

CAMILA ZENI DO AMARAL

ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO RELACIONADO
ÀS FRAGILIDADES AMBIENTAIS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO
DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO NORDESTE
PARANAENSE

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO - 2024

CAMILA ZENI DO AMARAL

ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO RELACIONADO
ÀS FRAGILIDADES AMBIENTAIS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO
DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO NORDESTE
PARANAENSE

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Doutora.

Orientador: Dra. Maritane Prior

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO - 2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Zeni do Amaral, Camila

ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO RELACIONADO ÀS FRAGILIDADES AMBIENTAIS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO NORDESTE PARANAENSE / Camila Zeni do Amaral; orientadora Maritane Prior. -- Cascavel, 2024.

70 p.

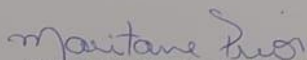
Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2024.

1. área de preservação permanente. 2. fragilidade ambiental. 3. empreendimentos hidrelétricos. 4. qualidade da água. I. Prior, Maritane, orient. II. Título.

CAMILA ZENI DO AMARAL

Índice de conformidade ao enquadramento relacionado às fragilidades ambientais
no entorno do reservatório de uma pequena central hidrelétrica no nordeste
paranaense

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do
título de Doutora em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração
Agroenergia, linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na
agroindústria e agricultura, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



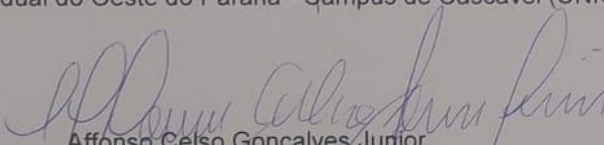
Orientadora - Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



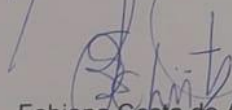
Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



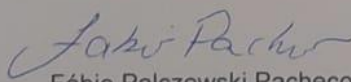
Affonso Celso Gonçalves Junior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Fabiana Costa de Araujo Schutz

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira (UTFPR)



Fábio Palczewski Pacheco

Instituto Federal do Paraná - Campus União da Vitória (IFPR)

Cascavel, 16 de agosto de 2024

“Tudo o que é seu encontrará uma maneira de chegar até você”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar sempre pelo melhor caminho, concedendo-me saúde, força, coragem, serenidade e discernimento para enfrentar os desafios que surgiram pelo caminho.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), por toda estrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, em especial aos professores Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior, Dr. Armin Feiden, Dr. Flavio Gurgacz, Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira e Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

Meus sinceros agradecimentos a minha orientadora, Dr^a. Maritane Prior, por ser essa pessoa ímpar. Muito obrigada pelo tempo e disposição, por todos os ensinamentos, pela parceria e por aceitar me orientar à distância. Mais uma vez reforço, que é um exemplo pessoal e profissional na qual me espelho.

A todos os professores que passaram pela minha vida, em especial Dr^a. Fabiana Costa de Araújo Schutz e Dr. Fábio Palczewski Pacheco, que me acompanham desde a graduação. É uma honra tê-los em minha trajetória.

Agradeço aos gestores que passaram pela minha trajetória profissional, que me possibilitaram cursar o doutorado conciliando com o trabalho, em especial Richard Molleken e Rodrigo Teixeira. Aos colegas e amigos, que de alguma forma me apoiaram e me deram suporte para que essa pesquisa fosse concluída: Felipe Diniz, Geraldo Vaz, Gilberto Silveira Jr, Julio Roncaratti e Mariana Carolina Silva.

Aos meus grandes amigos, Agleson Anacleto Balicki, Gabriela Parra, Leonardo Vigo Rocha, Roberta Sá, Tatiana Cruz e Tiago Sonsin Alfeo, por serem causa constante de alegria em minha vida.

Aos meus pais, Dirceu Custódio do Amaral e Cleusa Zeni do Amaral, por todo suporte, incentivo, conselhos, amor e carinho, pois são meu porto seguro. A minha irmã, Isabela Zeni do Amaral, pelo amor, amizade, risadas e bons momentos.

E por fim, ao meu companheiro, Julio Cezar Girardi, que sem dúvidas, é um dos grandes responsáveis pela conclusão desse projeto. Obrigada por ser quem é, além de meu parceiro de vida que me apoia, corre e sonha comigo, além de ser minha segurança, meu exemplo e meu maior incentivador.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).....	7
Figura 2 - Enquadramento do licenciamento para empreendimentos hidrelétricos...	12
Figura 3 - Localização da área de estudo.	25
Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	27
Figura 5 - Fragilidade indicada pela declividade ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.	34
Figura 6 - Fragilidade indicada pelos tipos de solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.	35
Figura 7 - Valores do NDVI ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR	36
Figura 8 - Fragilidade indicada pelo uso do solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR	37
Figura 9 - Fragilidade Emergente indicada ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR	38
Figura 10 - Simulação da APP ao entorno da PCH conforme o Novo Código Florestal.....	40
Figura 11 - Imagens aéreas com foco na APP da PCH.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos da Pequena Central Hidrelétrica.....	25
Tabela 2 - Categorias de Declividade	28
Tabela 3 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos da área de estudo	28
Tabela 4 - Categorias de uso do solo.....	29
Tabela 5 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos da área de estudo	30
Tabela 6 - Classes do índice de conformidade ao enquadramento	33
Tabela 7 - Medidas de classe e fragilidade de uso do solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.....	37
Tabela 8 - Medidas de classe para cada categoria de Fragilidade Emergente indicada ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.....	39
Tabela 9 - Resultados das análises no ano de 2022.....	44

AMARAL, Camila Zeni. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2024.
Índice de Conformidade ao Enquadramento relacionado às fragilidades ambientais no entorno do reservatório de uma Pequena Central Hidrelétrica no nordeste paranaense. Maritane Prior.

RESUMO

A energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas desempenha um papel fundamental na matriz energética brasileira. O aumento do consumo elétrico, impulsionado pelo desenvolvimento social, exige a ampliação da geração de energia para atender à crescente demanda e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Contudo, a implantação de novas unidades geradoras de energia hidrelétrica — sejam Centrais Geradoras Hidrelétricas, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) ou Usinas Hidrelétricas — pode gerar externalidades que impactam significativamente as comunidades locais e o meio ambiente. Diante disso, o presente estudo avaliou o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) como ferramenta para mensurar o distanciamento entre a qualidade da água e os padrões legais estabelecidos. A pesquisa analisou a relação entre alterações no uso do solo, fragilidades ambientais e a preservação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno do reservatório de uma PCH localizada no nordeste do estado do Paraná. Por meio de técnicas de geoprocessamento, foram avaliados dados de declividade, tipos e uso do solo, permitindo a identificação das fragilidades ambientais emergentes na área de estudo. Os resultados indicam que a região não apresenta pontos críticos de fragilidade ambiental, com 51,5% da área ocupada por uso florestal, abrangendo APPs e áreas destinadas ao cultivo de pinus e eucalipto. A análise demonstra que as APPs ao entorno do reservatório estão em conformidade com a Lei Federal nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal). O cálculo do ICE revelou que a qualidade da água, tanto a montante quanto a jusante do reservatório, é classificada como excelente, atendendo plenamente os limites legais para os parâmetros avaliados. As análises realizadas, que englobam fragilidades ambientais emergentes, avaliação das APPs e aplicação do ICE, demonstram que o entorno do reservatório da PCH apresenta alta conformidade ambiental. Além disso, evidenciam que as APPs desempenham um papel crucial na preservação da qualidade da água, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para o cumprimento das exigências legais.

PALAVRAS-CHAVE: área de preservação permanente; fragilidade ambiental; empreendimentos hidrelétricos; qualidade da água

AMARAL, Camila Zeni. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, July 2024.
**Index of Compliance with the Framework related to environmental fragilities
around the reservoir of a Small Hydroelectric Power Plant in the northeast of
Paraná State.** Maritane Prior.

ABSTRACT

Electricity generated by hydropower plants plays a crucial role in Brazil's energy matrix. The increasing electricity consumption, driven by social development, demands an expansion of energy generation to meet the growing demand and achieve the Sustainable Development Goals (SDGs). However, the implementation of new hydropower generation units — including Hydropower Plants, Small Hydropower Plants (SHPs), or Large Hydropower Plants — can generate externalities that significantly impact local communities and the environment. In this context, the present study evaluated the Conformity to Framework Index (ICE) as a tool to measure the gap between water quality and legally established standards. The research analyzed the relationship between land-use changes, environmental vulnerabilities, and the preservation of Permanent Preservation Areas (APPs) surrounding the reservoir of an SHP located in northeastern Paraná state. Using geoprocessing techniques, data on slope, soil types, and land use were assessed, enabling the identification of emerging environmental vulnerabilities in the study area. The results indicate that the region does not present critical environmental vulnerability points, with 51.5% of the area occupied by forest use, including APPs and areas designated for pine and eucalyptus plantations. The analysis shows that the APPs surrounding the reservoir comply with Federal Law No. 12,651/2012 (New Forest Code). The ICE calculation revealed that water quality, both upstream and downstream of the reservoir, is classified as excellent, fully meeting the legal limits for the evaluated parameters. The analyses, which encompass emerging environmental vulnerabilities, APP assessment, and ICE application, demonstrate that the area surrounding the SHP reservoir exhibits high environmental compliance. Furthermore, the findings highlight that APPs play a crucial role in preserving water quality, contributing to environmental sustainability and compliance with legal requirements..

KEYWORDS: permanent preservation area; environmental fragility; hydroelectric developments; water quality

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo geral	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótese	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Geotecnologias como suporte ao planejamento ambiental e ao gerenciamento de energia.....	3
2.2 Fontes renováveis de energia.....	6
2.2.1 Energia hidráulica	8
2.3 Licenciamento ambiental de empreendimento hidrelétricos	9
2.3.1 Condicionantes de licenças ambientais para empreendimentos hidrelétricos.....	13
2.4 Gestão ambiental em empreendimentos hidrelétricos	19
2.5 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) como ferramenta de análise ambiental	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Área de estudo	23
3.2 Geotecnologias empregadas	26
3.2.1 Mapa de declividade.....	27
3.2.2 Mapa de Tipos de Solo.....	28
3.2.3 Elaboração de mapas de uso do solo	28
3.2.4 Fragilidade Ambiental	30
3.2.5 Avaliação e enquadramento da Área de Preservação Permanente (APP)	30
3.2.6 Índice de Conformidade ao Enquadramento	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

As fragilidades ambientais emergem como um tema central nos estudos voltados para a gestão e conservação dos recursos naturais, especialmente em cenários onde a pressão antrópica compromete a sustentabilidade ambiental. Em ambientes aquáticos, como os reservatórios de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), os impactos causados pelo desmatamento, mudanças no uso do solo e intervenções humanas nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) podem agravar a vulnerabilidade dos ecossistemas, comprometendo serviços ambientais essenciais, como a qualidade da água e a regulação climática (SILVA; CAPOANE, 2024).

A legislação ambiental brasileira, particularmente o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), estabelece a preservação das APPs como uma estratégia fundamental para a proteção de corpos hídricos. No entanto, o descompasso entre o uso e a preservação do território reflete-se diretamente na degradação da qualidade da água, uma variável crítica em reservatórios destinados à geração de energia e ao abastecimento de populações (GOMES E SILVA; CASAGRANDE, 2024).

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) surge como uma ferramenta importante para avaliar o alinhamento entre as condições ambientais observadas em uma área e os padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Esse índice não apenas quantifica o grau de cumprimento das normas legais, mas também oferece uma base objetiva para monitorar o impacto do uso do solo na qualidade da água (HINATA et al, 2023).

Buscando a minimização dos impactos ambientais ocasionados pelas barragens, são realizados projetos de gestão ambiental, que levam em consideração os impactos passíveis de serem gerados desde o início da implantação da geradora de energia e consideram em seu planejamento os planos de ações para prevenção, mitigação e compensação desses impactos (SILVA et al, 2023).

No que tange a temática apresentada quanto à gestão ambiental de empreendimentos hidrelétricos, o presente estudo visa avaliar o distanciamento entre a qualidade da água e a meta estabelecida pelo enquadramento legal mediante ao Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), relacionando o uso do solo, às fragilidades ambientais e área de preservação permanente ao entorno do reservatório de uma PCH localizada no nordeste do estado do Paraná.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o Índice de Conformidade ao Enquadramento da qualidade da água relacionada às fragilidades ambientais e papel da Área de Preservação Permanente ao entorno do reservatório de uma Pequena Central Hidrelétrica no nordeste do estado do Paraná.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a fragilidade ambiental emergente ao entorno da Pequena Central Hidrelétrica;
- Propor atividades mitigadores para as principais fragilidades observadas;
- Avaliar o atendimento das faixas de APP de acordo com o Novo Código Florestal e;
- Avaliar a qualidade da água a montante e jusante do reservatório através do ICE.

1.3 Hipótese

Esta pesquisa explora sobre a manutenção da Áreas de Preservação Permanente (APP) ao entorno do reservatório de uma Pequena Central Hidrelétrica, que desempenha um papel crucial na mitigação da fragilidade ambiental emergente. Essa pesquisa parte do pressuposto de que a preservação da vegetação ciliar contribui significativamente para a qualidade dos corpos hídricos, controlando os processos erosivos, assoreamento dos rios e limitando os contaminantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geotecnologias como suporte ao planejamento ambiental e ao gerenciamento de energia

As geotecnologias abrangem um conjunto de técnicas destinadas à coleta de informações espaciais, bem como ao seu armazenamento, tratamento e análise, além de fornecerem meios para sua utilização integrada (ROSA, 2011). Dessa forma, elas fornecem ferramentas essenciais para a gestão de recursos, permitindo a sistematização, análise e representação de dados que possibilitam a avaliação de um determinado espaço territorial de interesse do pesquisador (WRUBLACK, 2016).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) representa uma poderosa união de ferramentas destinadas à transformação, armazenamento, recuperação e visualização de dados espaciais referenciados, sendo uma das mais abrangentes tecnologias de geoprocessamento disponíveis atualmente (FLORENZANO, 2011).

Combinando as técnicas de topografia, fotogrametria, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, entre outras, o SIG desempenha um papel integrador e versátil. Sua aplicação na geração de produtos cartográficos possibilita a realização de operações com grandes volumes de dados, permitindo a análise de diversas variáveis relevantes para projetos com componentes geográficos (VALLE et al., 2016).

Desse modo, a utilização de geotecnologias possibilita a realização de levantamentos através de técnicas de modelagem e sensoriamento remoto. Ao tratar os dados e estimar o potencial de geração em diferentes regiões de uma área específica, torna-se possível identificar as localidades mais promissoras para conduzir estudos mais detalhados. Com o auxílio de filtros criteriosos, é possível definir previamente as áreas mais propícias para a implantação de unidades geradoras com maior precisão (WEGNER, 2018).

A gestão do território requer a utilização de múltiplas fontes de dados e o tratamento com softwares especializados. Nesse sentido, SIGs fornecem ferramentas que facilitam a realização de atividades complexas, permitindo a integração de dados em diferentes escalas e naturezas de forma mais acessível e eficiente (VALLE et al., 2016).

Na abordagem contemporânea de gestão do território, qualquer iniciativa de

planejamento, organização ou monitoramento do espaço deve abarcar uma análise dos diversos componentes do ambiente, tais como o meio físico-biótico, a ocupação humana e suas interações (MEDEIROS et al., 2017).

O geoprocessamento, além de minimizar a subjetividade nos procedimentos de análise, aprimora a integração das informações do meio natural, permitindo a realização de uma análise abrangente e detalhada da paisagem, tanto qualitativa quanto quantitativamente (AQUINO et al., 2013).

Assim, é possível inferir que as técnicas de análise espacial, surgidas com o advento do geoprocessamento, foram concebidas para simplificar a integração e representação espacial dos dados, especialmente quando provenientes de diversas fontes, tipos e formatos distintos (RIBEIRO, 2019).

O geoprocessamento possibilita análise de cobertura do solo para identificação e delimitação de regiões prioritárias para manutenção e, quando for o caso, recuperação da vegetação nativa, auxiliando no planejamento e gestão ambiental da região (JOSÉ et al., 2022). Prova disso é o órgão ambiental do estado do Paraná, que disponibilizou uma ferramenta online com mapeamento de uso e cobertura da terra, com a finalidade de facilitar ao acesso aos dados florestais do estado que são monitoradas pelo IAT (IAT, 2023).

O mapeamento do uso e cobertura da terra tem experimentado avanços significativos nas últimas décadas, tornando-se uma ferramenta fundamental para o planejamento e gestão territorial. Esses avanços foram impulsionados pela integração, em ambientes de SIG, de produtos obtidos por sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento (SANTOS, 2023).

Como exemplo, o trabalho desenvolvido por Serrão (2022) que fez uso de geotecnologias para levantar os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra na produção hidrelétrica na Amazônia Oriental.

Ainda quanto a análises espaciais, Silva & Paula (2022) analisaram as fragilidades ambientais na Área de Influência Direta (AID) de usina hidrelétrica no estado de Goiás.

Santos (2023) avaliou o projeto de recuperação de APP de uma PCH, por meio do estudo de uso e ocupação do solo mediante utilização de técnicas de geoprocessamento, e Santos (2022) realizou avaliação da APP no entorno de Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) no estado do Rio Grande do Sul.

Weber et al. (2003) enfatizam a combinação do geoprocessamento com a

geração de energia, destacando as vantagens em termos de eficiência e qualidade dos resultados. Essa abordagem possibilita a realização de avaliações complexas abrangendo extensas áreas territoriais. Além disso, apontam para a potencial integração de informações de bancos de dados convencionais com dados georreferenciados, resultando em análises de alto valor para otimizar a alocação de recursos financeiros e embasar a seleção de alternativas mais adequadas sob o ponto de vista técnico e econômico.

Outro exemplo de aplicabilidade do geoprocessamento na gestão de energia é o trabalho de Collaço e Bermann (2017), onde foram apresentadas estratégias para o planejamento energético municipal com foco na descentralização, buscando eficiência e conservação da energia limpa.

A aplicação dos SIGs foi fundamental para consolidar a avaliação e análise do potencial hidrelétrico em pequenos riachos, demonstrando sua utilidade no desenvolvimento de diversas tecnologias e métodos para o cálculo do potencial de energia elétrica (BAYAZIT et al., 2017).

Por sua vez, Wegner et al. (2018) conduziram uma estimativa do potencial hídrico em diferentes segmentos da Bacia do Paraná 3 (BP3) com o objetivo de analisar a viabilidade da instalação de unidades geradoras de energia, levando em consideração as restrições ambientais que possam limitar sua implantação.

Cruz (2018) desenvolveu um modelo de vazão-velocidade para estimar a velocidade média diária em seções de rios usando dados de vazão, visando analisar o potencial hidrocínético das maiores bacias hidrográficas do Brasil. O estudo utilizou a maior e a menor vazão da série histórica e constatou que o rio Amazonas apresenta potencial hidrocínético viável durante todo o ano, enquanto as bacias do São Francisco e do Paraná têm potencial para instalação de turbinas hidrocínéticas apenas nos períodos de maiores vazões.

Esses exemplos de estudos destacam a ampla aplicabilidade das metodologias que envolvem geotecnologias na área energética. Em estudos de potencial hidrocínético, o levantamento in situ pode ser oneroso e pouco prático. No entanto, as ferramentas de geoprocessamento, como a geração de bancos de dados geográficos para grandes áreas, possibilitam uma estimativa mais abrangente dos potenciais (LEITE & BRITO, 2012).

Desse modo, as geotecnologias possibilitam o levantamento do potencial hidrocínético ao integrar estimativas de vazões, por meio de diversos métodos que

relacionam variáveis e funções para estimativa, com informações adicionais que atuam como restrições para a implantação de empreendimentos (GASQUES et al., 2018).

O uso das geotecnologias também viabiliza o desenvolvimento de ferramentas para modelagem e sensoriamento remoto, tornando o tratamento dos dados e a estimativa do potencial de geração de energia mais ágil e prático. Além disso, essa abordagem reduz custos e apoia a tomada de decisões por técnicos especializados (WRUBLACK, 2016).

Para Teodoro (2012), na área ambiental, o geoprocessamento é uma das ferramentas mais utilizadas para monitoramento, por exemplo, da cobertura vegetal, uso do solo, níveis de erosão, poluição da água, poluição do ar, disposição inadequada de resíduos, entre outras situações.

2.2 Fontes renováveis de energia

Com a crescente preocupação da população com o meio ambiente e a busca por geração de energia de menor impacto ambiental, a utilização de fontes de energia renováveis está em ascensão. A utilização de sistemas de energia solar, biomassa e eólico tende a se tornar cada vez mais comum (SILVA et al., 2020).

O incentivo à implantação de recursos renováveis de energia decorre de sua capacidade de regeneração, o que os classifica como inesgotáveis. Além disso, eles contribuem para a redução do impacto ambiental, uma vez que possuem características sustentáveis e são fontes limpas, emitindo uma quantidade menor de gases poluentes em comparação aos combustíveis fósseis, o que não afeta negativamente a composição atmosférica do Planeta. Adicionalmente, esses recursos evitam o uso de matéria-prima não renovável, que é comumente empregada em outras fontes de energia (SANTANA et al., 2020).

O fornecimento de energia assume importância crescente, seja devido às exigências do mundo moderno ou à sua interdependência com fatores que envolvem a segurança energética, a melhoria das condições de vida, o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental (FARIAS et al., 2021).

O uso de energias alternativas, que causam menores impactos sociais e ambientais, exerce uma influência significativa na redução da sobrecarga energética no Brasil, ao mesmo tempo em que contribui para mitigar as desigualdades na

distribuição de energia em todas as regiões do país (FÁVERO et al., 2019).

Em relação às fontes não renováveis, é importante destacar que elas não possuem a capacidade de se renovar, uma vez que estão naturalmente limitadas. Seu uso desenfreado pode acarretar consequências socioeconômicas e ambientais irreversíveis (GOMES & SILVA, 2020).

No que tange às fontes renováveis, definem-se por possuir capacidade de se renovar e estão abundantemente disponíveis na natureza. Entre essas fontes, podemos destacar a energia eólica, solar e hídrica (GOMES & SILVA, 2020).

No ano de 2023, a repartição da oferta interna de energia renovável no Brasil, oriundo de energia hidráulica consolidou-se em 12,1%, ficando atrás apenas da energia oriunda da biomassa de cana com 16,9% (EPE, 2024).

Conforme ilustrado na Figura 1 a seguir, verifica-se o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética no Brasil, no ano de 2023. Esse aumento se deve ao fato do aumento da oferta interna de biomassa, eólica e solar. A energia hidráulica manteve-se estável associado ao regime hídrico favorável.

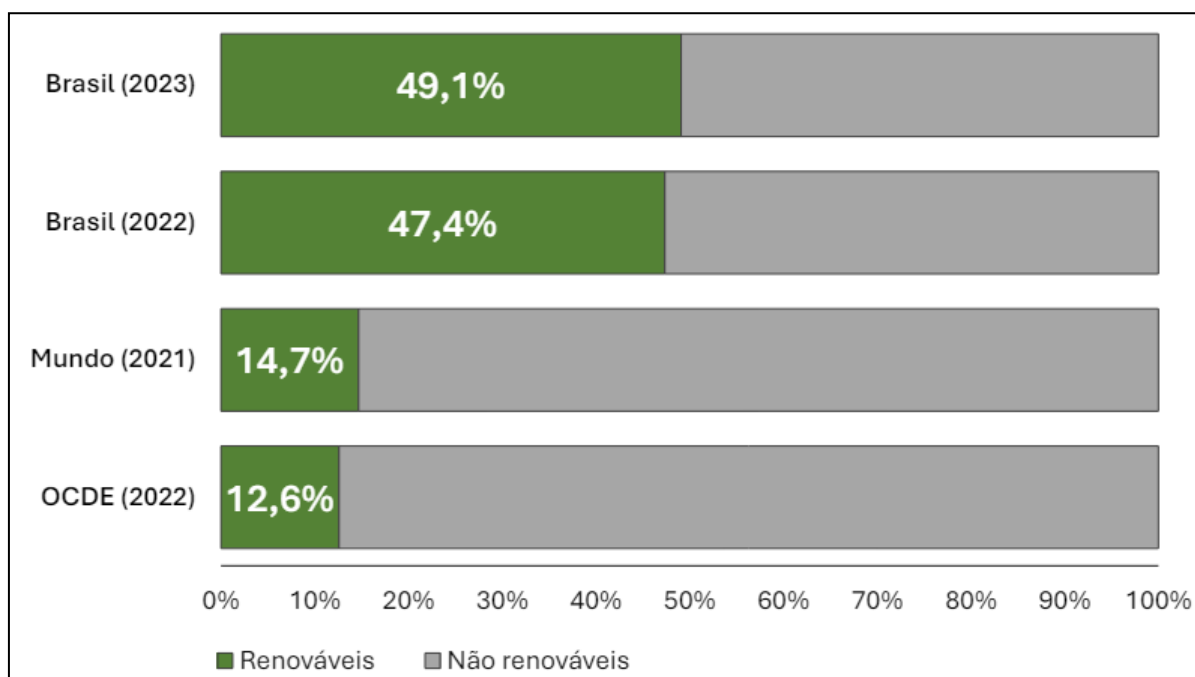


Figura 1 - Participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).
Fonte: EPE, 2024

2.2.1 Energia hidráulica

Hidrelétrica é um conjunto de obras e de equipamentos voltados à geração de energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico (ANA, 2022).

Considerada uma fonte renovável, o uso predominante da energia proveniente de hidrelétricas está sujeito a desafios relacionados às condições climáticas e à finitude dos recursos. Isso aponta para a necessidade de uma reestruturação da matriz elétrica brasileira, visando buscar um modelo sustentável que promova o desenvolvimento de energias alternativas baseadas em outras fontes renováveis (SCHULTZ, et al., 2022).

A forma mais convencional de obter eletricidade a partir da energia hídrica é por meio da construção de barragens, que aproveitam a energia potencial das águas dos rios (REBOLLAR, 2011).

O Brasil é um dos países com maior potencial hidrelétrico e isso contribui para que grande parte da energia gerada para fornecimento do país, seja através das usinas hidrelétricas (BRITO et al., 2022).

No ano de 2022, o Brasil concentrou 162 operações de usinas hidrelétricas, entre elas estão as centrais de geração e as pequenas usinas (ANEEL, 2022).

O país possui até hoje uma capacidade expressiva de expansão da matriz energética oriunda de hidrelétricas. A região amazônica e as bacias dos rios Paraná e Uruguai são destaques nesta possibilidade de expansão e também são regiões com destaque para importância ambiental e para biodiversidade (LOPES et al., 2022).

A energia hídrica é vista como uma forma de reduzir os gases do efeito estufa, como a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera, o que a torna uma boa opção de energia sustentável (SCHULTZ, et al., 2022).

Em contrapartida, as construções de barragens hidrelétricas geram outros impactos ambientais, como escassez hídrica, perda de biodiversidade, extinção de espécies, desmatamento e deslocamento da população.

Por outro lado, as usinas hidrelétricas representam baixo custo de manutenção e geração, geram quantidade expressiva de energia e eficiência, e ainda que, haja incertezas quanto à disponibilidade de água suficiente para geração de energia, considera-se uma fonte renovável e inesgotável.

No estudo conduzido por Silva et al. (2022), evidencia-se o alto valor

econômico e social das hidrelétricas brasileiras. Enquanto no estudo desenvolvido por Ananias (2022), destacou-se o fornecimento de grande capacidade de armazenamento, o suporte à penetração de energias renováveis variáveis no sistema, a redução da necessidade de usinas térmicas; a possibilidade de usos múltiplos dos reservatórios, e o maior tempo de vida e menor custo, como principais oportunidades na implantação de usinas hidrelétricas.

Com o intuito de determinar a viabilidade da construção de uma usina, um estudo é conduzido, começando pelo inventário das bacias hidrográficas. Nesse processo, são investigados os locais mais adequados para a instalação das usinas, buscando otimizar o aproveitamento da bacia em termos energéticos, econômicos e socioambientais. Uma vez que os estudos de viabilidade são aprovados, procede-se com o licenciamento ambiental da usina (WINEMILLER et al., 2016).

2.3 Licenciamento ambiental de empreendimento hidrelétricos

As atividades, obras e empreendimentos que possam causar poluição ou degradação ambiental são submetidos ao processo de licenciamento ambiental. São identificados e avaliados os impactos ambientais, o que implica na análise de sua viabilidade ambiental, locacional e tecnológica. O objetivo principal do processo é garantir a compatibilidade entre o desenvolvimento da atividade econômica e a proteção do meio ambiente, conforme estabelecido na Lei Federal nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). O licenciamento ambiental visa determinar a implementação de medidas de mitigação e compensação adequadas (ISHIZAKI, 2020).

O licenciamento ambiental possibilita a avaliação de todas as atividades com potencial de poluição ou degradação ambiental. Quando necessário, tais atividades são sujeitas a condições que exigem a adoção de medidas mitigadoras ou compensatórias. Esse processo representa um instrumento que antecipa a identificação, avaliação, mitigação e compensação dos impactos climáticos, promovendo, em última instância, o desenvolvimento de atividades de baixo carbono e sua adaptação frente ao cenário emergencial (MOREIRA, 2021).

Ainda de acordo com o mesmo autor, o licenciamento se apresenta como um instrumento jurídico capaz de desempenhar um papel significativo na internalização das externalidades negativas provenientes da atividade econômica,

como os impactos climáticos. Nesse sentido, o licenciamento é essencial como o principal meio de controle prévio das ações que possam gerar impactos socioambientais negativos, incluindo aqueles relacionados ao clima

O processo desempenha um papel fundamental na efetividade da política climática, pois garante a compensação e mitigação dos impactos climáticos causados por atividades, obras e empreendimentos com potencial de poluição ou degradação do meio ambiente (GAIO, 2021).

Segundo a Resolução CONAMA nº 237/97, o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente autoriza a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos relacionados a atividades que utilizam recursos ambientais é conhecido como licenciamento ambiental. Esse licenciamento é aplicado a atividades que são consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como aquelas que possam causar qualquer forma de degradação ambiental. Nesse processo, são levadas em consideração as disposições legais, regulamentares e normas técnicas aplicáveis ao caso em questão.

No estado do Paraná, a Resolução CEMA nº 107/2020, aborda o licenciamento ambiental e estabelece critérios e procedimentos para atividades que possam poluir, degradar ou modificar o meio ambiente. Além disso, adota outras medidas com o propósito de fomentar o desenvolvimento sustentável no Estado do Paraná, seguindo as exigências técnicas e jurídicas pertinentes ao licenciamento ambiental.

As principais modalidades de licenciamento são (IAT, 2023b):

- Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual (DLAE): Concedida para os empreendimentos que são dispensados do licenciamento por parte do órgão ambiental estadual, conforme os critérios estabelecidos em resoluções específicas.
- Licença Ambiental por Adesão e Compromisso (LAC): Autoriza a instalação e a operação de atividade ou empreendimento, de pequeno potencial de impacto ambiental, mediante declaração de adesão e compromisso do empreendedor aos critérios, pré-condições, requisitos e condicionantes ambientais estabelecidos pela autoridade licenciadora, desde que se conheçam previamente os impactos ambientais da atividade ou empreendimento, as características ambientais da área de implantação e as condições de sua instalação e operação.
- Licença Ambiental Simplificada (LAS): Aprova a localização e a

concepção do empreendimento, atividade ou obra de pequeno porte e/ou que possua baixo potencial poluidor/degradador, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos, bem como autoriza sua instalação e operação de acordo com as especificações constantes dos requerimentos, planos, programas e/ou projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes determinadas pelo órgão ambiental competente.

- **Licença Prévia (LP):** Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.

- **Licença de Instalação (LI):** Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambientais e demais condicionantes, da qual constituem motivos determinantes.

- **Licença de Operação (LO):** Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambientais e condicionantes determinados para a operação.

Especificamente para os empreendimentos hidrelétricos a tipologia de cada atividade segue da seguinte forma (IAT, 2023a):

1) Microcentral Hidrelétrica (MCH): unidade geradora de energia elétrica a partir de potencial hidráulico com potência instalada igual ou inferior a 75 kW (setenta e cinco quilowatts).

2) Minigeradora Hidrelétrica (MGH): unidade geradora de energia elétrica a partir de potencial hidráulico cuja potência instalada seja superior a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e até 500 kW (quinhentos quilowatts).

3) Central Geradora Hidrelétrica (CGH): unidade geradora de energia elétrica a partir de potencial hidráulico cuja potência instalada seja superior a 500 kW (quinhentos quilowatts) e de até 5 MW (cinco megawatts).

4) Pequena Central Hidrelétrica (PCH): os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características:

- Potência instalada superior a 5 MW (cinco megawatts) e igual ou inferior a 30 MW (trinta megawatts); e

- Área de reservatório de até 3 km² (três quilômetros quadrados), excluindo a calha do leito regular do rio.

5) Usina Hidrelétrica (UHE): é toda usina hidrelétrica cuja capacidade instalada seja superior a 30 MW (trinta megawatts), ou que possua reservatório maior que 3 km² (300 ha) ou assim definidas pela ANEEL.

O enquadramento do licenciamento ambiental para cada porte de empreendimento, pode ser verificado na Figura 2, a seguir:

TIPO	MCH	MGH	CGH		PCH		UHE
POTÊNCIA (MW)	0 até 0,075	>0,075 até 0,5	>0,50 até 1	>1 até 5	>5 até 10	>10 até 30	>30
ALAGAMENTO (ha)	0	0 até 0,5	0,5 a 5	5 a 50	>50 até 100	>100	>300
MODALIDADE DA LICENÇA	DIAE	LAC	LAS	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO
ESTUDO	Cadastro	PCA	PCA	RAS	RAS	EIA	EIA

Figura 2 - Enquadramento do licenciamento para empreendimentos hidrelétricos
Fonte: Adaptado IAT, 2023a

Com o empreendimento em fase de operação, periodicamente são realizados monitoramentos nas áreas de CGHs e/ou PCHs, as condições ambientais atuais são analisadas após a construção do empreendimento, os impactos gerados podem ser verificados e, quando necessário, são encontradas medidas para solucionar os problemas que possam vir a ocorrer (CORDOVA, 2016).

Mediante a instalação e operação de empreendimentos hidrelétricos as alterações ambientais vão além da simples alteração da paisagem, pois afetam o ambiente como um todo, resultando em mudanças hidrodinâmicas e nos parâmetros físicos e químicos da água, como temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, velocidade de corrente e taxas de sedimentação. Além disso, essas alterações têm impacto na emissão de gases relacionados ao efeito estufa, com destaque para o metano, que é produzido pela decomposição da vegetação submersa nos reservatórios (ROGERIO, 2016).

A relação entre a construção de barragens e as consequências de seus danos ambientais é diretamente proporcional. Isso significa que quanto maior for a dimensão da construção, maiores serão os impactos causados à biodiversidade e ao ecossistema (ZANIBONI-FILHO et al., 2017).

Todos os elementos presentes no espaço são interdependentes,

influenciando-se mutuamente através de trocas de energia e matéria. Ao realizar um recorte no espaço, é possível realizar uma análise mais aprofundada dessas interações em um contexto específico (BIRRO, 2019).

Mediante a utilização de técnicas de geoprocessamento, é possibilitado maior agilidade, flexibilidade e segurança em atividades de planejamento e monitoramento em espaços geográficos (SILVA et al., 2022). Por esse motivo, vem sendo altamente difundidos estudos de avaliação temporal em áreas de reservatórios de empreendimentos hidrelétricos.

Exemplo disso é a avaliação espaço-temporal dos efeitos da inundação de habitats sobre a diversidade taxonômica em hidrelétrica na Amazônia (DAYREL, 2022); dinâmica espaço-temporal da qualidade das águas superficiais em reservatórios de usinas hidrelétricas no Brasil (COSTA et al., 2022); análise espaço-temporal da ictiofauna em reservatório de usina hidrelétrica do estado de Santa Catarina (ARANHA, 2022); e avaliação espaço-temporal e caracterização espectral das águas de um reservatório no cerrado brasileiro (GOMES et al., 2022).

2.3.1 Condicionantes de licenças ambientais para empreendimentos hidrelétricos

As condicionantes do licenciamento ambiental são cláusulas que estabelecem condições, restrições, medidas administrativas e ambientais que deverão ser observadas pelo empreendedor para o gerenciamento dos impactos ambientais decorrentes da instalação e operação de empreendimentos e atividades objeto do licenciamento (IBAMA, 2023).

As condicionantes das licenças ambientais para empreendimentos hidrelétricos possuem, em geral, algumas temáticas específicas (IAT, 2023):

- **Estudos Ambientais** – nas condicionantes dos licenciamentos ambientais, geralmente são estabelecidos o mantimento, execução, atualização e/ou cumprimento das ações inseridas nos estudos apresentados.

Exemplos de estudos ambientais:

- Plano de Controle Ambiental (PCA): tem como conteúdo básico geral, a caracterização do empreendimento, diagnóstico ambiental das áreas de influência direta e indireta, caracterização dos impactos ambientais gerados, descrição das medidas mitigadoras e compensatórias aos impactos

ambientais gerados pelo empreendimento e a relação da equipe técnica responsável pelo plano (Licença de Instalação).

- Relatório Ambiental Simplificado (RAS): Estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação e operação de novos empreendimentos habitacionais, incluindo as atividades de infraestrutura, de saneamento básico, viária e energia, apresentados como subsídio para a concessão da licença requerida, que conterá, dentre outras, as informações relativas ao diagnóstico ambiental da região de inserção do empreendimento, sua caracterização, a identificação dos impactos ambientais e das medidas de controle, de mitigação e de compensação, devendo ser elaborado por equipe técnica multidisciplinar (Licença Prévia).

- Estudo de Impacto Ambiental (EIA): estudo ambiental de atividade ou empreendimento, utilizador de recursos ambientais, efetivo ou potencialmente causador de significativa poluição ou outra forma de significativa degradação do meio ambiente. É realizado previamente para a análise da viabilidade ambiental, devendo, obrigatoriamente, ser sucedida de Audiência Pública (Licença Prévia).

- Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios Artificiais (PACUERA): busca assegurar a otimização dos benefícios sociais e a proteção ambiental do reservatório e seu entorno, tendo em vista as condições normais de geração de energia elétrica, através do estabelecimento de diretrizes para o zoneamento ambiental dos usos das águas e ocupações do entorno do seu reservatório.

- **Página na Internet** – os empreendimentos hidrelétricos devem manter atualizadas página na internet com as informações do empreendimento, tais como, relatórios, estudos, licenças ambientais etc., responsabilizando-se em manter atualizadas as informações e disponíveis para o acesso público.

- **Segurança de Barragens** – a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) regida pela Lei Federal nº 12.334/2010 define barragem como qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas.

Os fundamentos estabelecidos pelo artigo 4º da referida lei está “a

responsabilidade legal do empreendedor pela segurança da barragem, pelos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento e, independentemente da existência de culpa, pela reparação desses danos”.

Conforme estabelece a Portaria 46/2018 do Instituto das Águas do Paraná, todos os empreendedores devem solicitar e atender a todos os requisitos necessários para regularização e obtenção de outorga de uso de recursos hídricos e outorga do barramento.

O IAT (2023) estabelece ainda, boas práticas para segurança e conservação de barragens:

- Tenha sempre regularizada toda sua documentação;
- Manter sempre atualizado o Plano de Ação de Emergência (PAE) da sua barragem;
- Não deve haver vegetação de médio ou grande porte (árvores, arbustos, etc.) na barragem, seja nos taludes, na crista ou num raio de 10m do pé da barragem;
- As áreas de taludes e de crista, devem ser revestidas (grama, brita, concreto) para evitar deslizamentos, modificações e/ou erosões;
- A crista da barragem deve contar com sistema de drenagem para que não haja futuras infiltrações;
- Mantenha constantemente o vertedouro desobstruído, removendo galhos, folhas e outros objetos que venham a interromper o escoamento da água;
- Atentar para trincas, buracos, afundamentos e erosões, pois podem ser sinais de problemas na estrutura da barragem;
- A presença de plantas aquáticas pode comprometer a qualidade da água e a vazão do vertedouro, portanto, é melhor retirá-las;
- A presença de formigueiros ou tocas de animais também podem representar um risco para a estrutura da barragem;
- Tenha medidores de vazão e réguas de controle de nível para acompanhamento das variações de volume do reservatório

- **Potência** – é citado em condicionante a potência licenciada para o empreendimento hidrelétrico.

- **Renovação da Licença Ambiental** – nas condicionantes das licenças

ambientais, estabelece-se que a renovação das licenças deve ser requerida com antecedência mínima de 120 dias da expiração de seu prazo de validade, ficando o prazo de validade automaticamente prorrogado até manifestação do órgão fiscalizador.

- **Vazão Sanitária** – define-se em condicionante a vazão mínima que deve ser mantida no trecho de desvio de empreendimentos hidrelétricos. Essa vazão visa manter as condições mínimas necessárias para sobrevivência da fauna e flora no trecho de desvio, que é compreendido entre a barragem e o canal de fuga central, onde a vazão turbinada é devolvida ao leito natural do rio.

- **Áreas de Preservação Permanentes (APPs)** – O Novo Código Florestal, regido pela Lei nº 12.651/2012, define a APP como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

O Novo código Florestal estabelece a obrigação de os reservatórios d'água artificial destinados a geração de energia ou abastecimento público implementarem APPs em faixa mínima de 30 metros e máxima de 100 metros quando em área rural.

Em reservatórios ou barragens destinadas ao abastecimento público e à geração de energia elétrica, as APP também são definidas no ato do licenciamento ambiental.

- **Qualidade da Água** – As principais atividades antrópicas que promovem a degradação da qualidade das águas são: o lançamento de cargas poluentes nos corpos hídricos; modificações no uso do solo e mudanças nos sistemas fluviais (LOPES, 2019).

A exemplo de atividades que modificam as condições naturais das águas, tem-se a construção de reservatórios artificiais, que apesar de objetivar a promoção do bem-estar social também produzem efeitos negativos. Estes alteram o fluxo das águas e o seu tempo de residência, interrompem as rotas migratórias de peixes, provocando assim diversas alterações nas propriedades limnológicas da água represada bem como a jusante dela (COURA, 2020).

Considerando os potenciais impactos negativos que a implantação desse tipo de empreendimento pode gerar para os corpos d'água, torna-se necessário realizar o monitoramento periódico e adequado da qualidade das águas no local e

na região de abrangência das atividades, a montante e a jusante (COURA, 2020).

Nesse sentido, o monitoramento da qualidade das águas é parte integrante das condicionantes presentes nas licenças ambientais desta modalidade de empreendimento. O principal objetivo do monitoramento é a avaliação do ecossistema, sendo os dados convertidos em relatórios técnicos e encaminhados ao órgão ambiental competente (TRINDADE et al., 2017).

O aproveitamento dos recursos hídricos para a produção de energia requer a criação de barragens e reservatórios artificiais, os quais possuem uma significativa capacidade de armazenamento. Essa infraestrutura proporciona a flexibilidade essencial para suprir a demanda energética e viabilizar múltiplos usos (TUNDISI, 2018).

Compreendendo a relevância dos reservatórios para a sociedade, dada sua diversidade de usos, é importante reconhecer que sua construção acarreta diversos impactos socioambientais. Estes incluem a alteração da estrutura da comunidade aquática (Li et al., 2019), mudanças no regime fluvial e na qualidade da água (XIN et al., 2015), perda de patrimônio genético da fauna e flora (DODDS; WHILES, 2020) e modificações na hidrodinâmica do transporte de sedimentos (LI et al., 2019; MEBARKIA; BOUFEKANE, 2020).

O Instituto Água e Terra (IAT) participa do Programa Nacional de Qualidade da Água (PNQA) que tem a Agência Nacional de Águas (ANA) como instituição coordenadora e executora das atividades de âmbito nacional.

O PNQA está estruturado em 4 componentes, organizados de acordo com o atendimento aos objetivos do Programa. As principais ações estratégicas de cada componente são:

- Componente 1 - Rede Nacional de Monitoramento: Implementar, ampliar e otimizar a distribuição geográfica da rede de monitoramento da qualidade de água. Tornar adequadas as frequências de monitoramento e garantir a sustentabilidade financeira do sistema de monitoramento;
- Componente 2 - Padronização: Acordar parâmetros mínimos de qualidade de água a serem monitorados por todas as Unidades da Federação Padronizar, entre as Unidades da Federação, os procedimentos de coleta, preservação e análise das amostras de qualidade de água;
- Componente 3 - Laboratórios e Capacitação: Ampliar o controle de qualidade dos laboratórios envolvidos em análises de qualidade de água e capacitar

pessoas envolvidas como o monitoramento e análise de qualidade de águas;

- Componente 4 - Avaliação da Qualidade da Água: Criar e manter um banco de dados nacional e um portal na internet para divulgação das informações de qualidade de água e avaliar sistematicamente a qualidade das águas superficiais brasileiras.

O IAT, desenvolveu os métodos e procedimentos para o monitoramento limnológico sistemático de reservatórios, assim como, o sistema para classificação dos reservatórios do Estado, de acordo com seus graus de comprometimento IQAR – Índice de Qualidade de Água de Reservatórios. A finalidade do monitoramento é divulgar as informações de qualidade de água, indicando, quando necessário, medidas de saneamento e manejo (profiláticas ou terapêuticas), visando à conservação e/ou recuperação da qualidade das águas destes ecossistemas em função dos seus usos múltiplos.

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade de água dos reservatórios são:

- Informar as autoridades, organizações governamentais e instituições públicas e privadas sobre a situação da qualidade das águas dos reservatórios;
- Fornecer ao poder público estadual e municipal informações relevantes para subsidiar a tomada de decisões na alocação de recursos visando a conservação e/ou recuperação ambiental;
- Promover a participação pública no monitoramento e conservação da qualidade das águas dos reservatórios.

Com base nisso, em licenças ambientais, bem como, em outorgas para aproveitamento de potencial hidrelétrico na modalidade de autorização de direito de uso, são estabelecidas condicionantes referentes ao monitoramento periódico da qualidade da água e descarga sólida a montante e jusante da represa.

2.4 Gestão ambiental em empreendimentos hidrelétricos

A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente ser impactado por qualquer tipo de atividade humana. Essa avaliação é realizada considerando três principais critérios: fragilidade estrutural intrínseca, sensibilidade e grau de maturidade dos ecossistemas (BIESDORF et al., 2022).

Dessa forma, adoção de políticas e ferramentas de gestão ambiental revela as oportunidades e desafios específicos de cada situação, contribuindo para o planejamento e implementação de filosofias e políticas sustentáveis para a preservação ambiental no Brasil. No entanto, é importante ressaltar que as linhas de investigação voltadas à gestão ambiental não podem ser consideradas concluídas, mas sim, com prazos constantes de execução, para que se mantenha a melhoria contínua (CARVALHO, 2023).

Os aspectos ambientais das corporações englobam variáveis como poluição, impactos ambientais e despoluição. Como resultado, as empresas com foco em desenvolvimento sustentável, também conhecidas como "companhias verdes", estão ganhando crescente espaço nos mercados (OLIVEIRA et al., 2022). Uma vez que, a gestão ambiental não contempla exclusivamente o ambiente interno, mas todo o ciclo de vida dos produtos ou serviços, o que também inclui os stakeholders (SELLITTO, et al., 2021).

Com base nisso, a geração de energia elétrica encontrou um campo relevante para o desenvolvimento e consolidação da engenharia nacional, sendo viabilizada pela construção de uma barragem e a subsequente formação de um reservatório (MESQUITA et al., 2023).

A energia hidrelétrica é considerada um dos sistemas alinhados aos princípios de operação ou desenvolvimento sustentável. Entretanto, é importante garantir que os impactos e consequências também sejam sustentáveis (ABRÃO, 2022).

A construção de hidrelétricas é amplamente reconhecida como uma excelente opção para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Isso se deve a uma série de vantagens, tais como o custo mais competitivo da energia em comparação com outras fontes primárias, a redução significativa das

emissões de gases de efeito estufa e a capacidade de impulsionar o desenvolvimento socioeconômico nas comunidades locais (ANDRADE & SANTOS, 2018).

Entre os impactos gerados pela construção de reservatórios e barragens, destacam-se mudanças na paisagem, no uso e ocupação do solo, na cultura local, no modo de vida das populações ribeirinhas, substituição de áreas de plantio por áreas ocupadas por água, e modificações no fluxo da vazão a jusante do rio barrado, entre outros (RAMOS & SALBEGO, 2014).

Contudo, a construção e operação de hidrelétricas têm um impacto ambiental significativo e, frequentemente, irreversível sobre os aspectos físicos, biológicos, ecológicos, sociais e econômicos (GOMES et al., 2017).

No estudo de caso desenvolvido por Almeida et al. (2023), são apresentadas as relações impacto ambiental e desenvolvimento urbano-territorial em espaços que foram desterritorializados no contexto de municípios lindeiros. Um dos pontos destacados pelo autor, se refere à submersão de um ponto turístico internacional, onde os municípios lindeiros originados pelo impacto ambiental gerado pela construção do empreendimento hidrelétrico passaram por transformações territoriais e socioeconômicas.

As barreiras fixas para espécies aquáticas, excesso de nutrientes gerando a eutrofização das águas, bem como, a proliferação de microrganismos poluidores (COELHO et al., 2022), aumento da temperatura ambiente e alteração dos ciclos de chuva (COSTA et al., 2012) também são elencados como alguns dos impactos gerados pelas hidrelétricas.

A gestão ambiental precisa ser considerada desde o estágio inicial do projeto, pois é na fase de construção de uma hidrelétrica que elementos potencialmente responsáveis por impactos ambientais negativos costumam surgir. Esses elementos incluem o enchimento do reservatório, a ativação/desativação do canteiro de obras e a operação do empreendimento (LISBOA, 2019).

2.5 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) como ferramenta de análise ambiental

O monitoramento da qualidade das águas é uma ferramenta essencial para o controle da poluição e está alinhado com uma das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Sem os dados sobre a qualidade da água, o

planejamento e a implementação de medidas para controlar e combater a poluição hídrica tornam-se desafiadores (DINIZ, 2023).

Para a efetiva implementação da gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, é essencial conhecer a qualidade atual de suas águas. Isso permite estabelecer requisitos de uso e definir metas de melhoria a longo prazo (GIRARDI et al., 2019).

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) é uma ferramenta de avaliação da qualidade da água desenvolvida pela subcomissão técnica de qualidade da água do Canadá, conforme o *Canadian Council of Ministers of the Environment* (2001).

Dessa forma torna-se, fundamental realizar a verificação regular do estado da qualidade da água, avaliando suas características físicas, químicas e biológicas por meio de programas de monitoramento (SIDDIQUE et al., 2022).

Permitindo o diagnóstico de poluição e projetar estratégias eficazes de prevenção e mitigação nas decisões relacionadas à gestão dos recursos hídricos (MAIA et al., 2019).

A definição desse índice baseia-se na comparação dos valores dos parâmetros descritivos da qualidade da água, obtidos por meio de monitoramentos, com os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ou com os critérios de qualidade fundamentados cientificamente (HINATA et al., 2023).

A proposição de um enquadramento deve considerar três diretrizes essenciais. A primeira é a verificação da realidade atual dos corpos hídricos, a segunda diretriz é a percepção da sociedade sobre o futuro desejado para esses corpos hídricos e a terceira diretriz envolve o entendimento das condições necessárias para a manutenção da classe existente ou a ser alcançada, considerando-se limites técnicos, sociais, econômicos e ambientais para atingir as metas de qualidade estabelecidas para um corpo hídrico dentro de um horizonte de tempo determinado (BRASIL, 2020).

O uso do ICE vem se difundindo gradualmente no Brasil, visto que os órgãos fiscalizadores têm aplicado essa modelagem aos resultados das estações de monitoramento da qualidade da água. Além disso, tem sido alvo de diversos estudos e pesquisas acadêmicas (DINIZ, 2023).

Exemplo disso, foi o estudo desenvolvido por Rodrigues et al (2024) que avaliou a qualidade da água a partir do ICE em rios pertencentes à bacia

hidrográfica do Rio Parnaíba e verificou distanciamento da qualidade de água almejada, proposta pela resolução CRF-DF nº 01/2014.

No estudo desenvolvido por Moreira et al (2024), avaliou-se a qualidade de sistemas lóticos no estado do Ceará, em que constatou-se que os corpos hídricos avaliados apresentam qualidade da água comprometida, quando comparadas aos limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005. O autor ressalta que os índices são importantes ferramentas para avaliação de padrões de qualidade da água e análise de conformidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi (BHT), entre as coordenadas 22°47'22" e 25°36'25" latitude sul e 49°36'00" e 51°27'36" longitude oeste, situada no nordeste do estado do Paraná. Com área de drenagem total equivalente a 15.650 km². A bacia divide-se em duas Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos: Alto e Baixo Tibagi (MEDRI et al, 2002).

O rio Tibagi nasce na Serra de Furnas, entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeira, e desagua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Capivara no rio Paranapanema, com uma extensão média de 550 km e largura de 78 km. A disponibilidade hídrica dos corpos superficiais da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi é de aproximadamente 111 m³s⁻¹ (COPATI, 2019).

No rio Tibagi, desaguam 65 rios menores, dos quais os principais afluentes são: Rio Taquara, Ribeirão dos Apertados, Ribeirão Três Bocas, Rio Iapó, Rio São Jerônimo e Rio Congonhas (COPATI, 2019).

A unidade do Alto Tibagi, compreende as regiões sul e sudeste da bacia, possui áreas formadas por rochas sedimentares e de quartzito, com relevo ondulado com forte declividade. O uso do solo é voltado para atividades industriais, agrícolas com média concentração de centros urbanos (PARANÁ, 2024).

A unidade do Baixo Tibagi, situa-se na região norte da bacia, composto por rochas vulcânicas, possui relevo suave e ondulado e é caracterizado por solos férteis. O uso do solo é voltado para atividades industriais e agrícolas com alta concentração de centros urbanos (PARANÁ, 2024).

A bacia hidrográfica do Rio Tibagi conta com uma grande variedade de cobertura pedológica. Dentre os tipos de solo encontrados na região, observa-se uma predominância de Neossolo Litólico. Este é um solo jovem e relativamente raso, com espessuras inferiores a 40 cm. Ocorrem em locais de relevo suavemente ondulado ou escarpado, podendo ser encontrado, também, em regiões de relevo fortemente ondulado e montanhoso (IAT, 2023c).

As unidades geológicas da região, bem como sua organização estrutural e cronológica, apresentam grande variabilidade na área de interesse. É constituída por

um conjunto heterogêneo de rochas sedimentares incluindo arenitos, folhelhos, siltitos, argilitos, diamictitos, tilitos e ocasionalmente níveis de carvão (IAT, 2023d). Essa característica é reconhecida como um dos melhores prospectos para hidrocarbonetos na Bacia do Paraná, possuindo um bom potencial para reservatórios, principalmente de gás, proveniente das rochas geradoras da Formação Ponta Grossa (FRANÇA & POTTER, 1988).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a bacia hidrográfica em estudo apresenta um clima de transição entre o subtropical úmido e temperado úmido (Cfa/Cfb), com verões quentes a moderadamente quentes e ausência de estação seca definida. A temperatura média mensal na região é de 19,5°C, variando de 26°C nos meses mais quentes a 14,5°C nos meses de frio.

A precipitação média anual é de 1.600 a 1.700 mm/ano na bacia do Rio Tibagi. O trimestre mais chuvoso corresponde a dezembro, janeiro e fevereiro, com precipitações médias no trimestre de 450 a 550 mm, enquanto junho, julho e agosto é o menos chuvoso, com precipitações médias em torno de 280 mm (FRACTAL, 2022).

A região da bacia hidrográfica do rio Tibagi, especialmente no limite entre os municípios de Tibagi e Telêmaco Borba, é caracterizada por uma diversidade de tipos de vegetação. Predominam áreas de floresta ombrófila mista (Mata de Araucária), composta por *Araucaria angustifolia* e diversas espécies associadas. Além disso, encontram-se fragmentos de cerrado, campos naturais e áreas de reflorestamento com espécies exóticas, como o pinus e o eucalipto. A vegetação natural da região desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade, na regulação dos recursos hídricos e na proteção do solo contra a erosão (ZANCHETTA et al, 2015).

O objeto de estudo desse trabalho, trata-se de uma PCH localizada no município de Telêmaco Borba-PR, inserida no limite entre as unidades do Baixo e Alto Tibagi. Sua operação teve início no ano de 1952, sua capacidade de geração é de 16,9295 MW, os dados técnicos do empreendimento são visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados técnicos da Pequena Central Hidrelétrica

Descrição	Valor
Área de drenagem (km ²)	15.650,00
Vazão máxima - TR=1.000 anos (m ³ /s)	6.315,60
Volume máximo (hm ³)	0,30
Vazão turbinada (m ³ /s)	83,00
Altura do barramento (m)	20,00
Comprimento do vertedor (m)	246,00

Fonte: FRACTAL (2022).

Conforme ilustrado na Figura 3, definiu-se um raio de 5 km a partir da casa de força da PCH para desenvolvimento de parte dos estudos (mapeamento temático e fragilidade ambiental), em função de que a utilização de bacias hidrográficas como área de interesse para esse caso, seria pouco representativa, uma vez que, o empreendimento possui uma pequena área comparada às unidades hidrográficas.

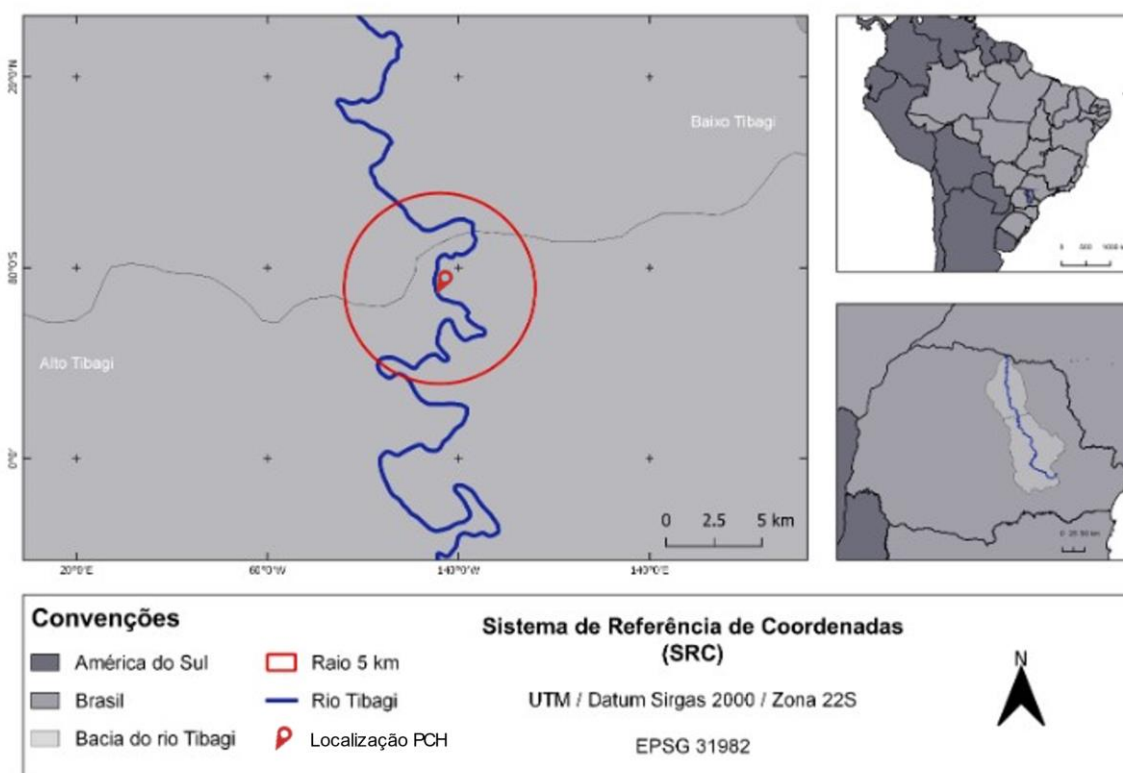


Figura 3 - Localização da área de estudo.

Para os demais estudos (avaliação da APP e ICE), o limite do reservatório foi utilizado como área de interesse.

3.2 Geotecnologias empregadas

A plataforma Google Earth Engine (GEE), desenvolvida pela Google, integra e oferece acesso a diversas imagens de satélite e dados geoespaciais, que podem ser processados diretamente na nuvem da plataforma (CAVALCANTE, 2020).

O GEE é uma referência na área de sensoriamento remoto orbital e é baseado no geoprocessamento de nuvens em escala planetária, e possui vasto catálogo de imagens de satélite (CAMPOS-TABERNER et al, 2018).

Para aplicação da metodologia, utilizou-se dados fornecidos pela plataforma GEE, em que, o primeiro passo foi a criação da conta para acesso às informações contidas dentro da plataforma. Em seguida foi necessário a elaboração dos scripts em linguagem JavaScript, para obtenção dos dados.

O satélite selecionado para compor o código foi o Sentinel-2, o qual é uma missão desenvolvida pela Agência Espacial Europeia (ESA) como parte do programa Copernicus, projetado para monitorar a Terra e fornecer dados de observação da Terra de alta resolução. O referido satélite foi lançado no ano de 2015 e compreende o Sentinel-2A e 2B, operando em órbita polar, fornecem imagens multiespectrais que possibilitam aplicações em monitoramento ambiental, agricultura, gestão de recursos naturais e planejamento urbano (ESA, 2024).

A resolução espacial do Sentinel-2 varia de 10 a 60 m, dependendo da banda. As bandas com 10 m de resolução são utilizadas para detalhes finos, já as bandas com resolução espacial maior são, geralmente, utilizadas para cobertura espacial mais ampla (DRUSCH et al, 2021).

O Sentinel-2A e Sentinel-2B juntos fornecem uma cobertura global a cada 5 dias sob condições ideais de observação, o que permite monitoramento frequente e consistente da superfície terrestre (ESA, 2024)

Os produtos foram obtidos via GEE e posteriormente exportados para o Quantum GIS (QGIS) em sua versão 3.10.4 para elaboração do layout.

Com a finalidade de atender os objetivos propostos na pesquisa, utilizou-se o conjunto de metodologias e técnicas que permitiram o levantamento e manipulação de dados, possibilitando avaliar a fragilidade ambiental emergente ao

entorno da PCH, verificar o atendimento das faixas de APP conforme o Novo Código Florestal e calcular o ICE referente à qualidade da água a montante e jusante do reservatório da PCH. A Figura 4 apresenta o fluxograma metodológico executado nesse estudo.

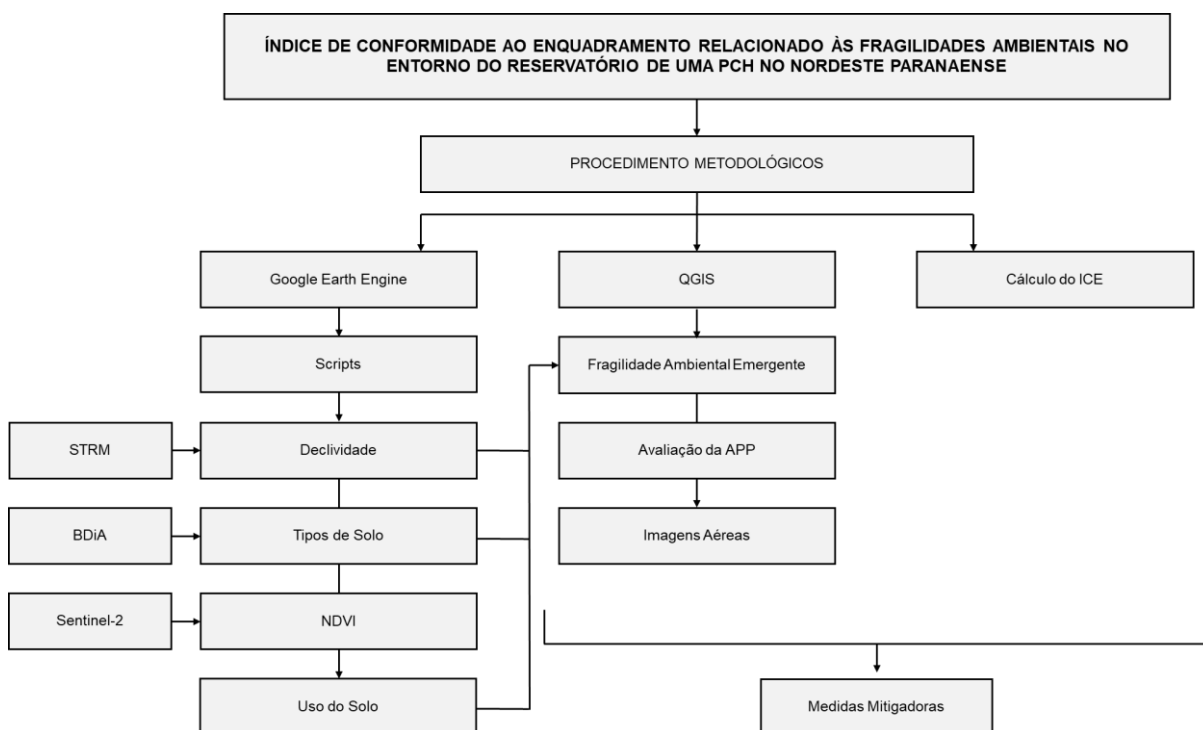


Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos

3.2.1 Mapa de declividade

A carta de declividade foi gerada a partir do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), o qual é uma missão que utilizou radar para mapear a topografia globalmente com alta precisão. Os dados do SRTM são frequentemente empregados para calcular a declividade do terreno, essencial para várias aplicações como planejamento urbano, estudos ambientais e modelagem hidrológica. A declividade derivada desses dados fornece informações cruciais sobre a inclinação do terreno, ajudando na análise de erosão, caracterização da paisagem e identificação de áreas propensas a deslizamentos (FARR et al, 2007).

A partir da imagem obtida, foram definidas as categorias de declividade de acordo com o proposto por Spörl e Ross (2004) verificadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de Declividade

Fragilidade	Categoria	Intervalo do grau de declividade do terreno (%)
1	Muito fraco	< 6
2	Fraco	6 a 12
3	Médio	12 a 20
4	Forte	20 a 30
5	Muito forte	> 30

Fonte: SPÖRL E ROSS (2004)

3.2.2 Mapa de Tipos de Solo

Para a classificação dos tipos de solo de acordo com seu grau de fragilidade ambiental, utilizou-se o recorte do mapeamento de solos, conforme limite da área de estudo, em que utilizou-se os dados vetoriais do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), classificada conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Na tabela 3 visualiza-se a relação entre a fragilidade e os tipos de solo.

Tabela 3 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos da área de estudo

Fragilidade	Categoria	Tipo de Solo
1	Muito fraco	*
2	Fraco	*
3	Médio	*
4	Forte	Argissolos – Vermelho-Amarelos
5	Muito forte	Neossolos Litólico

(*) Classes não identificadas na área de estudo

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2006)

3.2.3 Elaboração de mapas de uso do solo

O período selecionado para avaliação do uso do solo justifica-se por 2 motivos:

1. Período posterior à publicação da Lei nº 12.651/2012
2. Período posterior à instalação da Usina Hidrelétrica Governador

Jayme Canet Junior, que ocasionou significativa alteração na paisagem.

A resolução das imagens utilizadas (Sentinel-2) varia entre 10m, 20m e 60m, como na busca pela coletânea de imagens no GEE não foi realizada a distinção das bandas a serem utilizadas, a média dos melhores pixels foi de 60m.

Foi empregado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtido através do satélite mencionado anteriormente.

A imagem resultante foi gerada com base na diferença de refletância entre o infravermelho próximo e o vermelho, permitindo uma visualização interativa e a distinção entre tipos de vegetação na área de estudo.

O NDVI é um dos indicadores de vegetação amplamente empregados no GEE, devido à sua facilidade de análise das imagens e à capacidade de utilizar diferentes camadas que modificam a visualização da imagem em um mesmo satélite e é calculado através da Equação 1:

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

Em que utiliza a banda do vermelho (RED), canal com forte absorção de clorofila e do Infravermelho Próximo (NIR), canal com alta reflectância das copas das plantas. Nesse caso, as porções absorvidas do vermelho e refletidas do infravermelho variam de acordo com as condições da vegetação.

Mediante o script elaborado foram geradas as imagens de satélite da área de estudo com enfoque em uso do solo no período de 01/01/2021 a 31/12/2016.

A partir da imagem obtida com a interpretação do NDVI, foram definidas as classes para o uso do solo de acordo com o proposto por Spörl e Ross (2004) verificadas, respectivamente, nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 4 - Categorias de uso do solo

Fragilidade	Categoria	Uso do solo
1	Muito fraco	Florestal
2	Fraco	*
3	Médio	*
4	Forte	Solo Exposto - Pastagem
5	Muito forte	Corpos Hídricos

(*) Classes não identificadas na área de estudo
Fonte: Adaptado SPÖRL E ROSS (2004)

3.2.4 Fragilidade Ambiental

Utilizando-se o cruzamento dos resultados dos mapeamentos de uso do solo, declividade e tipos de solo foi elaborado o mapa de fragilidade ambiental.

As classes de fragilidade ambiental foram definidas com base nas referências para cada mapeamento temático, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos da área de estudo

Fragilidade	Categoria
1	Muito fraco
2	Fraco
3	Médio
4	Forte
5	Muito forte

Fonte: SPÖRL E ROSS (2004)

3.2.5 Avaliação e enquadramento da Área de Preservação Permanente (APP)

A avaliação da APP foi baseada no Novo Código Florestal, regido pela Lei nº 12.651/2012, que cita que as faixas de APP ao entorno de reservatórios para fins hidrelétricos devem conter entre 30 e 100 m. Para tanto, considerou-se o limite máximo de faixa para a avaliação.

A primeira etapa da quantificação do limite da APP pautou-se na criação de um “buffer” considerando o limite de 100 m a partir da delimitação do reservatório.

Para a segunda etapa de avaliação da APP do reservatório realizou-se a captura de imagens aéreas, com a finalidade de verificar em campo a largura da faixa de APP do reservatório. O equipamento utilizado foi um drone DJI Mavic Air 2. O plano de voo foi definido com altura de 120 m.

3.2.6 Índice de Conformidade ao Enquadramento

O ICE tem o objetivo de avaliar a condição de um corpo hídrico, medindo o distanciamento entre a qualidade da água atual e a meta estabelecida pelo enquadramento (CCME, 2001).

É recomendável que sejam considerados no mínimo 04 parâmetros nas campanhas de medição (BORTOLIN et al., 2013), sendo então possível aplicá-lo no trecho escolhido do rio Tibagi.

Com base na metodologia do ICE, foram definidos de 04 parâmetros da qualidade da água para o cálculo do índice: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal, fósforo e sólidos dissolvidos totais (SDT). Os parâmetros avaliados são importantes indicadores de qualidade da água.

Para o cálculo foram utilizados parâmetros selecionados que possuem limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

O cálculo do ICE baseou-se em 3 fatores:

- F1 – abrangência do impacto causado pela desconformidade (representa a abrangência das desconformidades, isso é, o número de variáveis de qualidade da água que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período observado);

A fórmula do Fator 1 é dada pela Equação 1.

$$F1 = \left(\frac{\text{Número de variáveis que falharam}}{\text{Número total de variáveis}} \right) \quad (2)$$

- F2 – frequência de ocorrência das desconformidades (representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiveram em desconformidade em relação ao número de observações, isto é, aos testes para comparar o valor observado com o padrão determinado);

A fórmula para o cálculo do Fator 2 é apresentada pela Equação 3.

$$F2 = \left(\frac{\text{Número de testes que falharam}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad (3)$$

- F3 – amplitude da desconformidade (representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água);

O Fator F3 é calculado em três etapas:

- a) O número de vezes que a concentração da variável é observada maior que o limite estabelecido.

$$Excursão = \left(\frac{\text{Valor testado que falhou}}{\text{Objetivo}} \right) - 1 \quad (4)$$

- b) A quantidade coletiva pela qual os testes individuais estão fora de conformidade é calculada somando as excursões dos testes individuais de suas diretrizes e dividindo pelo número total de testes. Em que, snv representa a soma normalizada das variações:

$$snv = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{excursão}}{\text{Número total de testes}} \right) \quad (5)$$

- c) O valor desta etapa é calculado através da snv em relação aos limites estabelecidos, com valores reduzidos a uma variável entre 0 e 100. Para isso, é utilizado o valor 1,732, a fim de garantir o comprimento máximo do vetor que representará a desconformidade.

$$F3 = \left(\frac{snv}{0,01snv+0,001} \right) \quad (6)$$

A partir desses fatores calcula-se o ICE, de acordo com a equação 7.

$$ICE = \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad (7)$$

Posteriormente, os resultados foram classificados de acordo com as classes estipuladas pelo CCME (2001), conforme Tabela 6, onde valores próximos a zero indicam uma condição do corpo hídrico distante do enquadramento desejado, enquanto os valores próximos a 100 indicam conformidade com o enquadramento.

Tabela 6 - Classes do índice de conformidade ao enquadramento

Classes	ICE
Excelente	95 - 100
Bom	80 - 94
Aceitável	65 - 79
Ruim	45 - 64
Péssimo	0 - 44

Fonte: CCME (2001)

Os dados foram organizados em planilha padrão que representa os postos de monitoramentos (montante e jusante). A planilha foi criada contendo as variáveis de qualidade de água e seus limites para cada classe de qualidade, baseados na Resolução CONAMA 357.

A planilha de cálculo do índice é composta pelas variáveis separadas por colunas, segregadas pelas datas de amostragem e emissão dos laudos. Dessa forma, foram aplicadas as fórmulas para obtenção dos 03 fatores (F1, F2 e F3).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fragilidades referente aos percentuais de declividade da região, são apresentadas na Figura 5, onde verifica-se que o critério de declividade obteve um valor crescente conforme o aumento dos percentuais. Fierz (2018), ressalta que quanto maior a declividade de uma região, maior a propensão dos casos de erosão, em função da velocidade de escoamento da água.

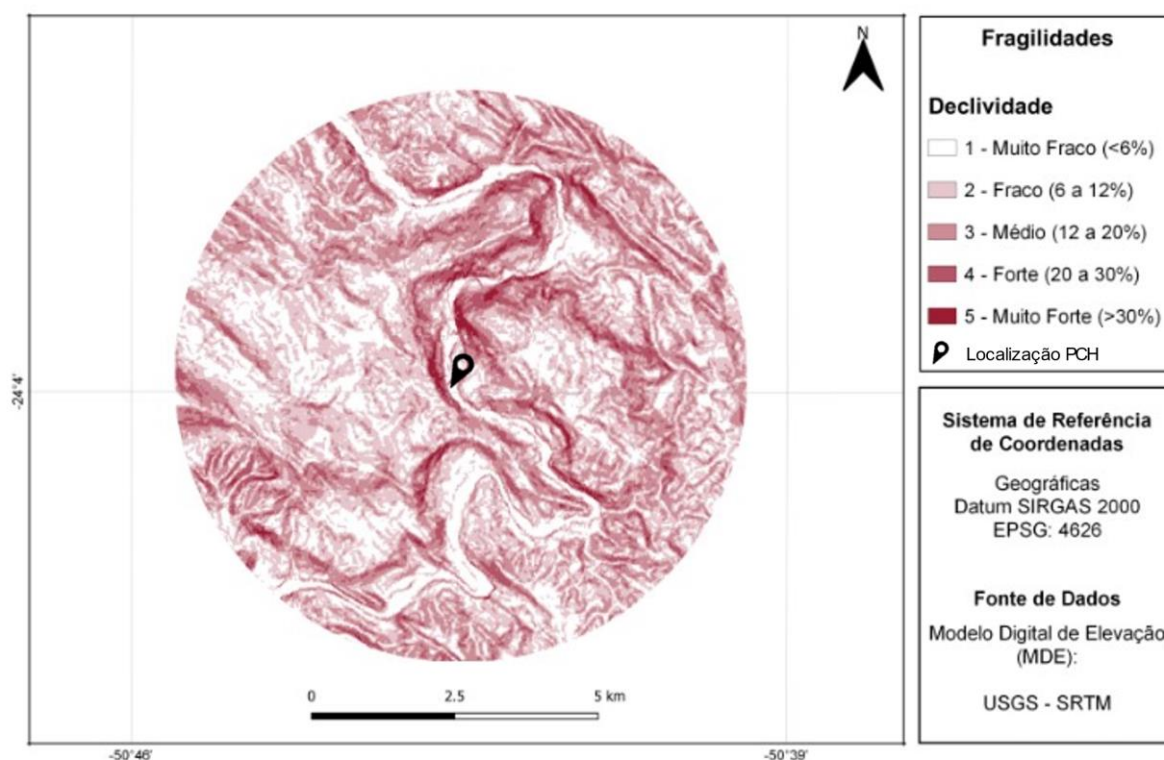


Figura 5 - Fragilidade indicada pela declividade ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.

Em relação à fragilidade no critério dos tipos de solo, observa-se na Figura 6, em que a referência 4 – Forte se refere aos Argissolos Vermelho-Amarelos, caracterizados por possuírem facilidade de compactação e baixa infiltração, podendo desencadear processos erosivos e degradação do solo, principalmente em regiões com declives acentuados, sem cobertura vegetal e/ou com práticas agrícolas inadequadas (TAVARES et al, 2021).

O critério 5 – Muito Forte para a fragilidade de tipo de solo foi definida para as regiões que apresentam Neossolos Litólicos, que são predominantemente rasos, havendo limitação de armazenamento de água e nutrientes. Devido à essas

características, associada à presença de rochas expostas, faz que com haja susceptibilidade à erosão hídrica relacionada a declividades acentuadas (SILVA et al, 2021), especialmente por não ser ideal para o desenvolvimento da vegetação. Para esse tipo de solo pastagens e atividades florestais são os usos mais indicados (OLIVEIRA et al, 2020).

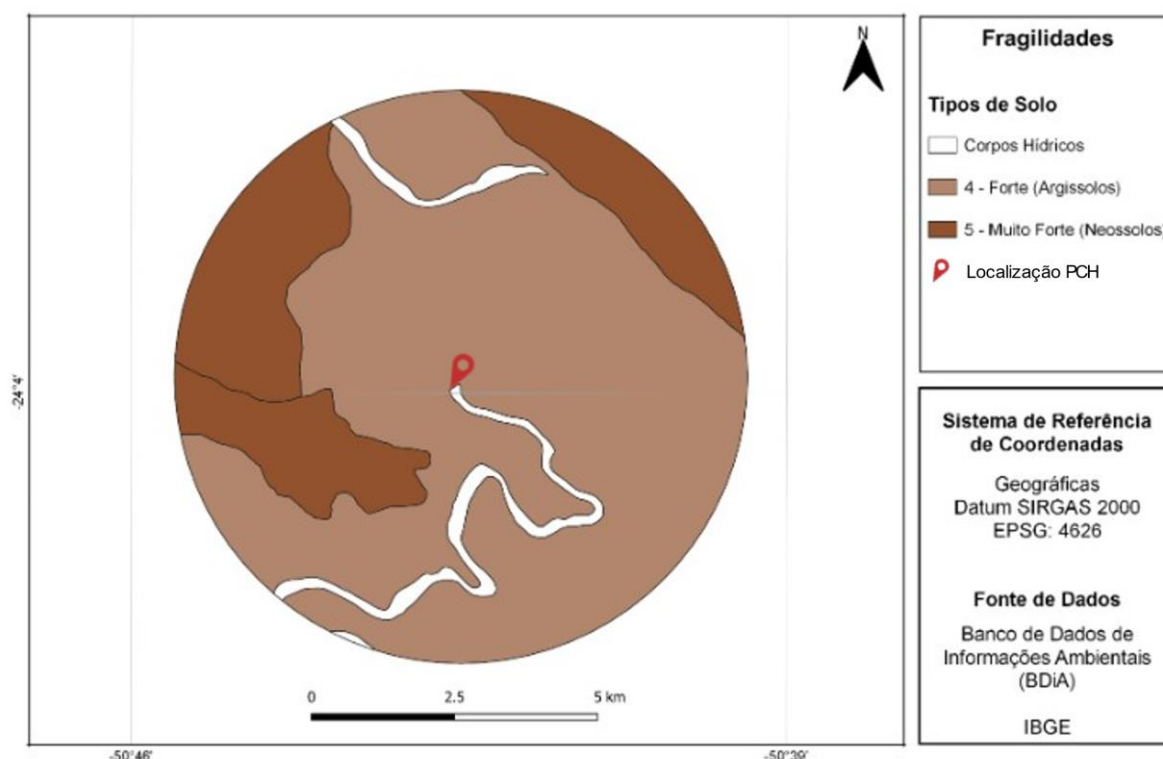


Figura 6 - Fragilidade indicada pelos tipos de solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.

Na Figura 7, verifica-se o produto do NDVI gerado para a área de estudo, e observa-se que os valores variam de -0,43 a 0,83, sendo que os menores valores indicam superfícies como água verificadas pelo curso do rio Tibagi, uma vez, que possuem refletância diferente para as bandas do Vermelho e Infravermelho Próximo. Os valores intermediários, próximos à 0,20 representam as regiões com pouca ou nenhuma vegetação, correlacionadas às áreas de solo exposto e pastagens da região de estudo. Os maiores valores, foram fiéis à representação de vegetações densas, caracterizadas às regiões de florestas nativas, APP e silvicultura.

Santos et al., (2024) em sua pesquisa para avaliar a dinâmica espaço-temporal do plantio de eucalipto no estado de Minas Gerais, identificou valores similares de NDVI para as classes de solo exposto/pastagens e florestas nativas e

silvicultura.

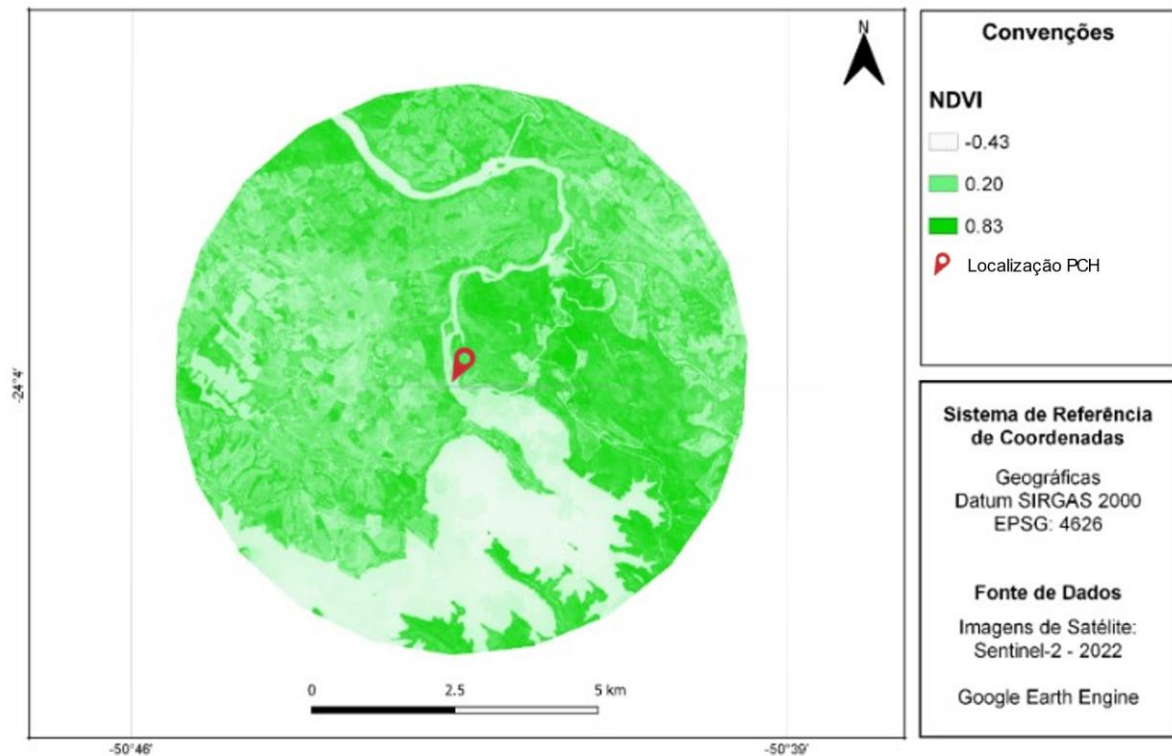


Figura 7 - Valores do NDVI ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR

Tendo como base o NDVI, foram definidas as classes de uso do solo para o mapeamento, sendo eles Florestal, Solo Exposto/Pastagem e Corpos Hídricos.

A classe Florestal engloba as áreas de florestas nativas, APPs e silvicultura, uma vez que, os diferentes usos possuem níveis espectrais semelhantes, não sendo possível a distinção entre elas, o que causaria confusões na cálculo do NDVI e na classificação de uso do solo.

O mesmo ocorre para a classe denominada como Solo Exposto/Pastagem, que também, que inclui ainda, áreas agrícolas, uma vez que, em determinados períodos do ano as áreas destinadas para esse fim poderão ser representadas como solo exposto.

Na Figura 8, é possível observar o uso do solo e seus critérios de fragilidade ambiental, em que, as classes Florestal, Solo Exposto/Pastagem e Cursos Hídricos, obtiveram fragilidade Muito Fraco, Forte e Muito Forte, respectivamente.

A classe Solo Exposto/Pastagem engloba as áreas com atividades antrópicas presentes na bacia, que tiveram sua vegetação suprimida ou

descaracterizada e apresentam fragilidade Forte, uma vez que, são áreas mais suscetíveis a processos erosivos, enquanto às áreas identificadas como Florestal, mesmo que silvicultura também sejam atividades antrópicas, mantém a cobertura florestal nessas áreas (CAVALCANTE, 2020). Sendo assim, em função da cobertura vegetal fornecer proteção ao solo contra processos erosivos, diversos autores consideram como Fragilidade Muito Fraco a Fraco (VALLE et al., 2016).

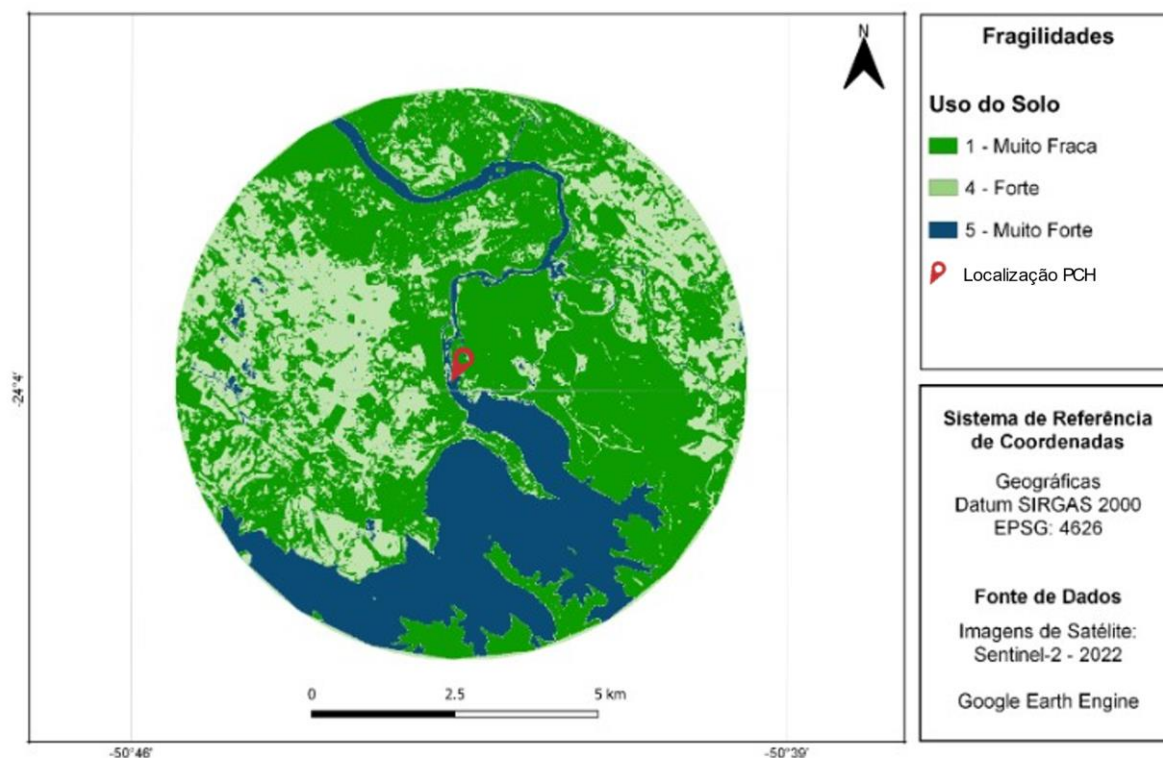


Figura 8 - Fragilidade indicada pelo uso do solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR

A Tabela 7 mostra as medidas de classe geradas para a classificação do uso solo e suas fragilidades.

Tabela 7 - Medidas de classe e fragilidade de uso do solo ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.

Fragilidade	Categoria	Uso do Solo	Área (km ²)	(%)
1	Muito fraco	Florestal	40,5	51,5
4	Forte	Solo Exposto - Pastagem	22,4	28,5
5	Muito forte	Corpos Hídricos	15,7	20,0
Total			78,5	100,0

Verifica-se que a classe de uso do solo Florestal, representa mais de 50% da área de estudo, o que justifica-se pelo longo trecho do rio Tibagi que possui APP, bem como, pelo fato de a região ser caracterizada por intensa atividade de silvicultura com plantio de pinus e eucalipto, que é impulsionada pelas empresas de papel e celulose instaladas na região (IBGE, 2020).

Na Figura 9 visualiza-se o resultado da integração de todas as fragilidades individuais, resultando na Fragilidade Emergente, pois considera o uso do solo na avaliação, onde obteve-se 4 categorias de fragilidade: Muito Fraco, Fraco, Forte e Muito Forte.

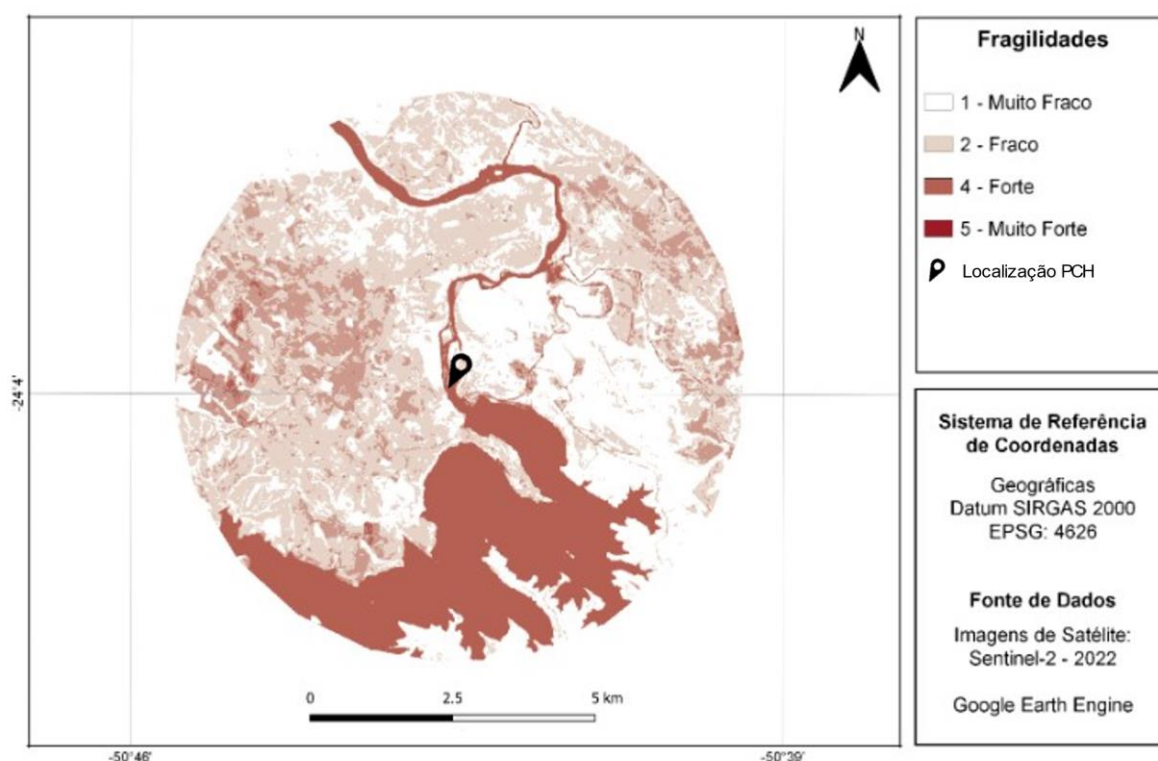


Figura 9 - Fragilidade Emergente indicada ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR

Na Tabela 8 é possível verificar medidas de classe geradas para cada categoria de Fragilidade Emergente.

Tabela 8 - Medidas de classe para cada categoria de Fragilidade Emergente indicada ao entorno da PCH, localizada na região nordeste do PR.

Fragilidade	Categoria	Área (km ²)	(%)
1	Muito fraco	25,7	32,8
2	Fraco	28,4	36,1
4	Forte	8,6	11,1
5	Muito forte	15,8	20,0
Total		78,5	100,0

As áreas críticas identificadas, categorizadas como Fragilidade Muito Forte, correspondem à 20% da área de estudo, e essas áreas correspondem às regiões dos Corpos Hídricos, e alguns demais pontos integram regiões de solo exposto, com Neossolos Litólicos e declividades acima de 20%.

Devido à baixa fragilidade das áreas classificadas como Florestal, a Fragilidade Emergente da região de estudo foi minimizada. É possível observar que essa classe se sobressai tanto em função das áreas destinadas ao plantio de pinus e eucalipto, assim como, grandes áreas de APP.

Cavalcante (2020) destaca em seu estudo da fragilidade ambiental na bacia do Rio Mocajuba – PR que, a ausência de APPs compromete os recursos hídricos, uma vez que, as áreas de recarga de nascentes podem ser suprimidas pela alteração e formas de cobertura da terra, além da geração de sedimentos por perdas ocasionadas pela erosão que altera a geometria das margens dos canais e as condições de escoamento superficial das águas.

Franco et al, (2012) também ressalta em seu estudo relacionando a qualidade da água e fragilidade ambiental em uma bacia hidrográfica na Bahia, que as áreas cobertas por floresta apresentam baixos índices de fragilidade ambiental, reforçando a importância da preservação ambiental para que não haja aumento das áreas de alta fragilidade.

Como medidas mitigadoras às áreas que apresentam maiores fragilidades ambientais, é necessário correlacionar se o tipo de solo é compatível com o seu uso, visando evitar erosões, impermeabilizações, inundações e assoreamento. Uma vez que, as mudanças na cobertura do solo podem ocasionar aumento de pressão, produção de sedimentos, que podem afetar a qualidade da água, biodiversidade e demais atividades dependentes dos recursos hídricos (SILVA, 2024).

As áreas que apresentam altas declividades associadas à solos frágeis, como Neossolos Litólicos, por exemplo, devem ser evitados para atividades

antrópicas ou urbanizadas em função de ser um solo raso e ser suscetível à erosão e movimentação de massa, e se tornar instável quando associado à supressão de vegetação (FONSECA et al, 2023).

Sugere-se ainda, a avaliação do disposto na Lei nº 12.651/2012, que prevê áreas de florestas e demais formas de vegetação natural às margens de corpos hídricos, altos de morros, encostas com declividade acentuada e áreas com inclinação maior que 45°.

Tendo em vista a caracterização do uso do solo e a importância das áreas próximas aos corpos hídricos, o Novo código Florestal estabeleceu a obrigação de os reservatórios d'água artificiais destinados a geração de energia ou abastecimento público implementarem APPs em faixa mínima de 30 metros e máxima de 100 metros quando em área rural.

Levando em consideração o limite máximo de 100 metros estipulado pelo Código Florestal, foi o que pautou essa etapa da pesquisa para simulação da área de preservação. Dessa forma, na Figura 10, visualiza-se a simulação de APP, a partir do buffer de 100 metros gerado pela delimitação do reservatório.



Figura 10 - Simulação da APP ao entorno da PCH conforme o Novo Código Florestal.

Mediante a simulação da APP, verifica-se que o reservatório da PCH possui majoritariamente a faixa de APP suficiente para atender a Lei nº 12.651/2012, e que, as áreas que não possuem se refere à região do vertimento, casa de bombas e estrutura da Usina Hidrelétrica Jayme Canet Junior.

Para reforçar a validação dessas informações, visualiza-se na Figura 11 a coletânea de imagens aéreas capturadas que comprovam o atendimento ao Novo Código Florestal atestando que as áreas possuem mais de 100 m de largura, e mostram ainda, que essas regiões de preservação são densas e encontram-se em estado avançado de regeneração.

É possível visualizar detalhes da faixa de APP da Margem Esquerda (ME) do reservatório da PCH, a qual possui largura superior a 100 m, verifica-se ainda, a alta densidade da faixa de APP da Margem Direita (MD), que possui 100 m de largura, assim como, a faixa de APP ao longo do rio Tibagi.



Figura 11 - Imagens aéreas com foco na APP da PCH.

As áreas de APP em torno dos reservatórios de usinas hidrelétricas desempenham um papel crucial para o controle da erosão no solo, garantindo a capacidade de armazenamento de água, além de atuar como filtro natural reduzindo os sedimentos e carga de nutrientes que chegam ao reservatório, melhorando a qualidade da água (Lima & Zakia, 2020).

Com base nessa relevância, foi verificado a qualidade da água a montante e jusante do reservatório, mediante a utilização Índice de Conformidade ao Enquadramento.

Selecionou-se os parâmetros de DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo e sólidos dissolvidos totais para verificar quanto ao atendimento dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

Os limites estabelecidos para esses parâmetros de são de grande importância, ainda mais em se tratando de reservatórios de usinas hidrelétricas, pois são indicadores chave para manutenção da qualidade da água e operação eficiente das usinas (TUNDIS & MATSUMURA-TUNDISI, 2020).

A DBO é um parâmetro que mede a quantidade de oxigênio necessário para decompor a matéria orgânica na água. Os limites adequados são cruciais para evitar redução de oxigênio nos reservatórios, podendo causar a morte de organismos aquáticos (CETESB, 2008).

O nitrogênio amoniacal pode ser tóxico para a vida aquática em concentrações elevadas, e gerar a nitrificação, também afetando a qualidade da água e vida aquática (SILVA et al, 2016).

A presença do fósforo em excesso pode causar eutrofização, resultando em crescimento excessivo de algas, reduzindo o oxigênio dissolvido (KLEIN & AGNE, 2012).

Níveis elevados de SDT podem vir a tornar a água inadequada para consumo humano e aplicações industriais (ALVES & MORAES, 2016).

Na Tabela 9 são exibidos os resultados analisados no primeiro e segundo semestre do ano de 2022.

Tabela 9 - Resultados das análises no ano de 2022.

Parâmetro (mg/L)	1º S - 2022		2º S - 2022		Limite CONAMA 357/2005
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
DBO*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	5,00
Nitrogênio Amoniacal**	0,20	0,19	0,05	0,07	3,70
Fósforo***	0,05	0,03	<0,05	0,03	0,05
Sólidos Dissolvidos Totais****	90,00	92,00	54,00	64,00	500,00

Ensaios realizados pelo laboratório acreditado sob IAP CCL 002A

* Método SM 5210/B

** Método SM 4500-NH₃/F

*** Método SM 4500-P/E

**** Método SM 2540/C

Aplicando o cálculo do ICE (Fórmulas 2 a 5), e verificando-se que não houve nenhum desvio dos parâmetros de DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo e sólidos dissolvidos totais, o resultado do ICE é 100, enquadra-se como Excelente no limiar do CCME (2001) e atesta que a qualidade está protegida com virtual ausência de ameaça ou prejuízo.

Observando-se integralmente os resultados obtidos com a avaliação fragilidade ambiental relacionada ao uso do solo, a manutenção da vegetação ciliar voltada à qualidade da água, constata-se que práticas de manejo sustentável na implantação da silvicultura, atividade de grande relevância na região de estudo, incluindo o plantio em mosaico, garantindo a conservação de vegetação nativa, recuperação de áreas degradadas e manutenção dos corredores ecológicos para preservar a biodiversidade.

Áreas circundadas por vegetação em bom estado conservação influenciam positivamente em suas áreas adjacentes, assim como, uma APP não preservada pode impactar negativamente na qualidade da água (MARMONTEL & RODRIGUES, 2015).

Isso também foi verificado no estudo conduzido por Franco et al, (2012), em que a fragilidade ambiental reflete a situação atual da região, uma vez que haja alteração no uso do solo, altera-se o grau de fragilidade, e identificou-se também que as alterações da qualidade da água refletiram a presença de áreas com menor ou maior fragilidade ambiental.

Pereira (2016), ao relacionar o mapeamento do uso do solo nas áreas de APP com a classificação da qualidade da água identificou uma alta relação entre a preservação da vegetação natural nas APPs e a manutenção da qualidade da água.

Dessa forma, analisando-se integradamente os resultados de fragilidade ambiental identificados, ICE e avaliação da APP, como medidas mitigadoras cita-se às relacionadas ao planejamento de uso do solo:

- Correlacionar as maiores fragilidades ao tipo de uso do solo adequado na região;
- Evitar atividades antrópicas ou urbanizadas em regiões com altas declividades associadas à solos como Neossolos Litólicos;
- Manter/recuperar vegetação às margens de corpos hídricos, regiões de altos morros, encostas com declividade acentuada e áreas com inclinação maior que 45°;
- Elaboração e Implementação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)
 - Adequação topográfica
 - Condições do solo e vegetação
 - Sistemas de drenagem

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi conduzido, as análises da fragilidade emergente, avaliação da APP e aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento, mostram que a região ao entorno do reservatório da Pequena Central Hidrelétrica está conforme ambientalmente, uma vez que todos os resultados obtidos, levam à mesma constatação.

A região de estudo não apresenta pontos críticos de fragilidade ambiental voltadas à declividade, tipo de solo e uso do solo. A adequada cobertura vegetal, bem como, as APPS verificadas pelo mapeamento de uso do solo, e mapeamento aéreo estão cumprindo seu papel como filtros naturais.

Um ponto de destaque desta pesquisa, é a utilização de metodologias acadêmicas no mercado ambiental, agregando valor às pesquisas e trabalhos desenvolvidos por universidades, bem como, gerando material acessível e eficiente aos profissionais da área ambiental, por exemplo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, R. A. F. (2022). A geopolítica das energias renováveis: o Brasil em meio a um cenário global em transformação. *Revista de Relações Internacionais da UFGD* 11, 118–150.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2022). Dicionário de Metadados do Conjunto de dados. <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/empreendimentos-em-operacao/resource/67cf0896-8854-4bef-991e-882985356e34>. Acesso em 11 de Julho de 2023.

AHN, S. R., KIM, S. J. (2022). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental Modelling e Software*.

ALMEIDA, G. G.; ROESLER, D. A.; NICÁCIO, J. A.; (2023). Impacto ambiental e desenvolvimento territorial: o caso dos municípios Lindeiros, Paraná, Brasil. *GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 25, 151-169. DOI: <https://doi.org/10.17127/got/2023.25.008>

ALVES, W. S., MORAES, W. A. (2016). Qualidade e estado trófico da água do córrego Barrinha localizado no município de Rio Verde, sudoeste de Goiás, Brasil. *Geoambiente On-line*, 26, 1-18.

ANANIAS, A. M. (2022). Impactos ambientais da construção e operação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

ANDRADE A. L., SANTOS, M. A. (2018). Razões e critérios para definição da viabilidade ambiental de hidrelétricas no Brasil. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 7, 284–299.

ARANHA, M. B. (2022). Análise espaço-temporal da ictiofauna no reservatório da usina hidrelétrica de Itá. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina.

AQUINO, C. M. S., VALLADARES, G. S. (2013). Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. *Geografia* 22, 117-138.

BAYAZIT et al. (2017). An investigation of small scale hydropower plants using the geographic information system. *Renew. Sustain. Energy* 67, 289-294.

BIESDORF, D. L., MIOTO, C. L., BARBOSA, D. S., SILVA, N. M. (2022). Bibliometric study of geotechnologies on the analysis of environmental vulnerability: perspectives for environmental management. *Research, Society and Development* 11, 1-15.

BIRRO, S. O. G. (2019). Análise da Paisagem na Bacia do Rio Corrente: Estudo de Fragilidade Ambiental na Área de Influência Direta da UHE de Espora. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de

Goiás.

BRASIL (2010). Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Lei nº 12.334, 20 de setembro de 2010.

BRASIL (2012). Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais. Lei 12.651, 25 de maio de 2012.

BRASIL (2020). Enquadramento dos corpos d'água em classe. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 31 de dezembro de 2019

BRITO, A. C., OLIVEIRA, D. E., RIBEIRO, F. G., AZEVEDO, G. R., SEDA, P. C. (2022). Estudo sobre as fontes renováveis mais viáveis para produção de energia no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Elétrica, Ânima Educação.

CAMPOS-TABERNER, M.; MORENO-MARTÍNEZ, Á.; GARCÍA-HARO, F. J.; CAMPS-VALLS, G.; ROBINSON, N. P.; KATTGE, J.; RUNNING, S. W. Global estimation of biophysical variables from Google Earth Engine platform. Remote Sensing, v.10, n.8, p.1167, 2018.

CARVALHO, A. P. M. (2023). Estudo sobre as políticas e ferramentas de gestão ambiental no Brasil. Journal of Education, Science and Health 3, 1-10.

CARVALHO, N.O. (2008). Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: Interciência. CAVALCANTE, J. C. (2020). Fragilidade Ambiental na bacia do rio Mocajuba – PA. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará.

RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Apêndice A. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2008. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguassuperficiais/35-publicacoes-relatorios>. Acesso em: 30 jun. 2024.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE) (2015). Finalização do Plano da Bacia do Rio Tibagi. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/produto_05_proposta_de_enquadramento_-_revisao_5.pdf. Acesso em: 13 mar. 2024.

COELHO, C. W. M., RODRIGUES, D. S., SANTOS, J. E. K., ROCHA, I. B., SIQUEIRA, T. M. (2022). Approaching Fauna Aspects in the Licensing of Hydroelectric Plants in Brazil. Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC 10, 1-22.

COLLAÇO, F. M. A. BERMANN, C. (2017). Perspectivas da gestão de energia em

âmbito municipal no Brasil. Revista de Estudos Avançados 31.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (2020). Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências. Resolução 107, 09 de setembro de 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1997). Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Resolução 247, 22 de dezembro de 1997. Licenciamento Ambiental – normas e procedimentos 644-652.

CONSÓRCIO INTERNACIONAL PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO TIBAGI (COPATI) (2019). Rio Tibagi. Disponível em: <https://copati.org.br/tibagi/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CORDOVA, B. O. (2016). Gestão ambiental em empreendimentos de geração de energia hidroelétrica. MBA Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental, Instituto de Pós-Graduação – IPOG.

COSTA B. B. et al. Licenciamento Ambiental no Brasil sobre usinas hidrelétricas: um estudo de caso da usina de Belo Monte, no Rio Xingu (PA). Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE. 1, 19–33, 2012.

COSTA, P., BARROSO, G. R., OLIVEIRA, K. L., STARLING, M. C. V. M., OLIVEIRA, S. (2022). Dinâmica espaço-temporal da qualidade das águas superficiais de dois grandes reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental 27, 893-907.

COURA, M. R. (2020). Análise da alteração da qualidade das águas superficiais impactadas por usinas hidrelétricas recém implantadas na Amazônia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

CRUZ, J. S. (2018). Modelo vazão-velocidade para avaliação de potencial hidrocinético. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.

DAYRELL, J. S. (2022). Avaliação espaço-temporal dos efeitos da inundação de habitats sobre a diversidade taxonômica e funcional de anuros em uma hidrelétrica a fio d'água na Amazônia, Brasil. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

DEGENHART, T. S. S. A. (2021). Impactos ambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas no estado de Rondônia. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdade de Educação e Meio Ambiente.

DELIZA, E. E., ALMEID, F. M., FILHO, F. S. P., CALDERARO, I. F. N.,

ARENHARDT, V., SILVA, D. G. (2017). Environmental impacts of small hydropower plants in the state of Rondônia. Forest Engineering.

DINIZ, C. C. M. (2023). Avaliação da conformidade ao enquadramento de corpos hídricos superficiais na unidade territorial estratégica Ribeirão Jequitibá/MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá.

DODDS, W.K., WHILES, M. R. (2020). Lakes and reservoirs: physiography. Freshwater ecology Massachusetts: Academic Press, 155-187.

DRUSCH, M., DEL BELLO, U., CARLIER, S., COLIN, O., FERNANDEZ, V., GASCON, F., ... e ZUHLKE, M. (2021). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Remote sensing of environment, 120, 25-36.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (2023). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 17 mai. de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2024). Balanço Energético Nacional (BEN), Ano Base 2023.

ESA. Copernicus Sentinel-2. European Space Agency. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 9 mai. 2024.

FARIAS, M. E. A. C., MARTINS, M. F., CÂNDIDO, G. A. (2021). Agenda 2030 e Energias Renováveis: sinergias e desafios para alcance do desenvolvimento sustentável. Research, Society and Development 10, 1-14.

FARR, T. G., ROSEN, P. A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., ... e ALSDORF, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45.

FÁVERO, V. O. ET AL. Estudo de aplicação de uma microcentral hidrelétrica para reaproveitamento de energia em estação de tratamento de esgoto. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação 4, 1-14.

FIERZ, M. S. M. A serra do mar e a planície costeira em São Paulo: morfogênese, morfodinâmica e as suas fragilidades. Boletim Paulista de Geografia, n. 100, 2018. Disponível em: <https://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/boletimpaulista/article/view/1497>. Acesso em: 05 jul. 2024.

FLORENZANO, T. G. (2011). Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de texto. 97.

FRACTAL ENGENHARIA E SISTEMAS (2022). Plano de Segurança de Barragem. Volume I, 2, 1-63.

FRANCO, G. B., BETIM, L. S., MARQUES, E. A. G., GOMES, R. L., CHAGAS, C. S. (2012). Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 42, 114-127.

FONSECA, E. H., CIROLINI, A., BRUCH, A. F. (2023). Método de análise hierárquica de processos (AHP) aplicado a fragilidade ambiental da Sub-bacia

Hidrográfica Rolante, Brasil. Revista de Ciências Ambientais, 17, 1-18.

GAIO, A. (2021). O licenciamento ambiental de atividades e empreendimentos sujeitos à realização de EIA/RIMA como instrumento de controle de impactos e danos climáticos. In GAIO, A. (Eds.). A Política Nacional de Mudanças Climáticas em Ação: a atuação do Ministério Público. Belo Horizonte: ABRAMPA.

GASQUES, A. C. F. NEVES, G. L. SANTOS, J. D. MAUAD, F. F. OLKAWA, C. M. P. (2018). Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica. Revista Eletrônica de Engenharia Civil 14, 60-70.

GIRARDI, R., PINHEIRO, A., VENZON, P. T. (2019). Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. REGA, 16, 1-14.

GOMES. C. S., PULICE, S. M. P, ROQUETTI, D. R., MORETTO, E. M. (2017). Usinas Hidrelétricas e Desenvolvimento Municipal: O Caso das Usinas Hidrelétricas do Complexo Pelotas-Uruguai. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade 6, 150–163.

GOMES, P. S., CABRAL, J. B. P., BARCELOS, A. A., RAMALHO, F. L., ROCHA, I. R., PEREIRA FILHO, W. (2022). Avaliação espaço-temporal de constituintes opticamente ativos e caracterização espectral das águas de um reservatório no cerrado brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física 15, 2654-2670.

GOMES E SILVA, L. L., CASAGRANDE, A. Desafios e Oportunidades da Legislação Ambiental para o Manejo Agroflorestal de Áreas de Preservação Permanente na Mata Atlântica (2024). Cadernos de Agroecologia. 19.

GOMES, W. M. B.; SILVA, J. A. A. (2020). Potencialidades e desafios das energias renováveis para o desenvolvimento sustentável: análise do programa de certificação de energia renovável no Brasil. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental 9, 545-565.

HINATA, S. S., KALISKI, A. D., WOLFF, C. B., SCOTTÁ, F. C., SCHUSTER, R. C., SOUZA, W. L. Z. M., e CARDONE, L. B. (2023). Situação de corpos hídricos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul sob a perspectiva do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). Revista de Gestão de Água da América Latina, 20, 1-23. <https://doi.org/10.21168/reg.v20e23>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2020). Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?et=o-que-e>.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. (2020). Novo sistema online facilita informações sobre a cobertura florestal do Estado. <https://www.iat.pr.gov.br/Noticia/Novo-sistema-online-facilita-informacoes-sobre-cobertura-florestal-do-Estado>. Acesso em 01 de Agosto de 2023.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. (2023a). Licenciamento de atividades específicas. <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Licenciamento-de-atividades-especificas>. Acesso em 23 de Junho de 2023.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. (2023b). Modalidades de Licenciamento. <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/O-que-e-Licenciamento-Ambiental>. Acesso em 23 de Junho de 2023.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. (2023c). Unidades Pedológicas. https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/tibagi-09-unidades_pedologicas.pdf. Acesso em 20 de Janeiro de 2024.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. (2023d). Unidades Geológicas. https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/tibagi-05-unidades_geologicas.pdf. Acesso em 20 de Janeiro de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2023). Comprovar atendimento de condicionantes do Licenciamento Ambiental Federal. <https://www.gov.br/pt-br/servicos/atendimento-de-condicionantes-do-licenciamento-ambiental-federal#:~:text=As%20condicionantes%20do%20licenciamento%20ambiental,e%20a%20atividades%20objeto%20do%20licenciamento>. Acesso em 20 de junho de 2023.

ISHIZAKI, F. T. (2020). A inclusão da variável climática no processo de licenciamento ambiental: uma breve análise da realidade do Estado de São Paulo. *Confins* (online) 46.

JOSÉ, T.H. S., FARIAS NETO, J. P., ROSA, D. M., VENDRUSCOLO, J., SANTOS JUNIOR., N. R. F., FURLAN. J. A., CAVALHEIRO, W. C. S., SOUZA, S. B., TRONCO, K. M. Q., HARA, F. A. S. (2022). Geotecnologia aplicada na análise hidrogeomorfométrica da microbacia do rio Anta Atirada, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Científica Multidisciplinar* 3, 1-24.

KLEIN, C., AGNE, S. A. A. (2012). Fosforo: de nutriente à poluente. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8, 1713-1721.

LEITE, R. BRITO, J. L. S. (2012). Sensoriamento remoto aplicado à análise temporal da relação uso da terra / temperatura e albedo de superfície na bacia do Rio Vieira no Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 10, 69-84.

LI, Z., MA, J., GUO, J., PAERL, H.W., BROOKES, J.D., XIAO, Y., FANG, F., OUYANG, W., LU, L. (2019). Water quality trends in the Three Gorges Reservoir region before and after impoundment (1992-2016). *Ecohydrology e Hydrobiology* 19, 317-327.

LIMA, L. G. DE, e ZAKIA, M. J. B. (2020). Função e importância das áreas de preservação permanente em ambientes de represas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, e35. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190177>.

LISBOA, H. M. (2019). Gestão ambiental no processo de licenciamento e

implantação de hidrelétricas. *Ambiente e Sociedade* 22, 141-162.

LOPES, P. V. F., COSTA, C. M. D. S. B., ALMEIDA, A. K.; DE ALMEIDA, I. K. (2022). Sustainability assessment model for Brazilian hydroelectric projects using multicriteria analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 51.

LOPES, S. M. (2019). Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira e corpos hídricos relacionados: uma abordagem de longo prazo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MAIA, K. P., SILVA, G. A., LIBÂNIO, M. (2019). Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, 1013-1025.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V.A. (2015). Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. *Floresta e Ambiente*, 22, 171-181.

MARTINUV. (2021). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia.

MEDEIROS, J. S., CÂMARA, G. (2017), Geoprocessamento para projetos Ambientais.

https://www.academia.edu/510120/Geoprocessamento_para_projetos_ambientais>. Acesso em 11 de Julho de 2023.

MESQUITA, M., MARINHO, N., CARNEIRO, C. P. (2023). A Geopolítica da Energia na Fronteira Brasil - Paraguai: O Tratado de Itaipu. *Revista (Re)Definições das Fronteiras* 1, 58–73.

MOREIRA, D. A. (2021). Litigância Climática no Brasil: argumentos jurídicos para a inserção da variável climática no licenciamento ambiental. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio.

OLIVEIRA, A. H., CAMPOS, M. C. C., MARQUES JÚNIOR, J., SIQUEIRA, D. S., e RODRIGUES, M. S. (2020). Soil attributes and use capacity of an Oxisol under different uses in the Western Amazon. *Acta Amazonica*, 50(3), 201-209. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201901322>.

OLIVEIRA, K.L. (2020). Qualidade das águas superficiais de reservatórios e principais tributários: estudo de caso do reservatório da Usina Hidrelétrica de Irapé - MG. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, M. A., SELLITTO, M. A., FLORES, S. J. (2022). Impactos econômicos, sociais e ambientais da geração de energia eólica em comunidades do Rio Grande do Norte. *Revista REUNIR* 12, 107-119.

PARANÁ (2018). Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Portaria 046, 27 de novembro de 2018.

PARANÁ (2023). Comitê da Bacia do Rio Tibagi. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Comite-da-Bacia-do-Rio-Tibagi>. Acesso em: 13 mar. 2024.

PEREIRA, B. W. F. (2016). Avaliação da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural da Amazônia.

RAMOS, R., SALBEGO, A. G. (2016). Caracterização do entorno e das áreas de preservação permanente do reservatório artificial da usina hidrelétrica Ernestina/RS. 2. ed. Guarapuava, 2016.

REBOLLAR, P., GUERRA, J., YOUSSEF, Y. (2011). Energias Renováveis Energia Hídrica.

RIBEIRO, L. C., AFONSO, R. F., SOUZA, D. B., RIVA, F. R., SOUZA FILHO, T. A. (2021). Impactos nos recursos naturais e a governança na construção de usinas hidrelétricas. P2P e INOVAÇÃO, 56-76.

RIBEIRO, K. V. (2019). Análise da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, Estado do Piauí. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí.

RODRIGUES, R. C. S., MINOTI, R. T., ALVES, C. M. A. (2024). Avaliação da qualidade das águas superficiais em cursos d'água na bacia hidrográfica do rio Paranaíba a partir da análise do IQA e ICE. Revista Geo Ambiente On-line, 45, 157-179.

ROGERIO, M. S. (2016). Construção de hidrelétricas no Rio Uruguai: Comunicações políticas e jurídicas relacionadas aos impactos ambientais e sociais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Direito, Universidade Regional do Nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

ROSA, R. (2011). Geotecnologias na Geografia. Revista do Departamento de Geografia 16, 81-90.

ROSS, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia 8. 63-74.

SANTANA, J. C. S., RIBEIRO, M. E. O., SOUZA, J. P. S., PERES, S. M. (2020) O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável. Revista Portos: por um mundo mais sustentável 1, 98-111.

SANTOS, B. C. (2022). Avaliação da APP do entorno de centrais geradoras

hidrelétricas no noroeste do RS. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria.

SANTOS, L. M. (2023). Avaliação do projeto de recuperação de área de preservação permanente da pequena central hidrelétrica Bela Vista, implantada entre os municípios de Verê e São João no Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Restauração Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SANTOS, P. R. O (2024). Dinâmica Temporal e Espacial do plantio de eucalipto no eixo municipal Curvelo-Corinto, Minas Gerais, Brasil. *Territorium Terram*, 4, 58-76.

SCHULTZ, A. M. B., DALLAVECHIA, G. S. O. (2022). Energias Renováveis e Sustentabilidade: uma revisão. XXVII Jornada da Pesquisa

SELLITTO, M. A., MURAKAMI, F. K., BUTTURI, M. A.; MARINELLI, S., KADEL, N., JR., RIMINI, B. (2021). Barriers, drivers, and relationships in industrial symbiosis of a network of Brazilian manufacturing companies. *Sustainable Production and Consumption* 26, 443-454.

SERRÃO, E. A. O. (2022). Impactos das mudanças climáticas e do uso da terra na produção hidrelétrica na Amazônia Oriental. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande.

SHIZAKI, F. T. (2020). A inclusão da variável climática no processo de licenciamento ambiental: uma breve análise da realidade do Estado de São Paulo. *Confins* 46.

SIDDIQUE, M. A. B. et al. (2022). Multivariate statistics and entropy theory for irrigation water quality and entropy-weighted index development in a subtropical urban river, Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.

SILVA, A. A. S. (2024). Fragilidade ambiental e estimativa de perdas de solo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Tietê/Batalha (UGRHI – 16) / SP. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UESP, Presidente Prudente.

SILVA, A. L. P., TEIXEIRA, W. G., e RESENDE, M. (2021). Pedogenesis and classification of litholic neosols and related soils in a mountainous tropical region, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, e0210075. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210075>.

SILVA, B. R., PAULA, L. D. L. (2022). Análise temporal das fragilidades ambientais na área de influência direta da usina hidrelétrica Corumbá IV, no estado de Goiás. Trabalho de Conclusão de Curso, Coordenação de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

SILVA, I. S., CAPOANE, V. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Verde – MS (2024). *Revista Pantaneira*, 25.

SILVA, J. M., SILVA, T. T., BECKER, H. (2016). Otimização da análise de nitrogênio amoniacal em águas de reservatórios. *Revista Encontros Universitários da UFC*, 1.

SILVA, K. A., COSTA E SILVA, L. V., SILVA, F. L., SILVA, A. T. F. Estudo de impactos ambientais à luz dos princípios ambientais do direito: o caso da Barragem de Fronteiras (2023). Observatório de la Economía Latinoamericana, 21.

SILVA, K. B. O., ROGÉRIO JÚNIOR, L., ALVES, G. H., DIAS, M. C., SILVA, A. M. B. (2022). Uma análise da geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas no Brasil. Desvendando a engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade 4, 83-104.

TAVARES FILHO, J., BARBOSA, G. M. DE C., e FONSECA, I. C. B. (2021). Physical attributes of soils and agronomic traits of soybean grown under different tillage systems. Scientia Agricola, 78(1), e20190077. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0077>.

TEODORO, P. E. (2012). Geoprocessamento e sua Importância na Engenharia. [S. l.] <http://www.brasilengenharia.com/portal/palavra-do-leitor/1291-geoprocessamento-e-sua-importancia-na-engenharia#:~:text=Na%20%C3%A1rea%20ambiental%2C%20o%20geoprocessamento,res%20%C3%ADduos%2C%20e%20assim%20por%20adiante>. Acesso em 8 de Julho de 2023.

TRINDADE, A. P. C. et al. (2017). Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 22, 13-24.

TUNDISI, J.G. (2018). Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. Water Security 4-5, 1-7.

TUNDISI, J. G., e Matsumura-Tundisi, T. (2020). Limnologia. Oficina de Textos. ISBN: 978-85-7975-333-5.

VALLE, I. C., FRANCELINO, M. R., PINHEIRO, H. S. K. (2016). Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. Floresta e Ambiente 23, 295308.

XIN, X.K., LI, K.F., FINLAYSON, B., YIN, W. (2014). Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China. Water Science and Engineering 8, 30-39.

ZANCHETTA, I., ASSINE, M. L., e CHIESSI, C. M. (2015). The geomorphological and hydrological setting of the Tibagi River watershed, southern Brazil. Geomorphology, 234, 98-113. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.009>

ZANIBONI-FILHO, E., RIBOLLI, J., HERMES-SILVA, S., NUÑER, A. P. O. (2017). Wide reproductive period of a long-distance migratory fish in a subtropical river, Brazil. Neotropical Ichthyology 15, 3-8.

WEBER, E. LAHM, R. KAEHLER, J. W. CARVALHO, T. M. RIGHETO, J. ZANONI, C. BARROS, M. FREITAS, E. (2003). O Geoprocessamento na Gestão da Transmissão e Distribuição de Energia: Um Estudo de Caso. Anais XI SBSR, INPE,

1027-1034.

WEGNER, N. (2018). Levantamento do potencial hidroenergético na bacia do Paraná 3 utilizando geotecnologias. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel.

WEGNER, N. et al. (2019). Hydro energy potential considering environmental variables and water availability in Paraná Hydrographic Basin 3. *Journal of Hydrology* 580.

WINEMILLER, K. O. et al. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science* 351, 128-129.

WISCHMEIER, W. H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 23. 246–249.

WRUBBLACK, S. C. (2016). Aplicação conjunta de técnicas de sensoriamento remoto orbital e sistemas de informações geográficas na gestão dos recursos hídricos. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.