *Earth Resources Technology Satellite - 1 Symposium*, p. 309–317, 1973.
- TAYLOR-ZAVALA, R., RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, O., DE ARMAS-RICARD, M., SANHUEZA, H., HIGUERAS-FREDES, F., MATTAR, C. Quantifying biochemical traits over the patagonian sub-antarctic forests and their relation to multispectral vegetation indices. *Remote Sensing*, n 13(21), 4232, 2021.

USGS. *UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*. 2022.

XU, C., LIN, F., ZHU, C., LI, C., CHENG, B. Does Classification-Based Forest Management Promote Forest Restoration? Evidence from China's Ecological Welfare Forestland Certification Program. *Forests*, n 13, p 1–12, 2022.

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1 CONCLUSÃO GERAL**

Apesar da interdependência dos dados morfométricos da bacia com os índices de vegetação, esses resultados não devem ser utilizados de forma isolada para tomada de decisão, pois a dinâmica de uma área em regeneração também é dependente de outros fatores como precipitação e condições locais.

As áreas próximas aos cursos d'água são de grande importância para se estabelecer o equilíbrio ecológico de regiões degradadas. Esses resultados devem ser analisados junto com levantamentos de campo e laboratoriais para uma melhor análise e possível intervenção.