



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE ECONOMIA ECOLÓGICA**

**ELISA MARIA DUARTE**

**DINÂMICA DE PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS EM RESERVATÓRIO E ÍNDICE  
DE VEGETAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2023**

ELISA MARIA DUARTE

DINÂMICA DE PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS EM RESERVATÓRIO E ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Economia Ecológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Economista Ecológica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lopes Bezerra.  
Coorientador: Prof. Me. Francisco Josivan de Oliveira Lima.

**FORTALEZA**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D871d Duarte, Elisa Maria.

Dinâmica de parâmetros limnológicos em reservatório e índice de vegetação em bacia hidrográfica no semiárido brasileiro / Elisa Maria Duarte. – 2023.  
55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Economia Ecológica, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Lopes Bezerra.

Coorientação: Prof. Me. Francisco Josivan de Oliveira Lima.

1. Uso e ocupação do solo. 2. Qualidade de água. 3. Sazonalidade climática. I. Título.

CDD 577

---

ELISA MARIA DUARTE

DINÂMICA DE PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS EM RESERVATÓRIO E ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Economia Ecológica do Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção do  
título de Economista Ecológica.

Aprovada em: 11 / 12 / 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Lopes Bezerra (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Francisco Josivan de Oliveira Lima (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Fernanda Helena Oliveira da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu Bom Senhor.

À minha mãe, Maria de Fátima Duarte.

À Natalia Amâncio Prado (*In Memoriam*)

E a todos que me deram apoio para fazer mais  
uma graduação.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Bom Senhor, pela dádiva da vida.

A minha mãe, Maria de Fátima Duarte, por ter “segurando a barra” para que eu terminasse esta graduação e pelo apoio sempre incondicional.

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa durante o período de desenvolvimento do projeto do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC e este Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial a Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE), a Pró-Reitoria de Graduação (PROGRAD) e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), pelo o apoio por meio das bolsas e auxílios no geral.

Aos Laboratórios: de Manejo do Solo e da Pedologia (Departamento de Ciências do Solo – UFC) e Relações Solo-Água-Planta (Departamento de Engenharia Agrícola – UFC), por terem dado suporte na realização desta pesquisa.

Ao Grupo de Pesquisa e Extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA), pela troca de experiências dentro da universidade: Bruno Gabriel, Erika Roanna, Letícia Brandão, Melina Souza, Moisés Brito, Noely Viana, Ray Ferreira e Valéria Noronha.

Ao meu orientador do PIBIC e TCC, Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes, pelo suporte e confiança durante a construção deste trabalho acadêmico.

Ao meu coorientador, mestre e doutorando Josivan Lima (MASSA) pelos ensinamentos e por ter dedicado seu tempo para a realização de apontamentos feitos no TCC.

À mestra e doutoranda Fernanda Helena (MASSA), por sempre estar disponível para tirar dúvidas sobre qualquer assunto e pelas contribuições pertinentes para o TCC.

Aos meus orientadores do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência – PIBID, Prof. Dr. Adunias Teixeira e Profa. Dra. Isabel Araújo, pela paciência e por serem compreensíveis em vários momentos.

À Profa. Dra. Maria Inês Escobar, Coordenadora do Curso, por reconhecer em mim um potencial que eu duvidava possuir.

A todos os professores que me ensinaram durante toda a graduação, primordialmente, para os principais idealizadores do curso de Economia Ecológica: Prof. Dr. Aécio Oliveira, Prof. Dr. Fábio Sobral e Prof. Dr. Francisco Casimiro.

Aos meus amigos da UFC, em especial: Bianca Freitas, Camila Barbosa, Josafá Melo, Juliana Azevedo, Lúcia Aguiar e Vitória Cavalcante, pelas amizades preciosas

inicialmente cultivadas durante o período de isolamento social e que se aprofundou depois do fim do isolamento. Sem o apoio de vocês, seguir adiante nos estudos teria sido muito mais desafiador. Afinal, “querer e não querer as mesmas coisas, eis a verdadeira amizade”.

A todos os colegas da turma de 2018.2 da Economia Ecológica, que concluíram, trancaram, desistiram, transferiram ou ainda estão cursando: Amanda Lopes, Ana Clara, Ana Karolina, Anderson Bruno, Bárbara Lemos, Danilo Sheridan (Eri), Darwin Oliveira, Deivid Gomes, Expedito César, Fernanda Sales, Francisco Frota, Francisco Ronaldo, Gabriel Castro, Helber Rocha, José Ivan, José Paulo, Júlia Uchoa, Junivan Medeiros, Karoline Freitas, Lais Mamede, Leo Saraiva, Letícia Plicya, Lourdes Neves, Luan Victor, Lucas Farias, Luiz Fernando, Luna Munielly, Matheus Lima, Mikael Colaço, Mikael Douglas, Mikaelle Lopes, Paula Paiva, Paulo Ricardo, Raul Vidal, Regina Thelma (obrigada por tirar minhas dúvidas de laboratórios), Samuel Guanabara, Sarah Pintombeira, Thalia Mateus, Thamyres Rodrigues, Victor Cavalcante e Washington Sousa.

Aos meus queridos amigos além da UFC, Karine Félix e Roberto Dutra, minha eterna gratidão pelas palavras de incentivo que foram fundamentais para minha jornada desta graduação.

Aos professores Dra. Terezinha Tartuce, Esp. Erivânia Carvalho e Esp. Cláudio Nunes por compartilharem vastos conhecimentos e por serem fontes inspiradoras ao longo da minha trajetória como professora de Metodologia Científica, durante os anos de 2012 a 2018 na UNICE – Ensino Superior.

À funcionária terceirizada do Departamento de Estudos Interdisciplinares – DEINTER, Dona Francisca. Ao ex-funcionário terceirizado do DEINTER, Sr. Amauri. A Secretária do Curso, Natália Veruska. À Ana Maria (Aninha), funcionária terceirizada do Departamento de Engenharia Agrícola – DENA, por sua alegria contagiante e por sempre me socorrer em diversas situações.

A todas as pessoas próximas que compreenderam (ou não) minha decisão de embarcar nesta graduação, apesar de já ter concluído duas graduações tecnológicas. Eu busquei por felicidade e realização, e não encontrava isso no caminho que havia escolhido anteriormente.

E por fim, meu agradecimento especial ao curso de Economia Ecológica, o lugar onde finalmente encontrei o que tanto buscava. O curso foi um verdadeiro lar, mesmo diante dos desafios comuns a qualquer curso, sempre me encorajando a seguir em frente até a conclusão.

Muito Obrigada!

*“Eu sou o que me cerca. Se eu não preservar  
o que me cerca, eu não me preservo”.*

**José Ortega Y Gasset (1883 - 1955)**

## RESUMO

A exploração e ocupação desordenadas das Bacias hidrográficas levam à diminuição das áreas florestais, resultando em escoamento superficial e sedimentação para os corpos d'água, prejudicando a qualidade da água. Neste cenário, o uso de ferramentas facilitadoras como o Sensoriamento Remoto, é fundamental para obter dados de maneira assertiva e pouco onerosa. Desse modo, objetivou-se analisar como a preservação da vegetação na Bacia hidrográfica influencia a qualidade da água em seu reservatório. Para a pesquisa, foi coletado *in loco* dados no reservatório Pereira de Miranda, Pentecoste, Ceará, em cinco pontos diferentes. Foram avaliadas as concentrações de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV) e transparência com o disco de Secchi. Para analisar a vegetação na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM), foi usado imagens do satélite Landsat 8 obtidas na página do *United States Geological Survey* (USGS), usando as bandas 4 e 5 para calcular o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em cada período de coleta: segundo semestre de 2021 e 2022, e primeiro semestre de 2022 e 2023. Também foram coletados dados sobre o volume de água do reservatório e medições pluviométricas da região durante o estudo, disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Observou-se que a maior concentração de SST e menor transparência da água foram registradas no primeiro semestre de 2022 no ponto P05: 9,33 mg.L<sup>-1</sup> e 0,53 m, respectivamente. O NDVI indicou maiores áreas de solo exposto na bacia hidrográfica no primeiro semestre de 2023, ocupando 10,65% da área total, além de marcar que a vegetação com baixa atividade fotossintética, atingiu picos no segundo semestre de 2021 (96,83%) e segundo semestre de 2022 (88,57%), respectivamente. Na análise de correlação de Pearson (r), foi observada uma associação negativa e moderada (-0,43 e -0,54) entre as regiões com vegetação de alta atividade fotossintética e os parâmetros limnológicos (SST e SSF). Além disso, a correlação de Pearson (r) evidenciou uma relação positiva e muito forte (0,85) entre as áreas com vegetação de alta atividade fotossintética e a transparência da água. Esses resultados sugerem que a existência de vegetação em uma bacia hidrográfica está inversamente relacionada à quantidade de sedimentos em suspensão, pois sua remoção promove o aumento do escoamento superficial, o que, por sua vez, intensifica os processos erosivos, resultando em mais sedimentos suspensos na água do reservatório.

**Palavras-chave:** Uso e ocupação do solo; Qualidade de água; Sazonalidade climática.

## ABSTRACT

The disorderly exploration and occupation of watersheds lead to the reduction of forested areas, resulting in surface runoff and sedimentation into water bodies, impairing water quality. In this scenario, the use of facilitating tools such as Remote Sensing is crucial to obtain data assertively and inexpensively. Therefore, the objective was to analyze how preserving vegetation in the watershed influences water quality in its reservoir. For the research, on-site data was collected at Pereira de Miranda reservoir, Pentecoste, Ceará, at five different points. Concentrations of total suspended solids (SST), fixed suspended solids (SSF), volatile suspended solids (SSV), and water transparency using the Secchi disk were evaluated. To analyze the vegetation in the Pereira de Miranda reservoir watershed (BHPM), Landsat 8 satellite images obtained from the United States Geological Survey (USGS) were used, employing bands 4 and 5 to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for each collection period: second semester of 2021 and 2022, and first semester of 2022 and 2023. Data on reservoir water volume and regional rainfall measurements during the study were also collected from the Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) and the Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). It was observed that the highest SST concentration and lowest water transparency were recorded in the first semester of 2022 at point P05:  $9,33 \text{ mg.L}^{-1}$  and 0,53 m, respectively. NDVI indicated larger areas of exposed soil in the watershed in the first semester of 2023, occupying 10,65% of the total area, and marked that vegetation with low photosynthetic activity peaked in the second semester of 2021 (96,83%) and second semester of 2022 (88,57%), respectively. In the Pearson correlation analysis ( $r$ ), a negative and moderate association (-0,43 and -0,54) was observed between regions with high photosynthetic activity vegetation and limnological parameters (SST and SSF). Additionally, the Pearson correlation ( $r$ ) showed a very strong positive relationship (0,85) between areas with high photosynthetic activity vegetation and water transparency. These results suggest that the presence of vegetation in a watershed is inversely related to the amount of suspended sediments, as its removal promotes increased surface runoff, which in turn intensifies erosive processes, resulting in more suspended sediments in the reservoir water.

**Keywords:** Land use and occupancy; Water quality; Climatic seasonality

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões hidrográficas brasileiras .....	19
Figura 2 – Comitês de bacias hidrográficas do Ceará .....	20
Figura 3 – Sistema simplificado de Sensoriamento Remoto envolvendo fonte de energia, meio de propagação de radiação eletromagnética e características do alvo e do sensor .....	25
Figura 4 – Espectro eletromagnético .....	26
Figura 5 – Faixas espectrais com foco na faixa visível do espectro .....	27
Figura 6 – Assinatura espectral de alvos .....	28
Figura 7 – Fluxograma das atividades realizadas .....	30
Figura 8 – Localização geográfica da área de estudo com os pontos de coleta no reservatório Pereira de Miranda, Pentecoste, Ceará .....	31
Figura 9 – Classes de solos da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda .....	32
Figura 10 – Declividade e hipsometria da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda .....	33
Figura 11 – Precipitação pluviométrica acumulada, precipitação pluviométrica diária e volume no reservatório Pereira de Miranda de 2021 a 2023 .....	38
Figura 12 – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto <i>P01</i> para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 .....	39
Figura 13 – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto <i>P02</i> para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 .....	40
Figura 14 – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto <i>P03</i> para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 .....	41
Figura 15 – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto <i>P04</i> para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 .....	41
Figura 16 – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto <i>P05</i> para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 .....	43

Figura 17 – Médias dos cinco pontos de SST, SSF, SSV e transparências no reservatório Pereira de Miranda durante o segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso).....	44
Figura 18 – Áreas de classes NDVI reclassificados da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda durante o período do segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso).....	45
Figura 19 – Área das classes do NDVI em porcentagem na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda durante o período do segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso) .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalos de variação do pixel utilizado para reclassificação do NDVI.....	35
Tabela 2 – Interpretação dos resultados da correlação de Pearson (r).....	37
Tabela 3 – Correlação de Pearson (r) e valor-p nas classes NDVI e parâmetros limnológicos .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHPM	Bacia Hidrográfica Pereira de Miranda
CNPq	Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEINTER	Departamento de Estudos Interdisciplinares
DENA	Departamento de Engenharia Agrícola
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
km	Quilômetros
L	Litro
m	Metros
MASSA	Manejo de Água e Solo no Semiárido
mg	Miligrama
mm	Milímetro
ND	Números Digitais
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
nm	Nanômetro
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PRAE	Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis
PROGRAD	Pró-Reitoria de Graduação
PRPPG	Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
r	Coeficiente de correlação de Pearson

REM	Radiação Eletromagnética
RIP	Reflectância Infravermelho Próximo
RV	Reflectância do Vermelho
SAB	Semiárido Brasileiro
SCP	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
SIGERH	Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFC	Universidade Federal do Ceará
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
UV	Ultravioleta
Vis	Visível
WGS	<i>World Geodetic System</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
µm	<i>Micrômetro</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Bacias hidrográficas</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Uso e ocupação do solo</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Qualidade de água</i> .....	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Sensoriamento remoto</b> .....	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Fluxograma das atividades realizadas</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Vegetação, relevo e classificação de solos</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Declividade e hipsometria</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>Dados hidroclimáticos</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Dados de uso e ocupação do solo utilizando o NDVI</b> .....	<b>34</b>
<b>3.7</b>	<b>Dados limnológicos</b> .....	<b>35</b>
<b>3.8</b>	<b>Análise dos dados</b> .....	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise dos dados hidroclimáticos</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise dos dados limnológicos</b> .....	<b>39</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI</b> .....	<b>44</b>
<b>4.4</b>	<b>Correlação de Pearson (r) e valor-p entre os parâmetros limnológicos e NDVI</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Bacia hidrográfica é uma região geográfica que possui uma delimitação baseada em sua topografia, na qual todas as águas resultantes de chuvas e outros tipos de precipitações fluem em direção a um único ponto de saída, sendo este um rio, lago ou oceano (Teodoro *et al.*, 2007). A bacia hidrográfica constitui uma unidade essencial de estudo para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que todas as atividades humanas ocorridas dentro dessa área podem impactar diretamente na qualidade e disponibilidade de água em toda a região (Guimarães, 2018).

No estado do Ceará, situado na região semiárida do Brasil, encontram-se diversas bacias hidrográficas que desempenham um papel fundamental no abastecimento de água e no desenvolvimento da região. Sendo a região semiárida caracterizada por baixo volume de precipitação e incertezas de eventos, com recorrentes eventos extremos, como cheias ou secas e taxa anual de evaporação variando de 1500 mm a 3000 mm (Andrade; Meireles; Palácio, 2010).

Dessa forma, a ocupação e transformação do solo de uma bacia hidrográfica pelo ser humano, ação conhecida como antropização, dependem principalmente do acesso à água (Costa *et al.*, 2010). É por meio desse recurso que as atividades rurais e urbanas são desenvolvidas. Durante esse processo de ocupação, são estabelecidos os usos do solo, podendo áreas anteriormente cobertas por vegetação natural serem destinadas tanto à agricultura, urbanização e construção de estradas, quanto à conservação e preservação dos recursos naturais (Brito Neto *et al.*, 2021).

Quando a ocupação e utilização de uma bacia hidrográfica ocorrem de forma desorganizada, as consequências são: diminuição das áreas com cobertura florestal que resultam no aumento de eventos de escoamento superficial, os quais estão diretamente relacionados com a perda de solo devido à erosão e, conseqüentemente, ao solo erodido será arrastado para dentro dos mananciais de água superficial, assim, afetando a sua qualidade (Chagas, 2015).

Nesse enquadramento, a coleta de dados e o monitoramento frequente da água em reservatórios do Semiárido brasileiro são importantes para os processos políticos de planejamento e gestão desse recurso. No entanto, uma avaliação abrangente que leve em consideração uma série de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, requer metodologias dispendiosas e minuciosas em sua execução (Castro; Pereira; Barros, 2018).

Com os avanços na tecnologia dos satélites a partir de 1960, pode-se acompanhar

melhorias na capacidade de captura de imagens pelos sensores, além do acesso crescente de ferramentas computacionais (Bambini *et al.*, 2012). Nesse sentido, as imagens provenientes de sensores remotos passaram a desempenhar um papel importante na visualização de extensas regiões e na simplificação da classificação do uso e cobertura do solo (Sousa *et al.*, 2023). Além disso, essas imagens contêm em seus pixels dados digitais que permitem extrair uma variedade de informações e análises, como os índices de vegetação, oferecendo resultados valiosos (Oliveira; Freitas, 2015).

Por tanto, este trabalho tem como objetivo geral, verificar como a preservação da vegetação na Bacia hidrográfica influencia a qualidade da água em seu reservatório.

E tem, como objetivos específicos:

- Analisar a dinâmica de parâmetros limnológicos no reservatório Pereira de Miranda, Pentecoste, Ceará;
- Calcular o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para a bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda;
- Calcular a correlação entre os parâmetros limnológicos e os percentuais das áreas de NDVI.

Assim, com este trabalho, espera-se não apenas apresentar uma análise detalhada dos fundamentos teóricos e práticos, mas também busca oferecer perspectivas que possam agregar valor ao campo de estudo, estimulando discussões futuras e fornecendo dados para investigações subsequentes.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bacias hidrográficas

Bacia hidrográfica é uma região natural composta por uma série de áreas inclinadas e por uma rede de cursos de água que se juntam até formarem um único leito no ponto de saída, chamada exutório (Tucci, 1997). As bacias hidrográficas têm um papel importante na gestão dos recursos hídricos, já que são a estrutura base no abastecimento dos rios, lagos e demais corpos de água, permitindo a identificação do caminho do escoamento do excesso de água (Oliveira-Androli *et al.*, 2019).

Desse modo, no início dos anos 1990, a adoção do enfoque territorial do Brasil nas bacias hidrográficas fortaleceu a gestão dos recursos hídricos, coincidindo com a aprovação dos Princípios de Dublin durante a reunião preparatória à Rio-92. O Princípio de Dublin n. 1 estabelece que a eficácia da gestão dos recursos hídricos requer uma abordagem integrada, considerando todos os aspectos físicos, sociais e econômicos. E para alcançar essa integração de forma adequada, sugeriu-se que a gestão seja fundamentada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992).

Nesse contexto, a essência fundamental da gestão das águas reside na integração dos diversos elementos que influenciam a utilização dos recursos hídricos. A adoção da abordagem por bacias hidrográficas possibilita essa integração, unindo o ambiente físico, os ecossistemas e as dimensões sociais, econômicas e culturais (Porto; Porto, 2008).

Em complemento ao assunto, foi estabelecido o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), por meio da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a qual também instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Em seguida, por meio da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, foi instituída a Agência Nacional de Águas (ANA), cujo nome foi alterado para Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, mantendo a sigla anterior. A ANA é responsável pela execução da Política Nacional de Recursos Hídricos e pela coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Oliveira, 2007).

Em decorrência disso, o território brasileiro foi subdividido em uma primeira instância de divisão hidrográfica conhecida como Regiões hidrográficas brasileiras. A Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), datada de 15 de outubro de 2003, que estabeleceu a divisão nacional em 12 regiões hidrográficas (Porto; Porto, 2008). A região hidrográfica brasileira que engloba o estado do Ceará é a Atlântico

Nordeste Ocidental (Figura 1).

**Figura 1** – Regiões hidrográficas brasileiras



Fonte: Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2003)

A justificativa para a divisão dessas regiões se baseia nas disparidades existentes no país, abrangendo não apenas as diferenças nos ecossistemas, mas também aspectos econômicos, sociais e culturais (Porto; Porto, 2008). No que se refere à gestão dos territórios estaduais no Brasil, também foram estabelecidas divisões hidrográficas com base na configuração física e características locais (Porto; Porto, 2008).

No estado do Ceará a Política de Recursos Hídricos estabeleceu a criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), que atualmente é responsável pelo gerenciamento e regulação de mais de 90% das águas armazenadas no Estado. Esse processo ocorre de maneira descentralizada, integrada e participativa. A COGERH administra 157 dos principais reservatórios públicos estaduais e federais, além de controlar os canais e adutoras da bacia metropolitana de Fortaleza (COGERH, 2023a).

Desse modo, a criação da COGERH é parte do sistema de gestão da oferta de

água superficial e subterrânea no Estado, que engloba atividades como monitoramento de reservatórios e poços, manutenção e operação de infraestruturas hídricas, bem como a organização dos usuários nas 12 regiões hidrográficas do Ceará (COGERH, 2023a).

Verifica-se na Figura 2 como estão divididas as 12 regiões hidrográficas do Ceará, assim como os seus Comitês.

**Figura 2** – Comitês de bacias hidrográficas do Ceará



Fonte: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2022c)

A Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SIGERH) onde se encontram os Comitês de Bacias Hidrográficas. A Lei nº 11.996/92 foi atualizada pela Lei nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010 onde a função dos Comitês é de gerir “os recursos hídricos com funções consultivas e deliberativas, atuação em bacias, sub-bacias ou

regiões hidrográficas”. Os comitês são formados por membros representantes dos usuários, da sociedade civil, das prefeituras e dos órgãos governamentais, sendo considerados a principal instância de participação e integração no planejamento e implementação das ações relacionadas aos recursos hídricos (COGERH, 2022c).

Desse modo, ao considerar a bacia hidrográfica como uma unidade territorial, é importante compreender as características ambientais em harmonia com a realidade socioeconômica (Carvalho, 2020). Contudo, o uso e a ocupação desordenado de uma bacia hidrográfica podem resultar em desequilíbrios que afetam a capacidade de sustentação do ambiente (Morais, 2018).

## **2.2 Uso e ocupação do solo**

A partir do século XX, houve um aumento expressivo na urbanização das bacias hidrográficas do Brasil, o que resultou na concentração da população em áreas cada vez menos adequadas, expandindo-se para ambientes sensíveis e causando alterações na paisagem. Ou seja, devido à urbanização em constante crescimento e ao uso inadequado dos recursos naturais, houve uma ocupação acelerada e danosa da paisagem natural (Cardoso *et al.*, 2008).

O controle eficiente dos recursos hídricos presentes na bacia hidrográfica é alcançado por meio da regulamentação do uso e ocupação das terras, pois facilita o acompanhamento das alterações naturais ou causadas pelo ser humano na região (Vaeza *et al.*, 2010).

Para Preis, Franco e Varela (2021), a qualidade e a quantidade de água em uma bacia hidrográfica são diretamente influenciadas pelas características do uso do solo, pelo estado de regeneração das florestas e pelas práticas das atividades econômicas locais, em particular as práticas agropecuárias. Ou seja, conforme a urbanização avança na bacia hidrográfica, observa-se um significativo aumento das áreas impermeáveis, que consequentemente acarretam problemas de drenagem, como as enchentes e alterações na qualidade da água (Vaeza *et al.*, 2010).

Segundo I. Silva *et al.* (2020), a ocupação e utilização do solo para atividades agropecuárias causam mudanças significativas nos processos biológicos, físicos e químicos dos ecossistemas naturais. Por meio do ciclo natural da água, as chuvas que precipitam sobre as superfícies terrestres formam o escoamento superficial, o qual é responsável por carregar os sedimentos e poluentes oriundos do uso e ocupação do solo para a rede de drenagem.

Assim, um rio ou outro corpo hídrico, que atuam no ciclo da água, na erosão e no transporte de sedimentos, na formação de habitats aquáticos, na interação com o clima regional e que são muito afetados pelas atividades humanas, podem ser avaliados pelos parâmetros de qualidade da água (Lollo *et al.*, 2018).

Alguns dos principais parâmetros analisados incluem a concentração de nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos, a presença de microrganismos patogênicos, o nível de oxigênio dissolvido, a turbidez, o potencial hidrogeniônico (pH) e a temperatura da água. E essas alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser analisadas por meio do monitoramento da qualidade da água (Lollo *et al.*, 2018).

### **2.2.1 Qualidade de água**

Segundo Reichardt e Timm (2016), a água é encontrada em maiores quantidades na superfície terrestre do que qualquer outra substância pura. Aproximadamente 97,5% dessas águas são salgadas e somente 2,5% são doces. Da porcentagem total das águas doces, em torno de 69% estão em geleiras e neves, 30% em locais subterrâneos, 0,7% em outros reservatórios não prontamente disponíveis e 0,3% estão em rios e lagos prontamente disponíveis.

Ainda de acordo com Reichardt e Timm (2016), da porcentagem total das águas prontamente disponíveis, em torno de 65% são utilizadas em atividades agrícolas, 25% são aproveitadas pela indústria, 7% são dispostos pelos municípios e os outros 6% são perdidas em termo de uso para o homem. Por esses motivos, a escassez de água potável vem sendo sentida há algum tempo, sendo um grande problema mundial para ser resolvido no século XII.

Desse modo, Merten e Minella (2002) explicam que a pouca água doce existente no mundo tem sua qualidade reduzida devido ao aumento da população e da sua acelerada degradação causada por diferentes fontes, como efluentes domésticos (contaminantes orgânicos; nutrientes; microrganismos (patogênicos ou não)), efluentes industriais (matérias-primas; processos industriais utilizados) e deflúvio superficial urbano e agrícola (sedimentos; nutrientes; agroquímicos; dejetos animais).

Salienta-se que no Semiárido brasileiro (SAB), a quantidade de chuva varia anualmente de 500 a 850 mm, sendo mais de 70% desse total concentrado nos primeiros quatro meses do ano. Após essa temporada chuvosa, segue-se um período de seis a nove meses sem precipitações significativas. A imprevisibilidade das chuvas contribui para secas frequentes na região, agravando a escassez de água local. As chuvas predominantes são

convectivas, breves e altamente variáveis em termos de localização e tempo. Essa característica favorece o escoamento e o armazenamento de água em reservatórios superficiais (Paiva; Souza, 2021).

No estado do Ceará, os reservatórios desempenham um papel fundamental como fonte de água para o abastecimento da população e para o desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais, já que as condições climáticas afetam quantitativa e qualitativamente os recursos hídricos. Além disso, a erosão causada pela ausência de vegetação ciliar impacta negativamente essas reservas, resultando na redução da qualidade da água nesses reservatórios (Lopes, 2013).

Nesse contexto, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece as classificações dos corpos d'água, diretrizes ambientais, padrões para o lançamento de efluentes e os limites aceitáveis em águas doces, salobras e salinas. Por meio dessas orientações, pode ser viabilizado o monitoramento, a classificação da qualidade da água e a execução de tratamentos pelo Poder Público (Brasil, 2005).

Considerando que alguns reservatórios do Semiárido brasileiro estão enquadrados na Seção II das Águas Doces de Classe II da Resolução nº 357/2005, onde as águas podem ser destinadas para o abastecimento do consumo humano, após tratamento convencional; proteção a comunidades aquáticas; à recreação com contato primário; à irrigação que venha ter o contato direto e à aquicultura e à atividade de pesca.

Ainda de acordo com a Resolução nº 357/2005, os limites máximos estabelecidos para os parâmetros de qualidade em corpos hídricos são: a não verificação de efeito tóxico crônico a organismos (estabelecida por órgãos ambientais competentes); os coliformes termotolerantes (bactérias do grupo dos coliformes totais, com presença da enzima  $\beta$ -galactosidase; capacidade de fermentar lactose com produção de gás em 24 horas à temperatura de 44-45°C em meios de sais biliares ou outros agentes tenso-ativos com propriedades inibidoras semelhantes; e que podem estar presentes em fezes humanas, em fezes animais, em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica). Já os materiais flutuantes; as espumas não naturais; os óleos e graxas; as substâncias que provoquem gosto ou sabor; os resíduos sólidos objetáveis e os corantes (deverão estar virtualmente ausentes).

Ademais, para Silva, Coelho e Silva (2017) o monitoramento da qualidade da água utilizando o Sensoriamento Remoto (SR) na atualidade é de extrema importância, pois é possível obter informações sinóticas sobre os parâmetros limnológicos, como sedimentos em suspensão, fitoplâncton e matéria orgânica dissolvida. Isso permite uma avaliação mais

precisa da qualidade da água em diferentes corpos hídricos. Por meio do monitoramento contínuo é possível identificar áreas com problemas de poluição ou degradação, fornecendo dados importantes para a implementação de estratégias de gestão e proteção dos recursos hídricos.

### **2.3 Sensoriamento remoto**

De acordo com Jensen (2009), Sensoriamento Remoto (SR) é a aquisição de informações sobre as regiões do espectro eletromagnético, como ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas, sendo realizada sem contato físico por meio de instrumentos como câmeras, escâneres, lasers e dispositivos de matriz ou linha. Esses instrumentos estão instalados em plataformas como aeronaves ou satélites. Esta informação adquirida é analisada por meio da observação visual ou processamento digital de imagens.

Desse modo, uma das principais vantagens da observação remota orbital é a capacidade de coletar dados de extensas áreas em um curto período, com alta frequência e a um custo acessível para o usuário, sem considerar os custos de construção, lançamento e operação dos sistemas de satélites (Lorenzetti, 2015).

Lorenzetti (2015) ainda explica que as aplicações do SR inicialmente foram direcionadas para fins militares, onde precisavam detectar, classificar e mapear os alvos de outros países. Hoje em dia, o uso de SR é bastante utilizado para a área ambiental: nos monitoramentos atmosféricos, da superfície da terra, dos oceanos e da criosfera terrestre.

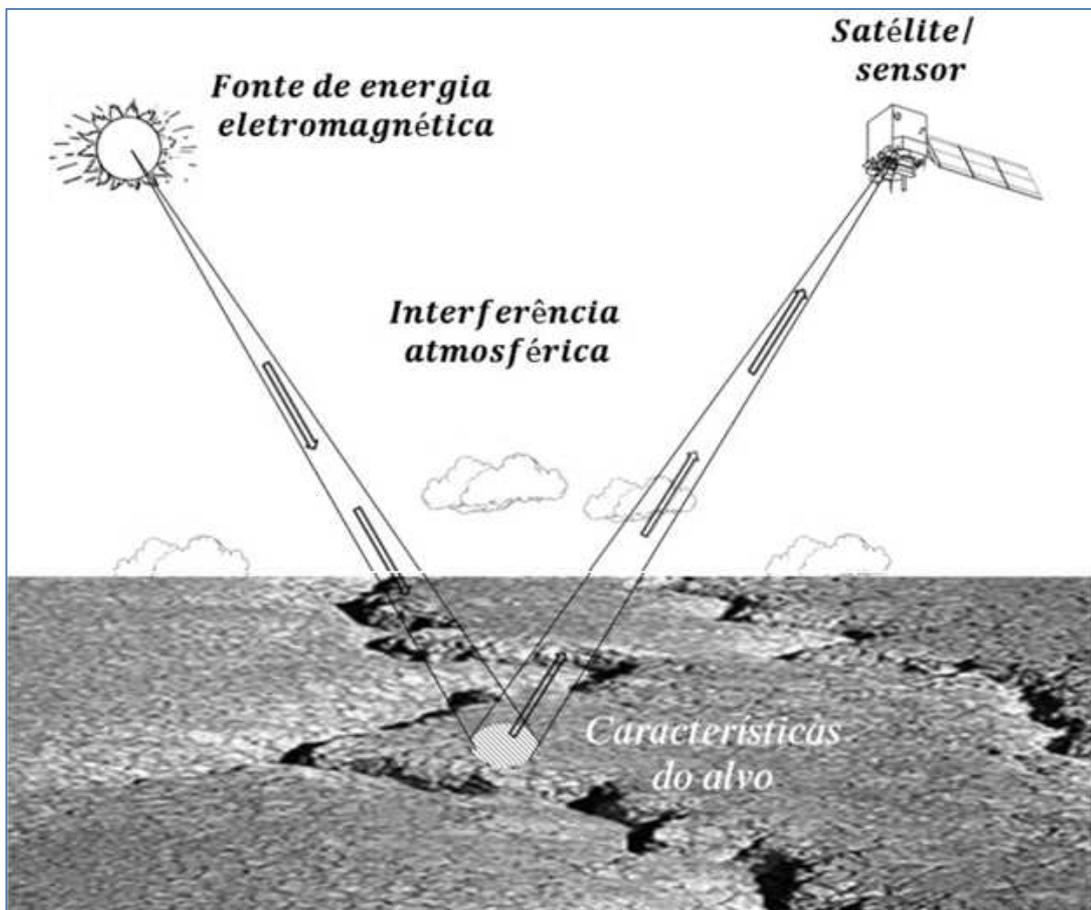
Os componentes do Sensoriamento Remoto que precisam levar em consideração na hora de processar a aquisição de informação sobre um alvo, segundo Lorenzetti (2015):

- a) As propriedades da energia que atinge o alvo, sejam provenientes de uma fonte como o Sol, de uma antena de um sensor ativo como um radar, ou da própria emissão do alvo (como em aplicações de infravermelho termal [IVT]), envolvem considerações sobre a distribuição espectral, intensidade e polarização da radiação;
- b) As propriedades do ambiente em que essa energia se propaga, seja na atmosfera ou na coluna d'água para aplicações oceanográficas e limnológicas, incluem características como absorção, dispersão e emissão;
- c) As características do alvo (albedo, refletividade, rugosidade, emissividade entre outros);
- d) As próprias propriedades do sensor (campo de visada, responsividade

espectral, relação sinal/ruído, nível mínimo de resposta e variação ao grau de polarização (GDP) da radiação).

A Figura 3 representa principalmente o processo de SR refletido, onde a energia que alcança o sensor é predominantemente proveniente do Sol e refletida pelo alvo em direção ao sensor. Parte dessa energia é retroespalhada pela atmosfera.

**Figura 3** – Sistema simplificado de Sensoriamento Remoto envolvendo fonte de energia, meio de propagação de radiação eletromagnética e características do alvo e do sensor



Fonte: Lorenzetti (2015)

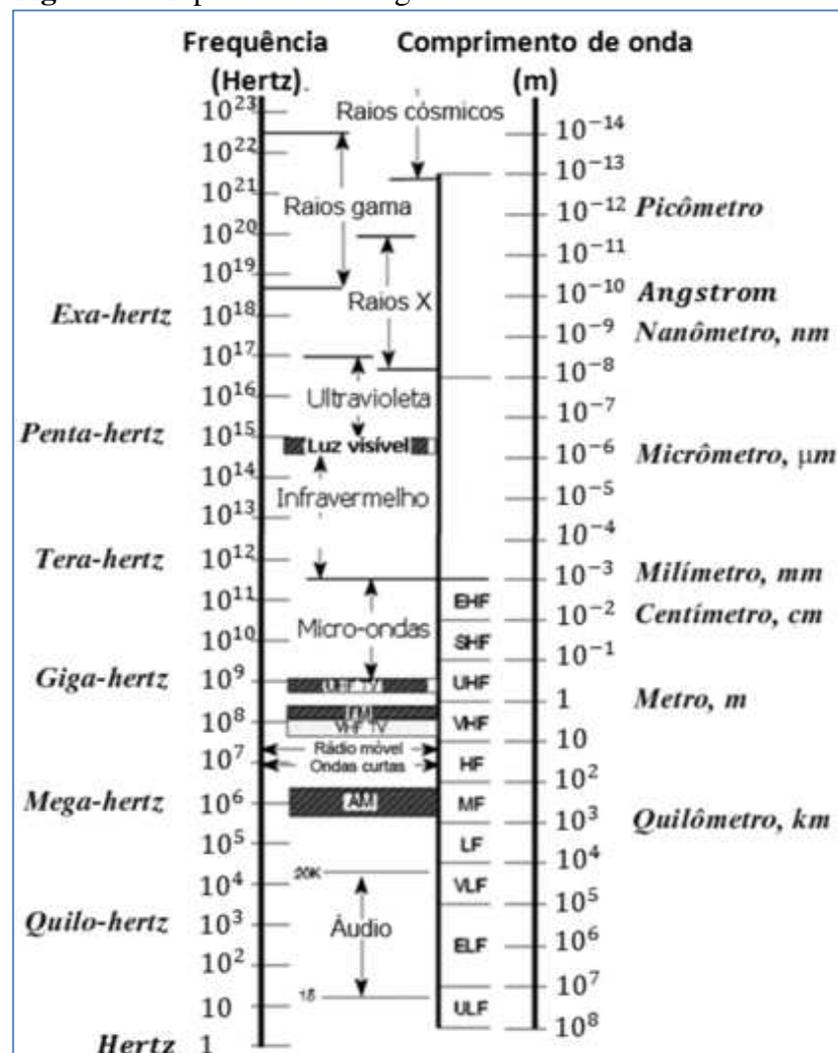
Segundo Oliveira (2020), em sensores ativos, como radares, a energia emitida para detecção não provém do Sol, mas sim do próprio sensor, que emite pulsos de energia eletromagnética que são parcialmente refletidos de volta ao sensor. Quando se trata da faixa do infravermelho termal, os sistemas de sensores são projetados para capturar principalmente a energia irradiada pelo objeto-alvo, a qual está diretamente associada a fatores como sua temperatura.

Quartaroli, Vicente e Araújo (2014) salientam que a radiação eletromagnética

(REM) vem da relação do comprimento de onda e a frequência. O comprimento de onda representa a distância entre dois picos consecutivos da onda, enquanto a frequência é medida pelo número de ondas que passam por um ponto fixo em um segundo. Existe uma relação inversa entre o comprimento de onda e a frequência: quanto maior o comprimento de onda, menor a frequência. A unidade de medida da frequência é o hertz (Hz), enquanto o comprimento de onda é medido em metros (m). Para comprimentos de onda muito pequenos, são utilizados o nanômetro (nm) e micrômetro ( $\mu\text{m}$ ).

Verifica-se na Figura 4 as principais faixas espectrais que compõem o espectro eletromagnético.

**Figura 4** – Espectro eletromagnético

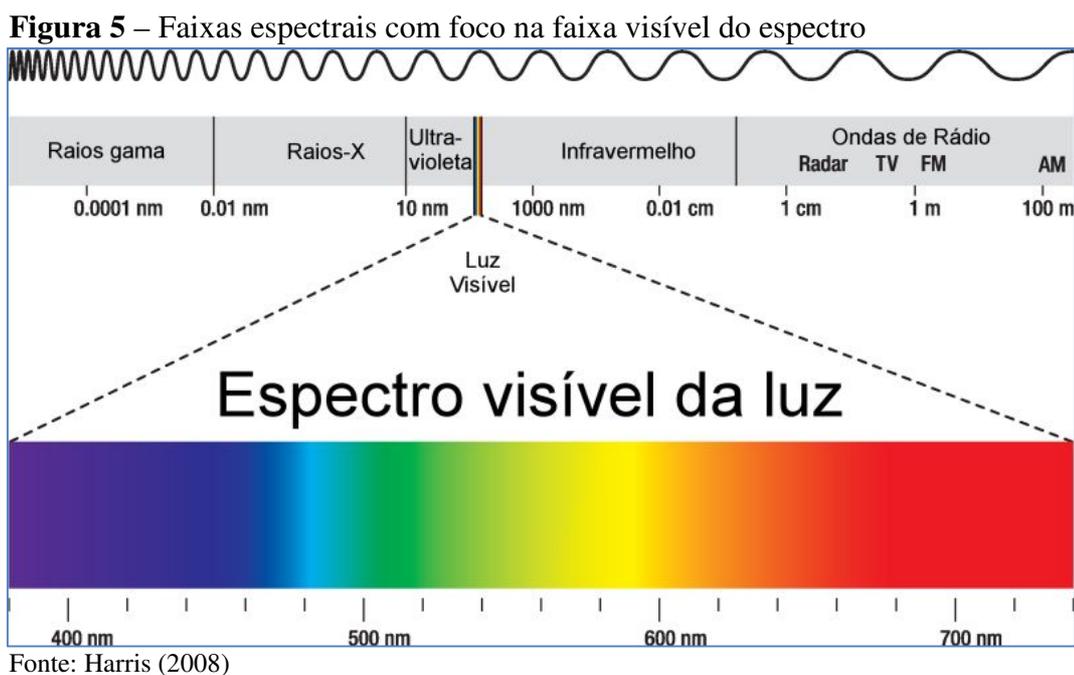


Fonte: Lorenzetti (2015)

Bergamin Filho *et al.* (2010) explicaram que a região estreita do espectro em que as radiações são visíveis ao olho humano é chamada de região do visível. A luz visível pode ser subdividida em cores como azul, verde e vermelho. Dependendo da região do espectro

eletromagnético em questão, diferentes unidades são empregadas para caracterizar as radiações. Para as regiões do visível (Vis) e ultravioleta (UV), é comum expressar o comprimento de onda em nanômetros (nm).

Observa-se na Figura 5 o espectro eletromagnético com um foco especial para a região do visível.



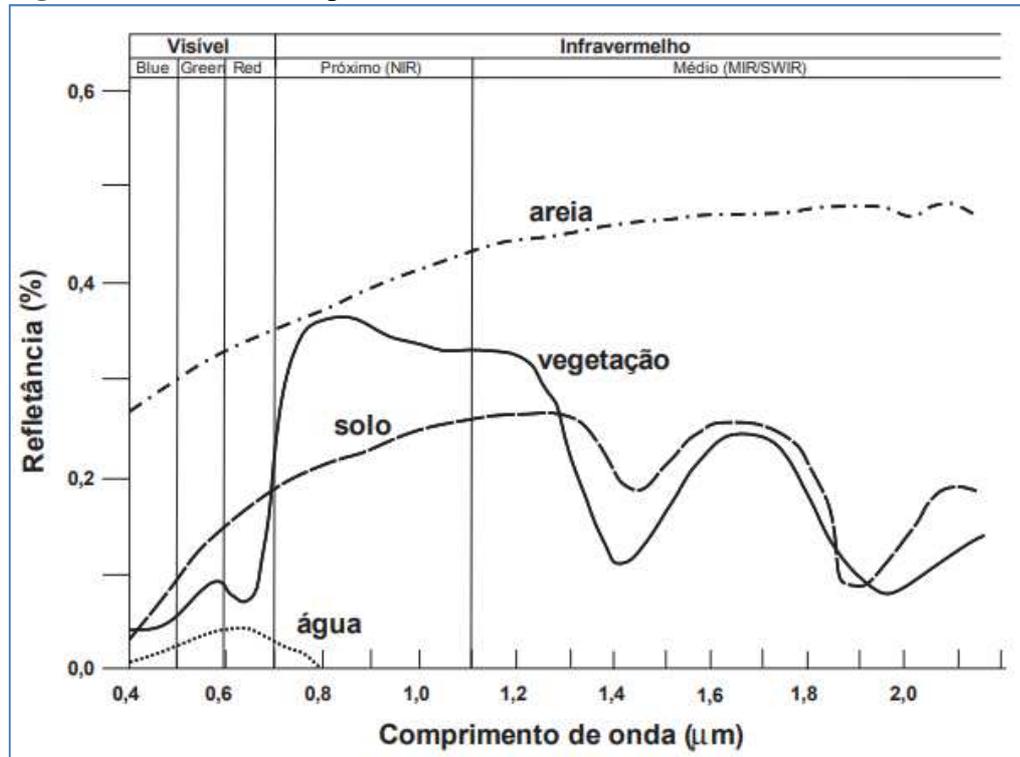
O Sol emite ondas eletromagnéticas que se propagam em direção à Terra e interagem com os elementos presentes, como solo, vegetação, água e outros. Essa interação resulta nos processos simultâneos de absorção, reflexão e transmissão. A intensidade desses processos varia dependendo das propriedades físicas e químicas dos elementos, ocorrendo em diferentes regiões do espectro, o que define o seu comportamento espectral. Assim, os métodos de Sensoriamento Remoto permitem identificar a natureza dos elementos com base nas suas características de reflectância em cada banda do espectro, já que diferentes materiais possuem reflexões específicas em cada uma dessas faixas (Mather; Koch, 2004).

Desse modo, a curva de reflectância ao longo do espectro eletromagnético é uma representação visual que descreve as propriedades radiométricas de um determinado objeto. Cada material possui uma assinatura espectral única, representada por uma curva característica, que serve como um padrão para identificar alvos de interesse por meio do Sensoriamento Remoto (Oliveira, 2020).

As assinaturas espectrais representadas na Figura 6 ilustram as características de

reflexão dos materiais em resposta à radiação eletromagnética incidente sobre eles.

**Figura 6** – Assinatura espectral de alvos



Fonte: Novo (2010)

De acordo com Quartaroli, Vicente e Araújo (2014), os sensores eletrônicos presentes em satélites captam a energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre, convertendo-a em números digitais (ND). Esses sensores remotos conseguem identificar e registrar essa energia refletida, apresentando seus registros em forma de dados digitais, representações gráficas ou imagens.

Para Oliveira (2020), conhecer o comportamento espectral dos alvos tem utilização eficaz quando tem uma interpretação precisa dos dados obtidos por meio de Sensoriamento Remoto, impulsionando avanços significativos em diversas áreas científicas e promovendo a tomada de decisões, gestão de recursos naturais e monitoramento de mudanças ambientais.

Desse modo, o NDVI, abreviação para *índice de vegetação por diferença normalizada*, avalia a presença e densidade de vegetação em imagens de satélite usando uma escala numérica de -1 a 1, baseada na diferença entre as faixas de vermelho visível e infravermelho próximo. Isso se baseia na curva de reflexão específica da vegetação saudável, tornando possível medir o verde e sua densidade na imagem (Nascimento; Lima; Lima, 2014).

Para EOS Data Analytics (2023), o NDVI quando possui valores negativos, está

associado a nuvens, água e neve, e valores próximos a zero, está relacionado a rochas e solo exposto. Valores moderados (entre 0,2 e 0,3) indicam a presença de arbustos e pastagens, enquanto valores mais altos (de 0,6 a 0,8) sugerem a existência de florestas temperadas e tropicais. Nesse aspecto, o NDVI é uma ferramenta importante para compreender, monitorar e preservar os ecossistemas, sendo essencial para agricultura e gestão ambiental.

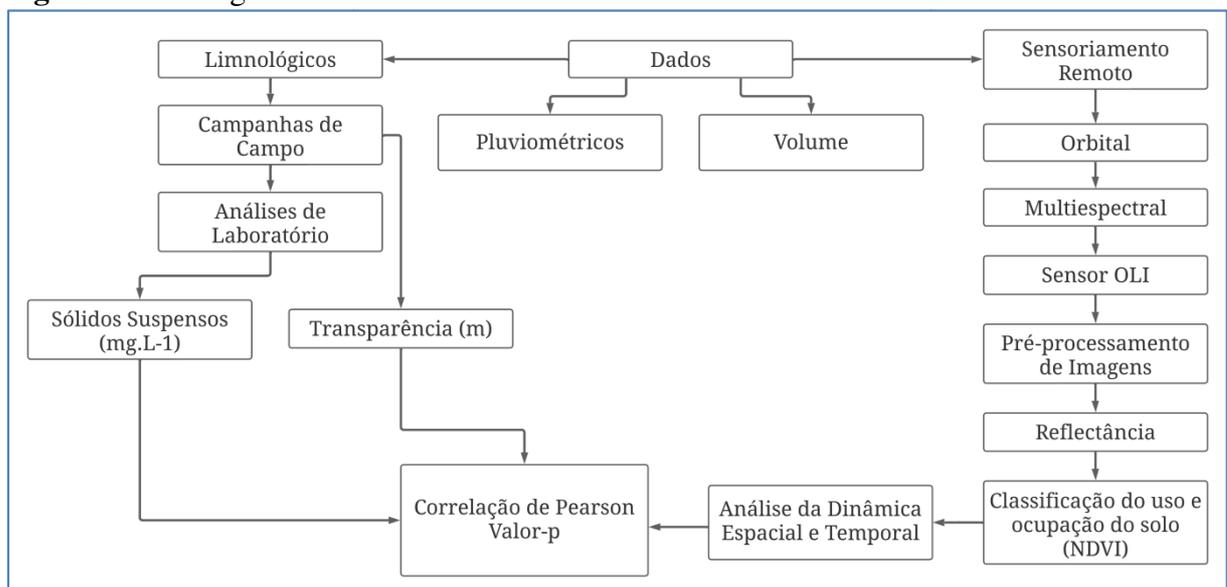
E nessa razão, o uso do Sensoriamento Remoto oferece uma visão abrangente e detalhada dos alvos estudados, como os recursos hídricos e do meio ambiente, sendo importante para a compreensão, monitoramento e proteção desses sistemas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Fluxograma das atividades realizadas

Para alcançar os objetivos definidos, este estudo utilizou o modelo apresentado na Figura 7. Esse modelo é um fluxograma que serve como base para analisar o processo das atividades realizadas.

**Figura 7** – Fluxograma das atividades realizadas



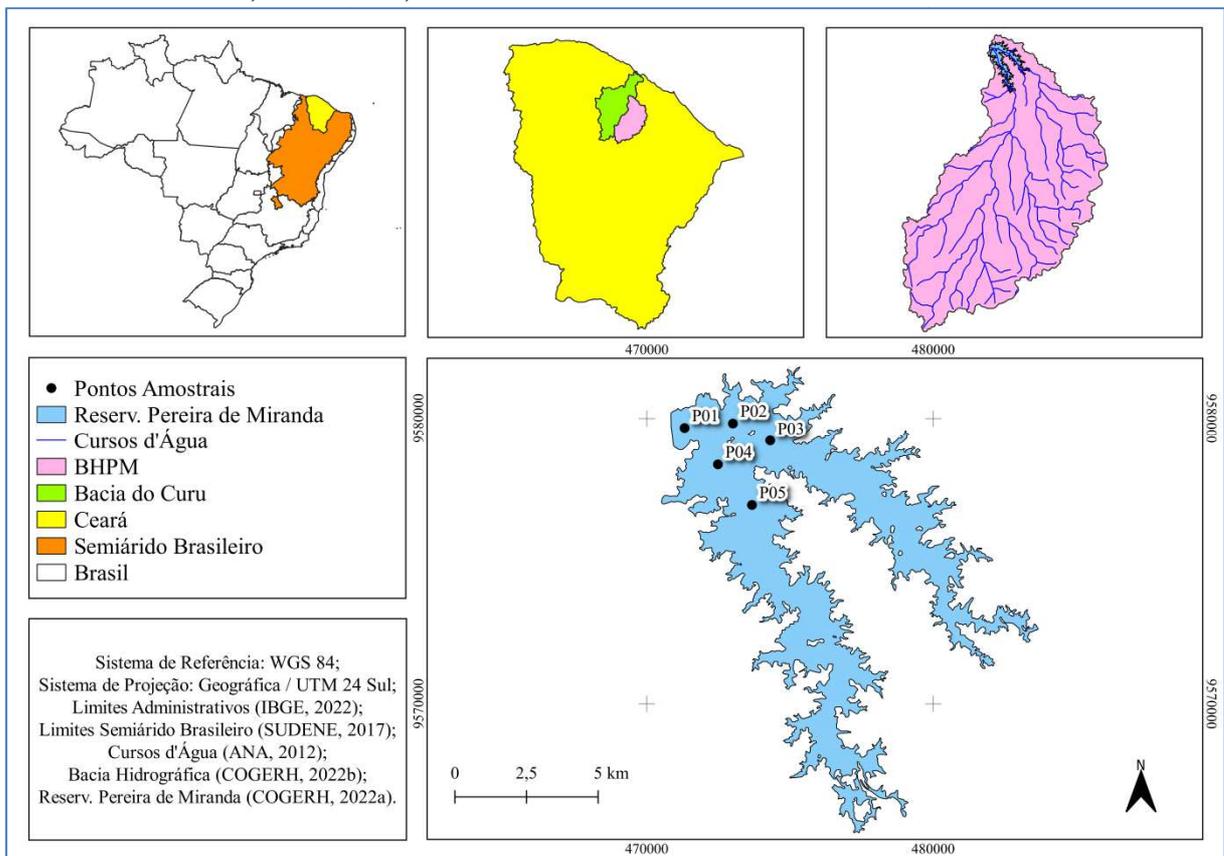
Fonte: Da autora (2023)

A pesquisa demandou cinco visitas ao reservatório estudado ao longo do período entre 2021 e 2023 para a coleta de materiais limnológicos, os quais foram posteriormente analisados em laboratórios. Para enriquecer a análise, foram utilizados dados pluviométricos do município onde o reservatório está localizado, assim como dados de volume do reservatório durante o mesmo período. Depois, quatro imagens do satélite Landsat 8 com sensor OLI, capturadas próximas aos momentos das coletas, foram adquiridas e submetidas a um pré-processamento, incluindo reprojeção, refletância e recorte da área de estudo. A partir dessas imagens, foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e realizada uma reclassificação adaptada do trabalho de Oliveira e Aquino (2020). Por fim, para conectar os dados coletados no campo e em laboratório com os dados resultantes da reclassificação do NDVI, foi aplicada a Correlação de Pearson ( $r$ ) com análise de significância (valor-p).

### 3.2 Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM), pertencente à bacia hidrográfica do Rio Curu; e o reservatório Pereira de Miranda, localizada no município de Pentecoste, Ceará, à 85 km da Capital do Estado, Fortaleza, nas coordenadas geográficas 3° 49' 26'' Sul e 39° 14' 36'' Oeste (Figura 8).

**Figura 8** – Localização geográfica da área de estudo com os pontos de coleta no reservatório Pereira de Miranda, Pentecoste, Ceará



Fonte: Da autora (2023)

Concluída em 1957, a barragem desse reservatório foi construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) nos anos 1950 e é reconhecida como o 5º maior reservatório artificial do estado do Ceará (DNOCS, 2022). O reservatório tem capacidade para armazenar um volume de 395.638.000 m<sup>3</sup> de água e sua bacia hidrográfica cobre uma área de 2.840 km<sup>2</sup> (COGERH, 2021).

O reservatório Pereira de Miranda tem como finalidades: o controle das cheias dos rios Canindé e Capitão-Mor; a regularização do rio Curu; a irrigação das terras de jusante, coadjuvada pelas águas armazenadas no reservatório General Sampaio; a piscicultura; o

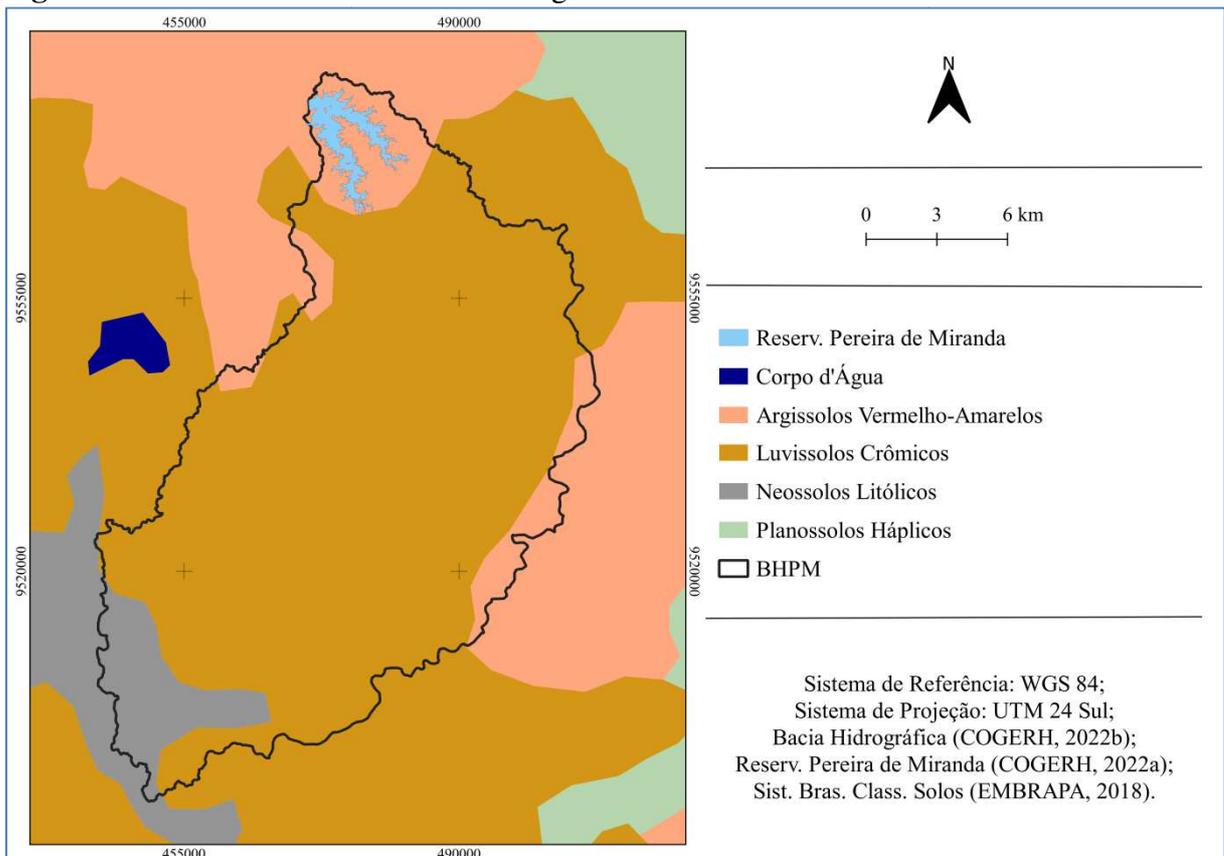
aproveitamento para culturas nas áreas de montante; o abastecimento humano; a dessedentação de animais, entre outros (Moura Filho, 2018).

### 3.3 Vegetação, relevo e classificação de solos

A cobertura vegetal predominante na bacia hidrográfica do Reservatório Pereira de Miranda é do tipo Caatinga Arbustiva Densa, Complexo Vegetacional da Zona Litorânea e Floresta Mista Dicótilo-Palmácea. Além de ter um relevo com Depressões Sertanejas, Tabuleiros Pré-Litorâneos e Planícies Fluviais (IPECE, 2017).

As classes de solos predominantes na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda são os Luvisolos Crômicos, os Argissolos Vermelho-Amarelo e os Neossolos Litólicos (Figura 9) (EMBRAPA, 2018).

**Figura 9** – Classes de solos da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda



Fonte: Da autora (2023)

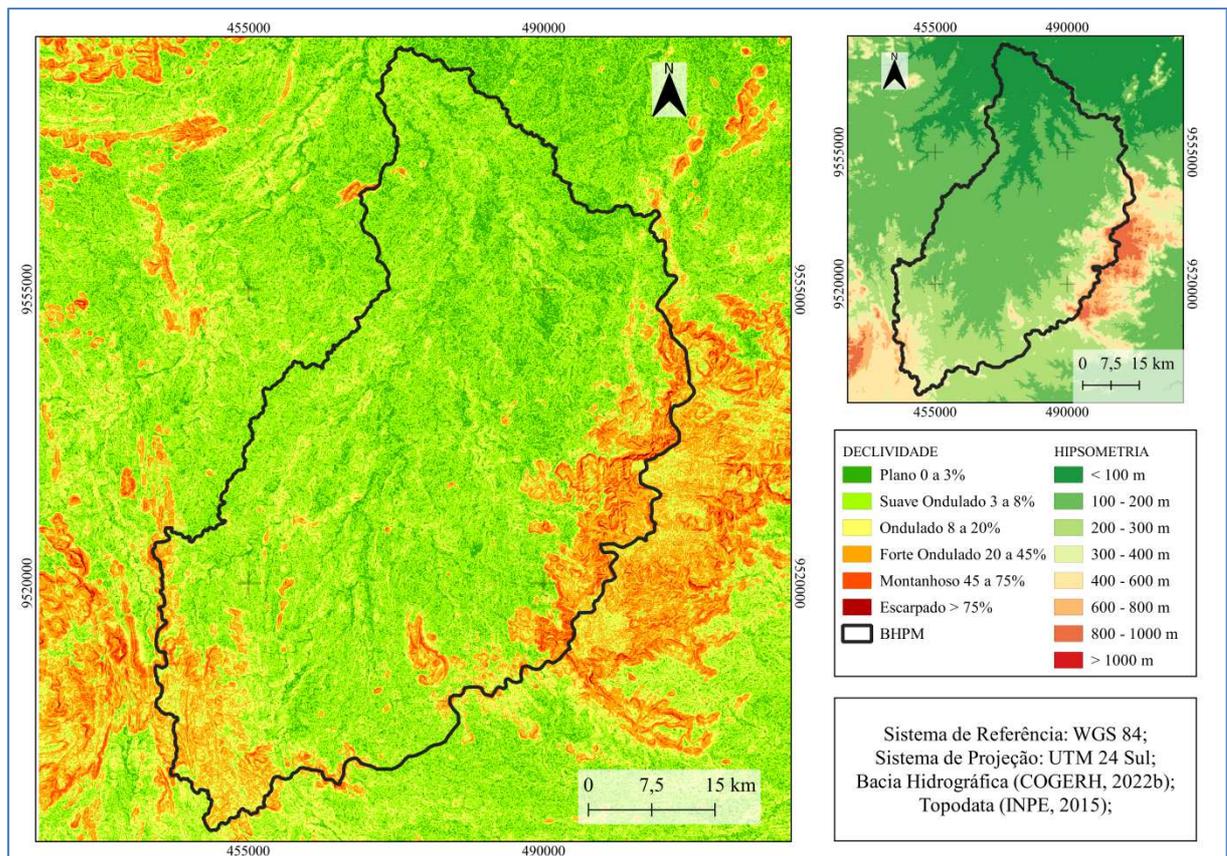
Os solos Luvisolos Crômicos são rasos, enquanto os Argissolos Vermelho-Amarelos possuem baixa fertilidade e são altamente suscetíveis à erosão (EMBRAPA, 2018). Os Neossolos Litólicos, são rasos e apresentam declives acentuados, com presença de rochas

(EMBRAPA, 2018).

### 3.4 Declividade e hipsometria

De acordo com a Figura 10, a região Leste, Sudeste e Sudoeste da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda possui relevo montanhoso, com declividade maior ou igual a 45%. Enquanto as partes Norte e Oeste predominam os relevos planos e suave-ondulado, utilizando a classificação da EMBRAPA (2018). Pela hipsometria, onde fica o reservatório, na parte Norte, predomina alturas menores de 100 metros. E nas bordas Leste, Sudeste, Sul e Sudoeste da bacia hidrográfica, encontram alturas acima de 300 metros.

**Figura 10** – Declividade e hipsometria da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda



Fonte: Da autora (2023)

Segundo Arantes (2022), a declividade refere-se à inclinação do terreno em uma determinada área da bacia hidrográfica, deste modo quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento das águas. Para Arantes (2022), esse processo erosivo pode ser acelerado por fatores como o desmatamento, a agricultura intensiva, a urbanização e o mau

manejo do solo. A erosão excessiva pode resultar na degradação da qualidade da água, assoreamento dos rios e perda de nutrientes essenciais para a vegetação.

### 3.5 Dados hidroclimáticos

O clima onde se encontra a bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM) está inserido no grupo de clima semiárido quente, de acordo com a classificação de Köppen, com a designação BSh (EMBRAPA, 1998). A região tem uma grande perda de água também por alto índice de evaporação (Moura Filho, 2018). Além disso, a temperatura média anual no município fica entre 26° a 28° C. E a média histórica da precipitação pluviométrica anual é de 817,7 mm.ano<sup>-1</sup>, sendo de janeiro a abril o período de maior ocorrência de chuvas (FUNCEME, 2017 *apud* IPECE, 2017).

Os dados referentes à precipitação pluviométrica do município foram adquiridos na página da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2023), enquanto as informações sobre o volume do reservatório foram obtidas no site da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2023b), com as datas das coletas de água, entre o período de 2021 a 2023.

### 3.6 Dados de uso e ocupação do solo utilizando o NDVI

Para analisar a evolução temporal das mudanças no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM), procedeu-se ao download das imagens do Landsat 8, com o sensor OLI, de resolução espacial de 30 metros na página do Earth Explorer, vinculado ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), com foco na minimização da presença de nuvens. Somente as bandas 4 e 5 foram baixadas. O período de análise abrangeu três anos, utilizando quatro imagens datadas em 16/09/2021 (seco), 12/04/2022 (chuvoso), 09/09/2022 (seco) e 02/04/2023 (chuvoso).

Posteriormente, utilizou-se o software QGIS 3.16.16 com GRASS 7.8.5 para realizar o processamento e análise dos dados. Inicialmente, realizou-se a reprojeção das imagens do sistema de coordenadas WGS84/UTM 24 Norte para o sistema WGS84/UTM 24 Sul. Em seguida, foi realizada correção atmosférica das imagens para gerar valores de reflectância. A remoção dos efeitos de dispersão e absorção da atmosfera por meio da correção atmosférica visa alcançar a caracterização precisa da reflectância da superfície, ou seja, suas propriedades (Gaida *et al.*, 2020). Para essa correção foi utilizado o complemento

*Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). Ademais, procedeu-se ao recorte das imagens, utilizando a camada de máscara referente à BHPM.

Logo em seguida, o NDVI foi calculado dividindo a diferença entre a banda 5 (infravermelho próximo) e a banda 4 (vermelho) pela sua soma, utilizando a Calculadora Raster do QGIS 3.16.16 de acordo com a Equação 1.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Em que:

NIR = reflectância do infravermelho próximo;

RED = reflectância do vermelho.

Na reclassificação das imagens de NDVI, empregou-se o método de classificação adaptado do trabalho de Oliveira e Aquino (2020), onde foram agrupadas e identificadas áreas com *pixels* semelhantes, visando à homogeneização das regiões (Tabela 1). Para essa reclassificação foi utilizado a ferramenta *r.recode* no QGIS 3.16.16.

**Tabela 1** – Intervalos de variação do pixel utilizado para reclassificação do NDVI

Classificação	NDVI
Água/Nuvem	-1,0 – 0,0
Solo exposto	0,0 – 0,1
Vegetação com baixa atividade fotossintética	0,1 – 0,5
Vegetação com alta atividade fotossintética	0,5 – 1,0

Fonte: Adaptado de Oliveira e Aquino (2020)

Após a reclassificação das imagens, foi utilizado a ferramenta *r.report* no QGIS 3.16.16 para calcular a área correspondente a cada classe reclassificada de uso e ocupação da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda.

### 3.7 Dados limnológicos

Os parâmetros sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV) em mg.L<sup>-1</sup> e a medição da transparência pelo disco de Secchi em metros (m) foram coletados no período de 2021 a 2023 com as datas 11/10/2021 (seco), 23/12/2021 (seco), 27/05/2022 (chuvoso), 29/12/2022 (seco) e 26/06/2023 (chuvoso).

Os sólidos suspensos totais (SST) são partículas não dissolvidas presentes na água, compostas por substâncias inorgânicas (SSF) e orgânicas (SSV), incluindo organismos planctônicos (fitoplâncton e zooplâncton). Sua presença principal impacta na redução da transparência da água, limitando a entrada de luz (Mendonça, 2018).

As coletas de campo foram realizadas pelos integrantes do Grupo de Pesquisa e Extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA) em cinco pontos de amostragem: P01 (próximo à barragem), P02 (entrada do rio Capitão-Mor), P03 (rio Capitão-Mor), P04 (entrada rio Canindé) e P05 (rio Canindé).

As amostras de água para análise de sólidos suspensos foram coletadas a uma profundidade de 30 centímetros da superfície em garrafas plásticas de 1 litro, devidamente higienizadas e identificadas. Após a coleta, as garrafas foram armazenadas em caixas isotérmicas com gelo para preservar o material. Em seguida, nos laboratórios de Manejo de Solos e da Pedologia, localizados no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), os parâmetros SST, SSF e SSV foram quantificados usando a metodologia proposta por APHA *et al.* (2005), na qual utilizou-se filtração à vácuo com membrana de fibra de vidro de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade, com secagem de 1 hora a 105°C na estufa e ignição por 13 minutos a 450°C no forno mufla.

Já a transparência da água foi medida *in situ* utilizando o disco de Secchi. A avaliação da qualidade das águas é fortemente influenciada pela transparência. Por meio da medição da transparência utilizando o disco de Secchi, é possível inferir sobre a redução da intensidade da luz causada pela presença de material em suspensão e, de forma aproximada, estimar a profundidade da zona fótica. A determinação da transparência da água é um procedimento de campo que se destaca por sua simplicidade, baixo custo, facilidade de transporte e pela quantidade de informações que podem ser obtidas a partir de sua análise, justificando sua utilização na avaliação de ambientes aquáticos (Comitê Guandu-RJ, 2017).

### **3.8 Análise de dados**

Para realizar uma avaliação estatística da intensidade da relação linear entre os parâmetros limnológicos e os valores de índice de vegetação da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM), foi utilizado um indicador estatístico, o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), segundo a Equação 2.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)(Y_i - \bar{Y}_i)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2)} \sqrt{(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2)}} \quad (2)$$

Este coeficiente é uma medida que indica o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, variando entre -1 e 1, onde o valor 0 indica a ausência de relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 indica uma relação linear perfeita inversa. Em outras palavras, quando o valor de uma variável aumenta, o valor da outra variável aumenta (relação positiva) ou diminui (relação negativa) (Sousa, 2019).

Desse modo, observa-se na Tabela 2 como interpretar os resultados da correlação de Pearson (r), por meio da classificação de Veiga *et al.* (2019).

**Tabela 2** – Interpretação dos resultados da correlação de Pearson (r)

Valor de (r) (+ ou -)	Interpretação
0,00	Nula
0,01 a 0,20	Muito fraca
0,21 a 0,40	Fraca
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Forte
0,81 a 0,99	Muito forte
1,00	Perfeita

Fonte: Veiga *et al.* (2019)

Além de utilizar o coeficiente de Pearson (r), foi calculado o valor de significância (valor-p) com o software JAMOV (2023) para verificar a probabilidade de encontrar um valor do coeficiente calculado maior ou igual ao deparado (Ferreira; Patino, 2015).

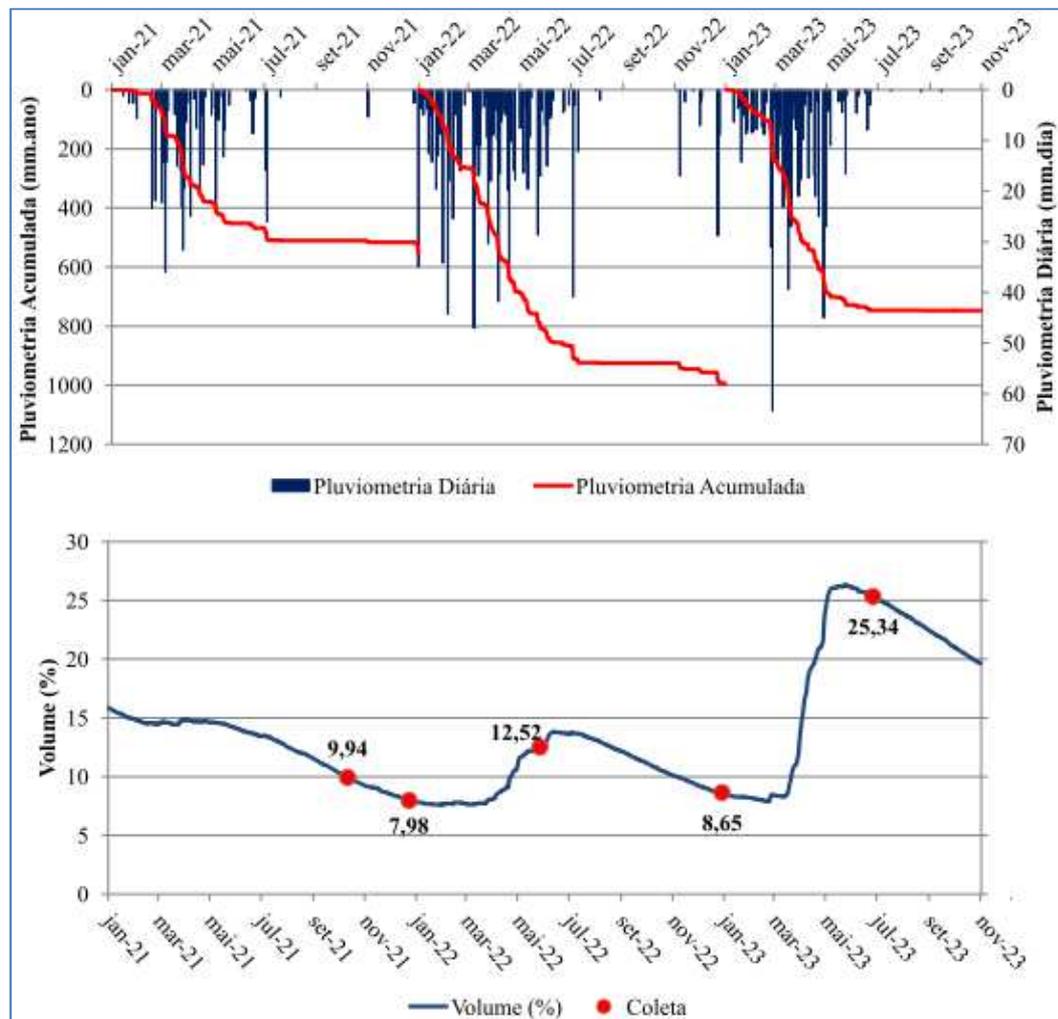
Desse modo, essa metodologia oferece estrutura para a coleta, análise e interpretação dos dados necessários para alcançar os objetivos propostos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise dos dados hidroclimáticos

Em relação ao período de estudo, houve uma maior precipitação pluviométrica acumulada no ano de 2022, com  $993,8 \text{ mm.ano}^{-1}$  (Figura 11). Mas neste período destacado, o reservatório Pereira de Miranda oscilou na sua capacidade volumétrica de 7,79 a 8,62%. O maior volume do reservatório em 2022 foi de 13,83% em meados do mês de maio. Em 2021, a precipitação diária continuou constante nos primeiros meses, mas os valores ficaram baixos, fazendo o reservatório decrescer seu volume de 15,86 para 7,79%. Durante os meses de janeiro a maio de 2023, as precipitações diárias foram constantes, levando o reservatório a atingir 26,33% de sua capacidade total.

**Figura 11** – Precipitação pluviométrica acumulada, precipitação pluviométrica diária e volume no reservatório Pereira de Miranda de 2021 a 2023



Fonte: Da autora (2023)

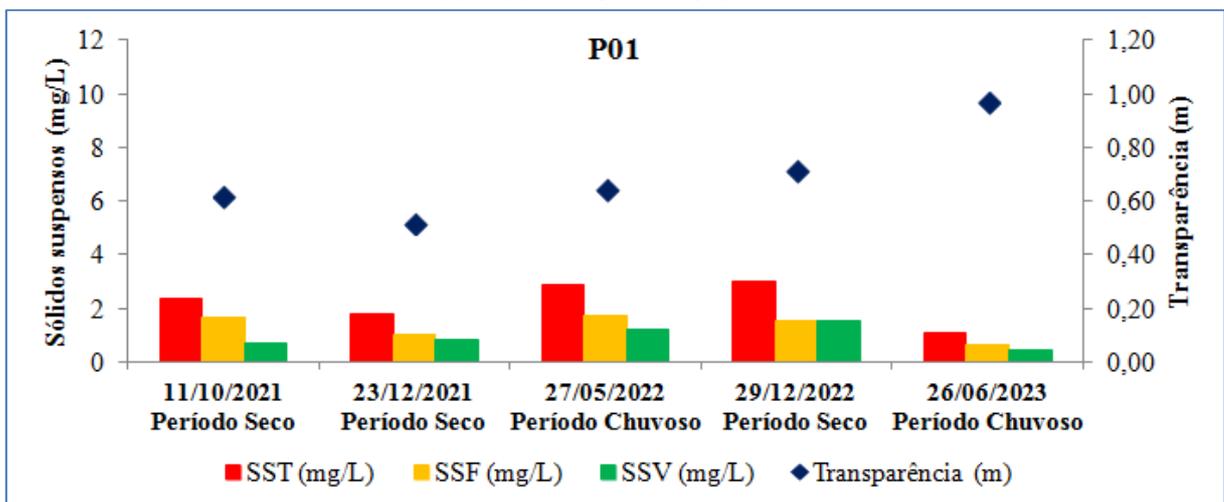
Para Barbosa Júnior (2022), a forma como a água é gerada em uma área é influenciada por elementos climáticos, como a precipitação, evaporação, temperatura, umidade do ar e ventos, assim como pelas propriedades físicas, geológicas e topográficas desse local. Já na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda foi possível observar esse comportamento a partir da Figura 11, com a precipitação influenciando diretamente no volume de água armazenado no reservatório.

As precipitações no Nordeste brasileiro são conhecidas por sua intensidade, ocorrendo em períodos curtos e sem uma regularidade bem definida. Isso significa que há uma alta variabilidade na distribuição temporal e espacial das precipitações (Maia *et al.*, 2014). O semiárido brasileiro é marcado pela escassez de chuvas, altas temperaturas que resultam em uma intensa evaporação, e apresenta apenas duas estações claramente distintas ao longo do ano: uma chuvosa e outra seca, com a última podendo se estender por um período de 7 a 9 meses (Pinheiro, 2022). Essas variações e irregularidades foram observadas na BHPM, pois observa-se que as precipitações durante os três anos de estudo se destacaram no primeiro semestre do ano.

#### 4.2 Análise dos dados limnológicos

Observa-se na Figura 12 a concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P01* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023.

**Figura 12** – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P01* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023

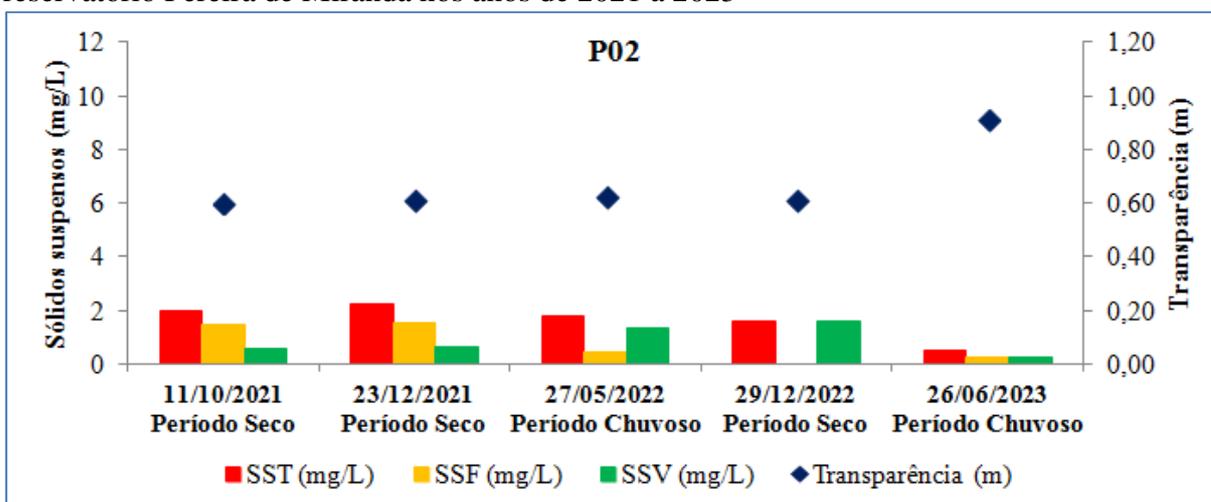


Fonte: Da autora (2023)

As maiores concentrações de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos

fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), do ponto *P01*, aconteceu no dia 29/12/2022 (seco), respectivamente com valores  $3,00 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $1,50 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,50 \text{ mg.L}^{-1}$ . A transparência observada neste ponto foi de 0,72 m. Nesta data destacada, não ocorreram precipitações pluviométricas desde o mês de agosto e o volume do reservatório encontrava-se com 8,65%. Logo a seguir, verifica-se na Figura 13 a concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P02* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023.

**Figura 13** – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P02* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023



Fonte: Da autora (2023)

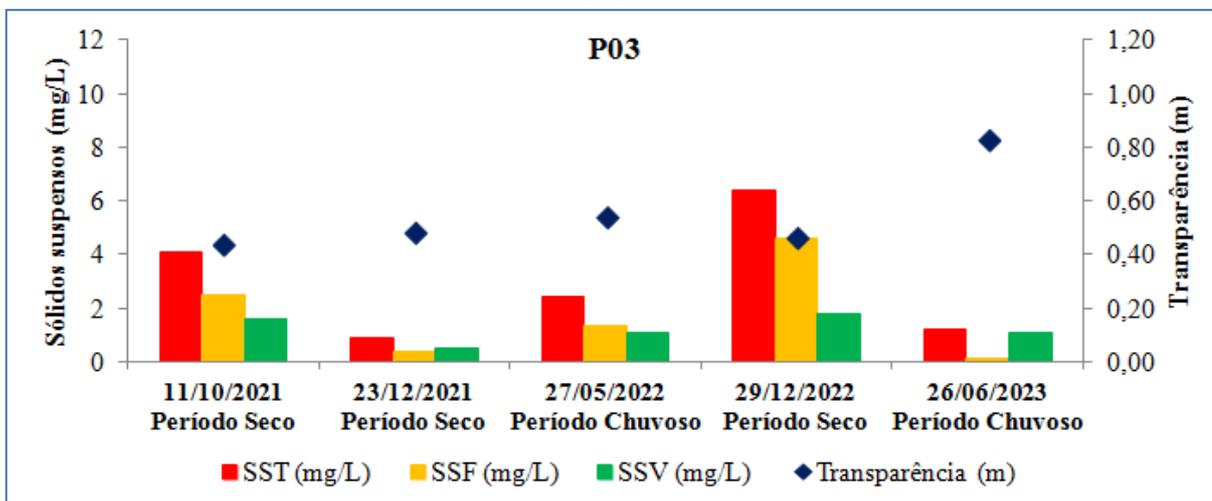
A maior concentração de SST, SSF e SSV do ponto *P02* sucedeu no dia 23/12/2021 (seco), nesta ordem, com  $2,20 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $1,55 \text{ mg.L}^{-1}$ ; e  $0,65 \text{ mg.L}^{-1}$ . A transparência considerada neste ponto foi de 0,61 m. Nesta data, não aconteceram precipitações pluviométricas desde o mês de agosto e o volume de água do reservatório estava com 7,98% da sua capacidade.

É importante destacar que as maiores concentrações de SST, SSF e SSV dos pontos *P01* e *P02* acompanharam o aumento da transparência. A explicação para tal fato é que o reservatório Pereira de Miranda se encontrava com um volume baixo e os fortes ventos fez com que a água ficasse em constante movimento promovendo a ressuspensão do sedimento de fundo, cuja constituição se dá por partículas de pequenas dimensões (argila e silte). As partículas menores têm maior tendência a permanecer em suspensão, enquanto as maiores tendem a decantar de forma gradual (Chagas, 2015). A maior composição de solo do reservatório é de Argissolo Vermelho-Amarelo, que é muito suscetível à erosão (EMBRAPA, 2021).

A concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P03* para o

reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 estão na Figura 14.

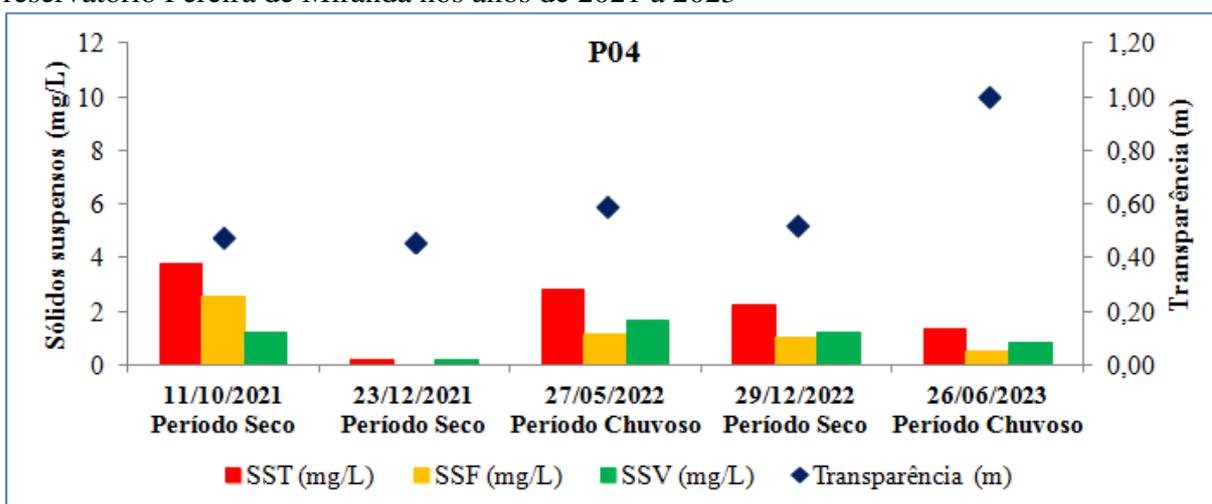
**Figura 14** – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P03* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023



Fonte: Da autora (2023)

As maiores concentrações de SST, SSF e SSV, do ponto *P03*, aconteceu no dia 29/12/2022 (seco), respectivamente, com valores  $6,40 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $4,60 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,80 \text{ mg.L}^{-1}$ . A transparência neste ponto foi de 0,47 m. Nesta data, não ocorreram precipitações pluviométricas desde o mês de agosto e o volume de água do reservatório encontrava-se com 8,65% da sua capacidade. A concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P04* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023 estão na Figura 15.

**Figura 15** – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P04* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023



Fonte: Da autora (2023)

A maior concentração de SST, SSF e SSV do ponto *P04* decorreu no dia 11/10/2021 (seco), na devida ordem, com 3,79 mg.L<sup>-1</sup>; 2,58 mg.L<sup>-1</sup>; e 1,21 mg.L<sup>-1</sup>. A transparência vista neste ponto foi de 0,48 m. Nesta data, também não verificou precipitações pluviométricas desde o mês de agosto e o volume de água do reservatório estava com 9,94% da sua capacidade.

Neste contexto, as maiores concentrações de SST, SSF e SSV e da baixa transparência dos pontos *P03* e *P04* podem ser explicadas pelo volume baixo do reservatório e o período seco, pois não teve diluição dos componentes presentes na água.

De acordo com Assis, Buffo e Silveira (2022), alguns estudos têm revelado que as estações do ano, devido às suas características climáticas, tendem a impactar o comportamento do ciclo hidrossedimentológico. Assim, a precipitação é um forte fator de influencia da qualidade da água, uma vez que o padrão de chuvas está correlacionado com algumas variáveis, como por exemplo, o aumento ou diminuição da concentração de clorofila-a, da turbidez e de sólidos em suspensão.

Além disso, o uso do solo também influencia no processo de carreamento de partículas para os corpos hídricos. Sem a proteção das raízes das árvores, a água das chuvas pode causar a remoção do solo, resultando em maior carreamento de sedimentos para os corpos d'água. Ou seja, a presença da vegetação no local amortece o impacto das gotas de chuva, e, conseqüentemente evita, a erosão do solo, o escoamento superficial e a perda de água por evaporação (B. Silva *et al.*, 2020).

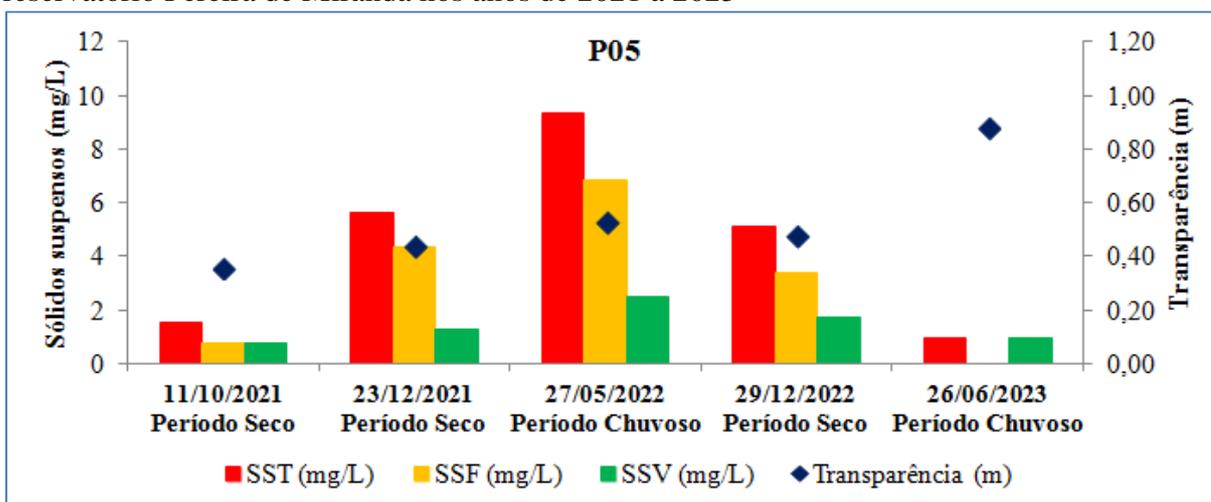
É importante destacar que nas áreas dos reservatórios, lagos e rios, a água está constantemente em movimento, resultando em mudanças nas quantidades de sólidos particulados e substâncias dissolvidas presentes. Esse dinamismo da água é consequência de processos físicos que têm uma influência significativa nas propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente aquático (Barbosa; Novo; Martins, 2019).

Já a transparência da água pode variar em uma ampla faixa, desde centímetros até metros, e essa variação está diretamente relacionada à quantidade de material em suspensão presente na coluna d'água. Ou seja, o valor da transparência é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no trajeto da luz e ao coeficiente de atenuação da irradiância (Dal Osto, 2019).

O que pode também influenciar na transparência da água é a chuva, que causa um aumento no escoamento de materiais de origem continental para o estuário. Esse aumento resulta em uma maior quantidade de material em suspensão, levando à redução da zona eufótica (Silva *et al.*, 2009).

Observa-se na Figura 16 a concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P05* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023.

**Figura 16** – Concentração de sólidos suspensos e transparências do ponto *P05* para o reservatório Pereira de Miranda nos anos de 2021 a 2023



Fonte: Da autora (2023)

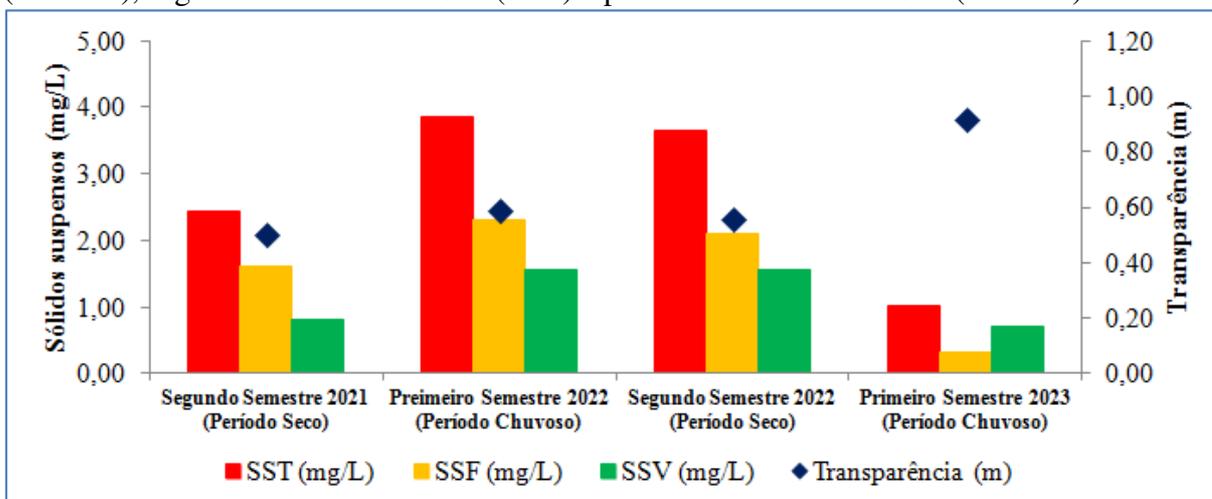
A maior concentração de SST, SSF e SSV do ponto *P05* transcorreu no dia 27/05/2022 (chuvoso), respectivamente, com os valores  $9,33 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $6,83 \text{ mg.L}^{-1}$ ; e  $2,50 \text{ mg.L}^{-1}$ . A transparência presenciada neste ponto foi de 0,53 m. Nesta data, ocorreram eventos de precipitações pluviométricas nos meses anteriores (janeiro a maio), ficando com um acumulado de  $810,6 \text{ mm.ano}^{-1}$  e o volume de água do reservatório encontrava-se com 12,52% da sua capacidade.

Para o ponto *P05*, mesmo acontecendo em um período chuvoso, teve maior concentração de SST, SSF e SSV e baixa transparência ocasionada pelo volume baixo do reservatório. Ademais, a localização do ponto *P05* fica na entrada do rio Canindé, um local raso e que com isso, o vento provoca a ressuspensão dos sedimentos de fundo (Chagas, 2015).

Além disso, é importante comentar que na data de 26/06/2023 (chuvoso), todos os cinco pontos tiveram baixa concentração de SST, SSF e SSV e, alta em transparência. No período citado, intercorreu precipitações pluviométricas significativas nos meses anteriores (janeiro a junho), ficando com um acumulado de  $746,4 \text{ mm.ano}^{-1}$  e o volume de água do reservatório atingiu 25,34% da sua capacidade.

Observa-se na Figura 17 as médias dos SSTs, SSFs, SSVs e transparências dos cinco pontos coletados do reservatório Pereira de Miranda, durante o segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso).

**Figura 17** – Médias dos cinco pontos de SST, SSF, SSV e transparências no reservatório Pereira de Miranda durante o segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso)



Fonte: Da autora (2023)

A maior média de concentração de SST ocorreu no primeiro semestre de 2022 (chuvoso) com  $3,86 \text{ mg.L}^{-1}$  e transparência 0,59 m. No segundo semestre de 2022 (seco), a média de concentração de SST continuou alta, mas com  $3,66 \text{ mg.L}^{-1}$  e transparência 0,56 m. O ano de 2022, comparado com os outros anos de estudo (2021 e 2023), teve uma pluviometria acumulada maior ( $993,8 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), mas que não foi suficiente para aumentar o volume de água do reservatório (13,83%), deixando os SSTs concentrados.

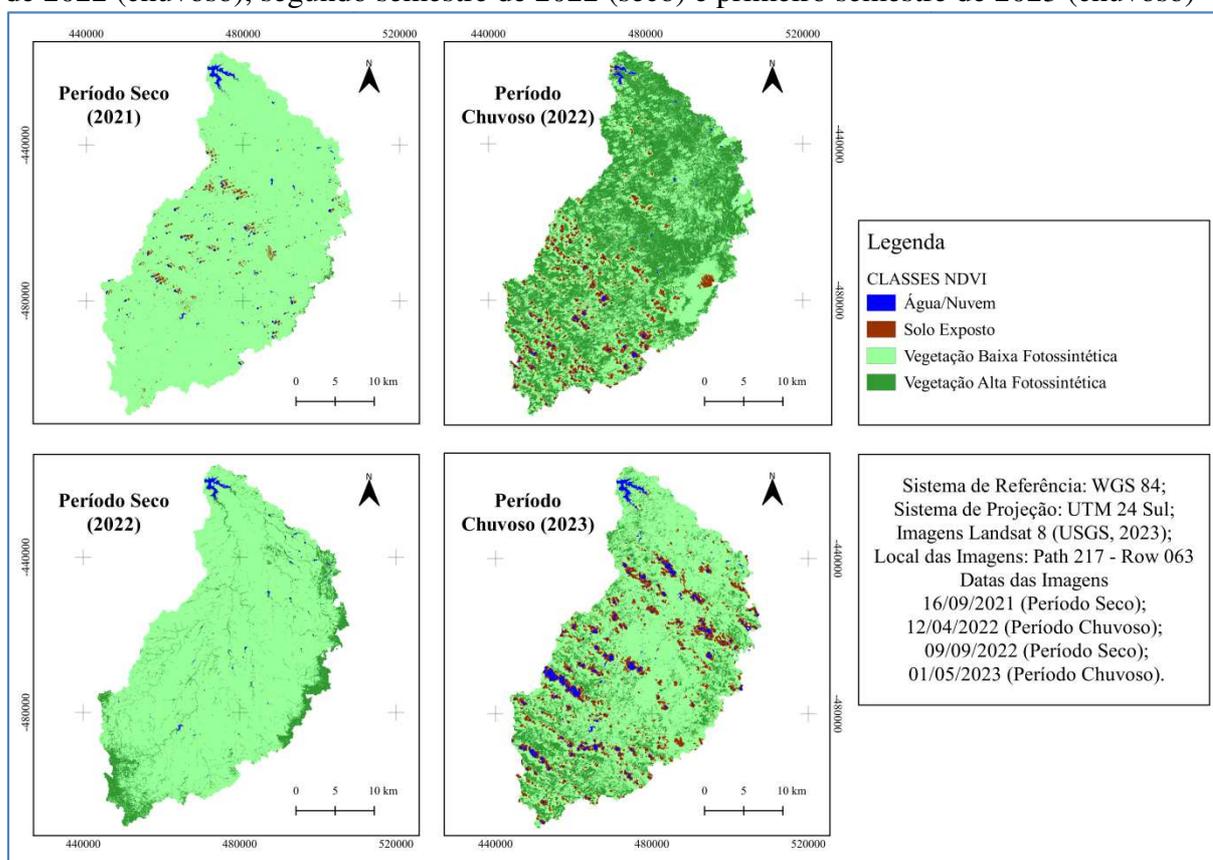
Para o primeiro semestre de 2023 (chuvoso), a situação foi inversa, pois a média de SST foi de  $1,02 \text{ mg.L}^{-1}$  e transparência 0,92 m. O tal fato se explica por que a pluviometria diária neste 1º sem. 2023 foi constante fazendo com que o volume de água do reservatório chegasse a 26,33%, e consequentemente diluindo os SSTs.

#### 4.3 Análise do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI

A análise do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI oferece uma observação importante sobre a saúde das plantas, condições ambientais e impactos humanos sobre os ecossistemas (EOS Data Analytics, 2023). Para este estudo, o NDVI avaliado foi o uso e ocupação da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM), nos períodos sazonais (chuvoso e seco) entre os anos de 2021 a 2023.

Verifica-se na Figura 18 as áreas de classes de NDVI reclassificado adaptado do trabalho de Oliveira e Aquino (2020).

**Figura 18** – Áreas de classes NDVI reclassificados da bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda durante o período do segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso)



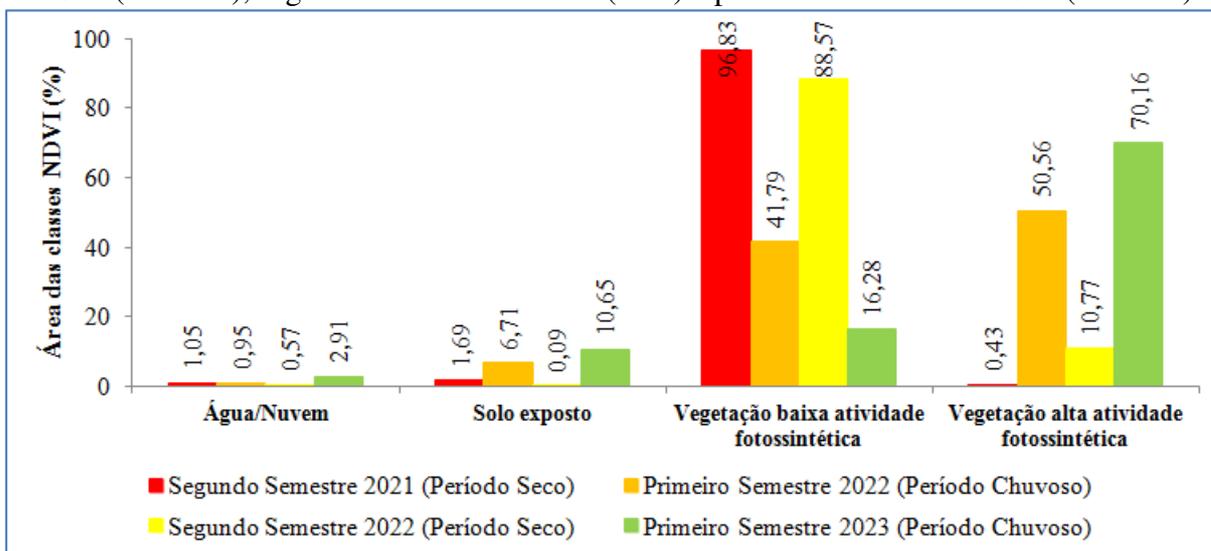
Fonte: Da autora (2023)

Desse modo, a maior área do NDVI referente à classe água/nuvem na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM) aconteceu no primeiro semestre de 2023 (chuvoso). O fato se confirma, pois a pluviometria acumulada e o volume de água do reservatório até a data da imagem eram de  $685,8 \text{ mm.ano}^{-1}$  e 24,27%, respectivamente.

A maior área de NDVI para a classe solo exposto sucedeu no primeiro semestre de 2023 (chuvoso). E as maiores áreas de NDVI para as classes de vegetação baixa atividade fotossintética e de vegetação alta atividade fotossintética decorreram no segundo semestre de 2021 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso), nesta ordem. Esses valores de classe expressiva de mudança da ocupação do solo no segundo semestre é uma característica da vegetação caatinga, pois a mesma é classificada como caducifólia.

Observa-se na Figura 19, em porcentagem, de como foi a classificação das classes do NDVI na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda durante o período do segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso).

**Figura 19** – Área das classes do NDVI em porcentagem na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda durante o período do segundo semestre de 2021 (seco), primeiro semestre de 2022 (chuvoso), segundo semestre de 2022 (seco) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso)



Fonte: Da autora (2023)

As maiores classes de água/nuvem ocorreram no primeiro semestre de 2023 (chuvoso) com 2,91 % e 1,05% no segundo semestre de 2021 (seco). Para as classes de solo exposto, os valores altos aconteceram no primeiro semestre de 2022 (chuvoso) com 6,71% e 10,65% no primeiro semestre de 2023 (chuvoso). Para a vegetação com baixa atividade fotossintética, as áreas se apresentaram altas no segundo semestre de 2021 (seco) com 96,83% e 88,57% no segundo semestre de 2022 (seco). Já a vegetação com alta atividade fotossintética, os valores mais altos das áreas sucederam no primeiro semestre de 2022 (chuvoso) e primeiro semestre de 2023 (chuvoso) com 50,56% e 70,16%, respectivamente.

#### 4.4 Correlação de Pearson (r) e valor-p entre os parâmetros limnológicos e NDVI

Para Miot (2018), é comum, em pesquisas, investigar se os valores de diferentes variáveis quantitativas mudam simultaneamente em um mesmo sujeito ou objeto de estudo. Isso significa que, quando um valor de uma variável aumenta, o valor de outra tende a aumentar também, ou, ao contrário, diminuir proporcionalmente. Existem diversos testes estatísticos, conhecidos como testes de correlação, que exploram a força e a direção desse comportamento conjunto entre as variáveis.

Desse modo, como forma de verificar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água do reservatório Pereira de Miranda calculou-se a correlação entre os percentuais das classes de NDVI com os parâmetros limnológicos avaliados durante os anos

de 2021 a 2023, utilizando o coeficiente da correlação de Pearson ( $r$ ) com valores de significância (valor- $p$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Correlação de Pearson ( $r$ ) e valor- $p$  nas classes NDVI e parâmetros limnológicos

	SE	VBAF	VAAF	SST	SSF	SSV	TRANSP
<b>SE</b>	1						
<b>Valor-p</b>	-						
<b>VBAF</b>	-0,97*	1					
<b>Valor-p</b>	0,03	-					
<b>VAAF</b>	0,96*	-0,99**	1				
<b>Valor-p</b>	0,04	0,01	-				
<b>SST</b>	-0,60	0,47	-0,43	1			
<b>Valor-p</b>	0,40	0,53	0,57	-			
<b>SSF</b>	-0,67	0,57	-0,54	0,98*	1		
<b>Valor-p</b>	0,33	0,43	0,46	0,02	-		
<b>SSV</b>	-0,40	0,21	-0,17	0,93	0,85	1	
<b>Valor-p</b>	0,60	0,79	0,83	0,07	0,15	-	
<b>TRANSP</b>	0,86	-0,86	0,85	-0,77	-0,87	-0,50	1
<b>Valor-p</b>	0,14	0,14	0,15	0,23	0,13	0,50	-

Nota: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

SE: Solo exposto; VBAF: Vegetação com baixa atividade fotossintética; VAAF: Vegetação com alta atividade fotossintética; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; TRANSP: Transparência. Fonte: Da autora (2023).

A correlação entre sólidos suspensos totais (SST) e transparência foi de -0,77, que para Veiga *et al.* (2019) classifica como uma relação negativa e forte. Os sólidos suspensos totais estão inversamente relacionados à transparência da água, o mesmo ocorre com sólidos suspensos fixos (SSF) com -0,87, como uma relação negativa e muito forte. A correlação entre sólidos suspensos voláteis (SSV) e transparência deu -0,50, sendo classificado como uma relação negativa e moderada. Assim, quanto maior a transparência, menor a quantidade de sólidos na água. Os sólidos suspensos totais são a soma dos sólidos suspensos fixos (inorgânicos) e sólidos suspensos voláteis (orgânicos), de forma que a correlação faz sentido para o sistema da bacia hidrográfica reservatório Pereira de Miranda (BHPM), pois os sólidos suspensos fixos apresentaram maiores valores em todo o estudo, indicando que a maior parte dos sólidos vem de processos erosivos.

A correlação entre SST e SSF com a vegetação de alta atividade fotossintética foi negativa e moderada, com valores de -0,43 e de -0,54, respectivamente, indicando que quanto mais vegetação na área da bacia hidrográfica, menor a presença de SST e SSF na água do reservatório. A correlação entre transparência e a vegetação com alta atividade fotossintética (0,85) nesse estudo foi positiva e muito forte, de forma que quanto mais vegetação com folhagem na área da bacia hidrográfica, menor será o impacto das gotas de chuva e

consequentemente, menor será a desagregação de partículas de solo que é a principal fonte de SSF.

Ambos os resultados apontados anteriormente indicam a relação entre o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e a qualidade da água no reservatório Pereira de Miranda. De forma que esse resultado também está diretamente relacionado às funções da vegetação como elemento de descontinuidade de escoamento em bacias hidrográficas. Menezes *et al.* (2016) observaram que em bacia hidrográfica na região semiárida, as variações espaciais e temporais na qualidade da água estão associadas com diferentes fontes de contaminação ao longo da bacia.

Especificamente, no caso desse estudo, as correlações entre a vegetação da bacia hidrográfica e os parâmetros limnológicos, podem ser verdadeiras, porém sutis ou pequenas, que não são capturadas devido ao tamanho limitado da amostra analisada.

## 5 CONCLUSÃO

A maior concentração de sólidos suspensos, observados nos pontos P01, P02, P03, P04 e P05, coincidiram com períodos de ausência de precipitações pluviométricas, volume baixo do reservatório e condições climáticas que favoreceram a ressuspensão de sedimentos.

Em relação, a análise do NDVI na bacia hidrográfica do reservatório Pereira de Miranda (BHPM) mostrou que o primeiro semestre de 2023, apresentou a maior área para água, a qual está relacionada com alta pluviometria ( $685,8 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) e 24,27% do volume do reservatório. O solo exposto também predominou no primeiro semestre de 2023, possivelmente devido a eventos climáticos ou práticas agrícolas, visto que as variações sazonais marcaram a vegetação com baixa atividade fotossintética, atingindo picos no segundo semestre de 2021 e 2022, respectivamente.

Mudanças expressivas no NDVI no segundo semestre ligado à vegetação caatinga, classificada como caducifólia, revelam a resposta marcante das variações sazonais desse bioma ao processo de deciduidade foliar como uma estratégia de sobrevivência da vegetação frente falta de água característica do período seco, podendo assim mascarar a classe de solo exposto devido ao espectro acinzentado típico dessa vegetação sem sua folhagem.

Por fim, foram encontradas correlações estatisticamente significantes entre os dados limnológicos e as classes de NDVI em certas áreas. Especificamente, destacam-se as relações entre SST e SSF com vegetação de alta atividade fotossintética (correlação negativa e moderada); entre vegetação com alta atividade fotossintética e transparência (correlação positiva e muito forte); e entre os SST, SSF e SSV e transparência (correlação negativa de moderada a muito forte). Isso sugere que a saúde ou boa condição da vegetação em uma bacia hidrográfica tem um impacto significativo na qualidade da água do seu reservatório.

## REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Cursos d'Água**. 2012. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/5dd8982f-afe3-4bf0-88d1-73fd53bc196c> Acesso em: 01 ago. 2023.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. *In: ANDRADE, E. M et al. O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2010.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *et al.* **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st. ed. Washington, D.C: APHA-AWWA-WEF, 2005.
- ARANTES, A. E. Suscetibilidade à erosão laminar e linear da bacia hidrográfica do Rio Vermelho e a sua relação com o uso e cobertura da terra em 2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S/I], v.15, n. 06, p. 3032-3046, 2022.
- ASSIS, L. C. L. de; BUFFO, M. M.; SILVEIRA, A. Desenvolvimento de metodologia para correlação entre precipitação e a variação da concentração de sedimentos em suspensão no escoamento superficial urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S/I], v. 27, n. 2, p. 426-434, mar/abr, 2022.
- BAMBINI, M. D. *et al.* Geração de produtos agrometeorológicos a partir de imagens de satélite: o caso do sistema NAVPRO. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA*, 13., São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: USP, 2012. p. 2160-2173.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora Blucher, 2022.
- BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos**. São José dos Campos, SP: INPE, 2019.
- BERGAMIN FILHO, H. *et al.* **Espectrofotometria no ultravioleta e visível**. 2010. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4275863/mod\\_resource/content/1/Apostila-espectrofotometria.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4275863/mod_resource/content/1/Apostila-espectrofotometria.pdf) Acesso em: 15 jun. 2023.
- BRASIL. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 58, mar. 2005. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0357-170305.PDF> Acesso em: 01 jun. 2023.
- BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 470, jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm) Acesso em: 01 jun. 2023.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 1, jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm) Acesso em: 01 jun. 2023.

BRITO NETO, R. L. *et al.* Aplicação do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do Rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 191 – 213, jan/mar 2021.

CARDOSO, F. da S. *et al.* Análise do uso e ocupação da terra na bacia da lagoa do Peri, Florianópolis (SC). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 27, p. 201 – 213, set/2008.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S/l.], v. 1, n. 42, p. 140 – 161, 2020.

CASTRO, P. H. M. de; PEREIRA, A. C. de F.; BARROS, M. V. Modelos empíricos para inferência de componentes opticamente ativos em ambientes lóticos e semilóticos do Rio Tibagi/PR, aplicados às imagens Landsat 8/Oli. **RAEGA**. Curitiba, v. 43, Temático de Geotecnologias, p. 75 –92, fev/2018.

CEARÁ, Governo do Estado. **Lei nº 11.996, de 24.07.92**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/desenv-regional-recursos-hidricos-minas-e-pesca/item/1022-lei-n-11-996-de-24-07-92-d-o-de-29-07-92> Acesso em: 07 dez. 2023.

CEARÁ, Governo do Estado. **Lei nº 14.844, de 28.12.10**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/desenv-regional-recursos-hidricos-minas-e-pesca/item/379-lei-n-14-844-de-28-12-10-do-30-12-10> Acesso em: 01 jun. 2023.

CHAGAS, D. S. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003**. Anexo I. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Açudes monitorados**. 2022a. Disponível em: [http://i3geo.cogerh.com.br/i3geo/interface/black\\_gm.phtml](http://i3geo.cogerh.com.br/i3geo/interface/black_gm.phtml) Acesso em: 01 ago. 2023.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias hidrográficas**. 2022b. Disponível em: [http://i3geo.cogerh.com.br/i3geo/interface/black\\_gm.phtml](http://i3geo.cogerh.com.br/i3geo/interface/black_gm.phtml) Acesso em: 01 ago. 2023.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Comitês de**

**Bacias Hidrográficas.** 2022c. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/comites-de-bacias-hidrograficas/> Acesso em: 01 jun. 2023.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnóstico da região hidrográfica do Curu.** 2021. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Diagn%C3%B3stico-da-Regi%C3%A3o-Hidrogr%C3%A1fica-do-Curu.pdf> Acesso em: 15 jun. 2023.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Histórico.** 2023a. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/historico/> Acesso em: 01 jun. 2023.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Volume Armazenado – Reservatórios.** 2023b. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/> Acesso em: 15 ago. 2023.

COMITÊ GUANDU-RJ. **Monitoramento da qualidade da água do Rio Pirai à montante de Tócos, na região hidrográfica II – Guandu:** relatório consolidado – janeiro a dezembro de 2016. 2017. Disponível em: [http://sigaceivap.org.br/publicacoesArquivos/guandu/arq\\_pubMidia\\_Processo\\_070-2014\\_P4.pdf](http://sigaceivap.org.br/publicacoesArquivos/guandu/arq_pubMidia_Processo_070-2014_P4.pdf) Acesso em: 05 ago. 2023.

COSTA, C. A. G. *et al.* Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 41, n. 2, p. 222-230, abr-jun, 2010.

DAL OSTO, J. V. **Influência do uso da terra e precipitação pluviométrica em variáveis limnológicas da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada-RS.** 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

DNOCS – DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Barragem mantém projetos para desenvolvimento da região.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/barragem-mantem-projetos-para-desenvolvimento-da-regiao> Acesso em: 15 jun. 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Argissolos Vermelho-Amarelos.** 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos/argissolos-vermelho-amarelos> Acesso em: 20 jun. 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Dados climatológicos:** estação de Pentecoste. 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/425874/1/Ba016.pdf> Acesso em: 15 jun. 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

EOS DATA ANALYTICS. **NDVI:** índice de vegetação por diferença normalizada. 2023. Disponível em: <https://eos.com/pt/make-an-analysis/ndvi/> Acesso em: 15 nov. 2023.

FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M. O que realmente significa o valor-p? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, [S/l], v. 41, n. 5, p. 485-485, 2015.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Postos Pluviométricos**. 2023. Disponível em: [http://www.funceme.br/?page\\_id=2694](http://www.funceme.br/?page_id=2694) Acesso em: 02 jun. 2023.

GAIDA, W. *et al.* Correção atmosférica em sensoriamento remoto: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S/n], v. 13, n. 1, p. 229-248, 2020.

GUIMARÃES, T. M. H. **Interferência do uso e ocupação do solo na qualidade da água em bacia hidrográfica com disponibilidade hídrica crítica**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

HARRIS, D. A. **Química analítica quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html> Acesso em: 01 ago. 2023.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata**. 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> Acesso em: 10 ago. 2023.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal: Pentecoste**. 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Pentecoste\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Pentecoste_2017.pdf) Acesso em: 15 jun. 2023.

JAMOVI. **Jamivi Desktop**. 2023. Disponível em: <https://www.jamovi.org/download.html> Acesso em: 01 dez. 2023.

JENSEN, J. R.. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

LOLLO, J. A. de *et al.* Mudanças de uso e cobertura da terra e degradação ambiental em bacias hidrográficas *In: AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações*. Tupã: ANAP, 2018.

LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

LORENZZETTI, J. A.. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MAIA, A. R. S. *et al.* Precipitação pluviométrica na variabilidade espaço-temporal da CE e RAS em um reservatório da região semiárida. *In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., Fortaleza-CE, Anais [...]* Fortaleza-CE: INOVAGRI, 2014. p. 2456-2462.

MATHER, P. M.; KOCH, M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3rd. ed. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2004.

MENDONÇA, J. C. de. **Dinâmica de atributos limnológicos e uso de sensoriamento remoto para estimar as concentrações de clorofila-*a* em reservatório no semiárido**. 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S/l], v. 21, n. 3, p. 519-534, jul/set 2016.

MERTEN, G. H.; MENELLA, J. P.. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, v. 3, n. 4, out/dez 2002.

MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, [S/l], v. 17, n. 4, p. 275-279, out./dez., 2018.

MORAIS, R. C. de S. **Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (DFC) em bacias hidrográficas: aplicação na Bacia do Alto Gurguéia, Piauí (Brasil)**. 2018. 151 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MOURA FILHO, R. R de. **Uso e ocupação do solo nas margens e entorno do açude Pereira de Miranda, e suas consequências para o reservatório**. 2018. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V. de; LIMA, P. P. S. de. Análise temporal da degradação da Caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**. João Pessoa, v. 8, n. 1, p. 72-93, 2014.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

OLIVEIRA, C. M. de. Sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e as alternativas para o formato jurídico das agências de águas no Brasil. **Revista de Direito Ambiental**, vol. 46/2007, p. 41 – 62, abr - jun / 2007.

OLIVEIRA, E. N. de. **Geografia e sensoriamento remoto: volume único**. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2020. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/082022/22beecd5328def79e4448075bebc0b69.pdf> Acesso em: 15 jun. 2023.

OLIVEIRA, G. C. M. de; FREITAS, M. A. V. de. Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí-PA utilizando imagens Landsat-5 TM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 2015, João Pessoa-PB, **Anais [...]** João Pessoa: INPE, 2015. p. 771-776.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice da vegetação da diferença normalizada (NDVI) na sub-bacia hidrográfica do Rio Gurguéia, Piauí-Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. **Revista Georaguia**, Barra do Garças – MT, v. 10, n. 2, p. 126-143, dez. 2020.

OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z. *et al.* Importância do planejamento regional para a manutenção dos usos múltiplos da água em bacias hidrográficas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, [S/l], n. 52, p. 16 – 27, jun/2019.

PAIVA, L. V. Q. de; SOUZA, B. I. de. Potencial de captação de água da chuva em áreas urbanas do semiárido. **Revista de Geografia**, [S/l.], v. 38, n. 3, p. 440–460, 2021.

PINHEIRO, M. A. **Ilha de calor urbana no semiárido: um estudo de caso na cidade de Iguatu/Ceará**. 2022. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geografia - Ceres) – Centro de Ensino Superior do Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43 – 60, jan/2008.

PREIS, C. M.; FRANCO, D.; VARELA, S. C. Avaliação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Itajaí e simulação para 2027. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 407 - 414, 2021.

QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAÚJO, L. S. de. Sensoriamento remoto. *In*: TÔSTO, S. G. *et al.* **Geotecnologias e geoinformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. Barueri, SP: Manole, 2016.

SILVA, B. K. da N. *et al.* Avaliação de extremos de erosividade causados pela precipitação na bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S/l], v. 35, n. Especial, p. 871-879, 2020.

SILVA, E. de J. da; COELHO, F.; SILVA, W. P. da. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 12, n. 33, p. 121–130, 2017.

SILVA, I. R. da *et al.* Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do Ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora/MG. **Revista de Estudos Ambientais**, [S/l.], v. 22, n. 1, p. 35 – 51, dez/2020.

SILVA, M. H. da *et al.* Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio Formoso, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, [S/l], v. 23, n. 2, p. 355–368, 2009.

SOUSA, A. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados? 2019. **Correio dos Açores: Matemática**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.3/5365> Acesso em: 20 jun. 2023.

SOUSA, L. de B. de *et al.* Spatiotemporal analysis of rainfall and droughts in a semiarid basin of Brazil: land use and land cover dynamics. **Remote Sensing**, [S/l], v. 15, n. 2550, p. 1-25, 2023.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE.

**Delimitação do semiárido.** 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/projetos-e-iniciativas/delimitacao-do-semiarido> Acesso em: 01 ago. 2023.

TEODORO, V. L. I. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1997. USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer.** 2023. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 01 ago. 2023.

VAEZA, R. F. *et al.* Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente.** Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 23 – 29, jan/jun 2010.

VEIGA, L. dos S. da *et al.* Comprometimento organizacional no terceiro setor: o caso de uma organização tradicionalista gaúcha. **ReCAPE – Revista de Carreiras Pessoas**, [S/l], v. 9, n. 1, p. 63-83, jan./abr., 2019.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **International conference on water and the environment. international conference on water and the environment: development issues for the 21st Century** (26-31) January 1992, Dublin, Ireland.