



**PRISCILLA ALINE SANGRA ORDONEZ**

**USO DE GEOTECNOLOGIA EM ESTUDOS SOBRE O USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DE USINAS  
HIDRELÉTRICAS: O CASO DA UHE FUNIL, EM MG**

**LAVRAS - MG**

**2023**

**PRISCILLA ALINE SANGRA ORDONEZ**

**USO DE GEOTECNOLOGIA EM ESTUDOS SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DE USINAS HIDRELÉTRICAS: O CASO DA UHE FUNIL, EM MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. Dr. Luís Antônio Coimbra Borges  
Orientador  
Me. Gustavo Antomar Batista Gontijo  
Coorientador

**Lavras - MG**

**2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ordonez, Priscilla Aline Sangra.

Uso de geotecnologias em estudos sobre o uso e ocupação do solo no entorno de usinas hidrelétricas: o caso da UHE Funil, em MG / Priscilla Aline Sangra Ordonez. - 2023.

45 p.: il.

Orientador(a): Luís Antônio Coimbra Borges.

Coorientador(a): Gustavo Antomar Batista Gontijo.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Impactos ambientais. 2. Hidrelétricas. 3. Geotecnologias. I. Borges, Luís Antônio Coimbra. II. Gontijo, Gustavo Antomar Batista. III. Título.

*Dedico aos meus pais Lucinda e Márcio,  
por todo incentivo, amor e apoio durante  
toda essa jornada e toda minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por iluminar meu caminho e por todas as bênçãos, sempre me proporcionando força e sabedoria para concluir mais uma importante etapa da minha vida.

Aos meus pais Lucinda e Márcio por todo amor, incentivo, carinho, ensinamentos e compreensão durante toda essa trajetória, onde nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos, se fazendo presentes em todos os momentos apesar da distância.

Aos meus irmãos Andrews e Victor, por todo apoio e por todas as conversas durante esses anos, vocês me inspiram.

Aos meus avós João, Virgínia, Nelma e Roberto que sempre me incentivaram e oraram por mim.

Ao meu companheiro Francisco, por sempre estar ao meu lado e por todo amor, apoio, companheirismo e incentivo nesta etapa da minha vida.

As minhas amigas Milena, Júlia, Larysse e Bianca, que desde o primeiro momento desta jornada já se tornaram essenciais para que tudo fosse mais leve, desde os perrengues até os melhores momentos.

A empresa júnior Preserva Jr e ao núcleo de estudos NEGEO por todos os momentos de dedicação e desenvolvimento que foi construído durante minha participação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Antônio (Totonho) e ao meu coorientador Me. Gustavo por toda ajuda e paciência durante a construção deste trabalho.

Aos professores do curso de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Lavras por todo conhecimento e vivência compartilhados.

*“A persistência é o caminho do êxito”  
(Charles Chaplin)*

## RESUMO

A construção e instalação de uma usina hidrelétrica traz ao local inúmeros impactos ambientais nos âmbitos físicos, bióticos e sociais. O empreendimento deve passar pelas etapas do licenciamento ambiental onde é preciso realizar o estudo de avaliação de impactos ambientais. Para esses estudos existem as geotecnologias, que por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, permitem um estudo temporal sobre o uso e ocupação do local, a fim de analisar mudanças ocorridas pelo impacto da instalação da UHE. Nessa perspectiva, o presente trabalho traz uma análise temporal dos anos 2000 e 2022 por meio do mapeamento do uso e ocupação do solo da área de entorno da UHE do Funil. Observou-se como resultado o aumento ligeiro de 0,73% para vegetação nativa e de 6,28% para área urbana, a diminuição de 14,52% das áreas utilizadas para agricultura e pecuária, além do significativo aumento de 7,52% da massa d'água devido a formação do reservatório. Dessa forma, foi possível concluir que houve uma leve melhora na qualidade ambiental da área no entorno devido ao aumento da vegetação nativa, evidenciando, também, o importante papel da legislação brasileira em relação aos impactos ambientais causados por empreendimentos de alto grau poluidor.

**Palavras-chave:** Avaliação de impactos ambientais. Geotecnologias. Uso e ocupação do solo. Hidrelétrica.

## ABSTRACT

The construction and installation of a hydroelectric power plant brings numerous environmental impacts, both physical, biotic, and social, to the area. Thus, the project must go through the environmental licensing steps where an environmental impact assessment study must be conducted. In this way, geotechnologies can assist these studies. Through satellite images and remote sensing and geoprocessing techniques, they allow for a temporal study of the land use and occupation in order to analyze changes caused by the impact of the hydroelectric power plant. However, this work presents a temporal analysis of the years 2000 and 2022 through the mapping of land use and occupation in the surroundings of the Funil Hydroelectric Power Plant. The results show a slight increase of 0.73% in native vegetation and 6.28% in urban area, a decrease of 14.52% in the areas used for agriculture and livestock, and a significant increase of 7.52% in water mass due to the formation of the reservoir. Thus, it was possible to conclude that there was a slight improvement in the environmental quality of the surrounding area due to the increase in native vegetation, also highlighting the important role of Brazilian legislation regarding environmental impacts caused by highly polluting projects.

**Keywords:** Environmental impact assessment. Geotechnologies. Land use and land cover. Hydropower plant.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura Usina Hidrelétrica .....	15
Figura 2 - Usina Marmelos, vista geral de jusante para montante com casa de força em primeiro plano e barramento vertente ao fundo .....	16
Figura 3 - - Usina Marmelos, detalhe do barramento vertente .....	16
Figura 4 - Participação de renováveis na matriz energética .....	21
Figura 5 - Matriz elétrica brasileira por fonte nos anos de 2020 e 2021 .....	22
Figura 6 - Base existente de Usinas Hidrelétricas no Brasil.....	22
Figura 7 - Dados armazenados em layers no SIG.....	26
Figura 8 - Esquema de diferença entre vetores e rasters.....	27
Figura 9 - Mapa de localização da Usina Hidrelétrica do Funil.....	28
Figura 10 - Uso e ocupação do solo da área de influência em agosto de 2006.....	29
Figura 11 - Delimitação da Área de Entorno da UHE Funil .....	30
Figura 12 - Fluxograma metodológico .....	31
Figura 13 - Mapeamento de uso e ocupação do solo da área de estudo da UHE Funil na data de 15/04/2000 .....	35
Figura 14 - Mapeamento de uso e ocupação do solo da área de estudo da UHE Funil na data de 19/09/2022 .....	36
Figura 15 - Comparação do uso e ocupação do solo nos anos 2000 e 2022 .....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Intervalos de qualidade de classificação do Índice Kappa.....	34
Tabela 2 - Resultado do Índice Kappa.....	35
Tabela 3 - Quantificação das classes determinadas no uso e ocupação do solo em 2000 e 2022.....	37

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Eventos de Energia Elétrica no Brasil 1880 e 2010.....	18
Quadro 2 - Programas Ambientais da UHE Funil que possuem interação com o PACUERA .....	38

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Índice Kappa.....	34
-------------------------------	----

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVO .....	14
2.1	Objetivos específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
3.1	Hidrelétricas .....	15
3.1.2	Breve contexto histórico .....	15
3.1.3	Panorama atual no Brasil .....	19
3.2	Impactos ambientais.....	23
3.2.1	Breve contextualização histórica da AIA no mundo e no Brasil .....	23
3.2.2	Impactos ambientais das hidrelétricas.....	24
3.3	Geotecnologias .....	25
4	METODOLOGIA.....	27
4.1	Caracterização e localização da área de estudo .....	27
4.2	Aplicação de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto .....	31
4.2.1	Aquisição das imagens de satélite.....	32
4.2.2	Pré-processamento das imagens de satélite .....	32
4.2.3	Mapeamento da área de estudo .....	32
4.2.4	Uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada .....	33
4.2.5	Pós-processamento.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
6	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS:.....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo o crescimento populacional tem se tornado mais concreto e evidente em todo o globo. Concomitantemente a ele, houve um crescimento significativo na demanda de produção de energia elétrica, acarretando, pois, uma maior exploração das fontes de energia a fim suprir tal necessidade. No Brasil, as hidrelétricas - que são fontes renováveis de energia - são majoritariamente as responsáveis pela geração de eletricidade, totalizando, no ano de 2021, cerca de 53,4% da produção total de energia elétrica em relação às outras fontes - conforme dados de matriz elétrica e energética disponibilizados no Relatório Síntese (BEM, 2021), apresentados pelo pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME).

Torna-se notório o fato de que as usinas hidrelétricas desempenham um importante papel na matriz elétrica brasileira. Para o seu funcionamento é necessária a construção de uma barragem que obstrui transversalmente um curso d'água, que por sua vez, terá o seu entorno inundado, formando, assim, um reservatório. A água do reservatório é então conduzida para o local onde há turbinas e, ao passar por essas turbinas, elas as ativam, transformando energia mecânica em energia elétrica pelo gerador elétrico rotativo das turbinas.

Em conformidade à Batista et al (2012), a construção e o funcionamento das usinas hidrelétricas trazem consigo grandes impactos ambientais negativos sobre o meio biológico, físico e socioeconômico. Afinal, trata-se de um empreendimento de grande magnitude que extrapola a área de instalação e torna, portanto, os impactos mais complexos (BORTOLETO, 2002). Nessa perspectiva, dentre os impactos oriundos da instalação de uma usina hidrelétrica, é possível citar a alteração do uso e ocupação do solo e da paisagem, a variação do fluxo da água no curso d'água, a perda de ecossistemas e de habitat para as espécies, a interferência na qualidade de vida e a perda do direito às propriedades para aqueles que vivem no entorno (BATISTA et al, 2012).

Tendo isso em vista, pode-se compreender que é grande a necessidade de se ter pesquisas e trabalhos que apresentem um panorama de verificação dos impactos socioambientais que advém da implementação dessa fonte de produção de energia, que, apesar de potente e de grande peso na matriz elétrica nacional, pode trazer diversos prejuízos àqueles que a orbitam. Ademais, pesquisas desse cunho mostram-se necessárias, também, para auxiliar ações futuras de recuperação de vegetação nativa, além de se constituírem como uma fonte segura para que a população possa se informar e cobrar, de forma embasada e crítica, que a

gestão cumpra de forma sistemática os planos e programas exigidos pelos órgãos ambientais licenciadores.

Diante da problemática exposta, o presente trabalho se propõe a fazer uma análise dos impactos ambientais que se constituíram em decorrência à implantação da Usina Hidrelétrica do Funil (UHE) - situada no sul de Minas Gerais. Para tanto, partiremos do uso da geotecnologia como metodologia, que, por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, utiliza imagens de satélites, sistemas de informações geográficas (SIG) e sistemas de posicionamento global (GPS), permitindo manipular e visualizar dados geográficos que auxiliam na análise e em tomadas de decisões pertinentes (ANDRADE et al, 2017), se mostrando, pois, uma forte aliada para os estudos de impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas.

## **2 OBJETIVO**

Usar geotecnologia em estudos sobre o uso e ocupação do solo no entorno da UHE Funil, em Minas Gerais.

### **2.1 Objetivos específicos**

- a) Realizar a apresentação da área onde está localizada a Usina Hidrelétrica do Funil, com aspectos ambientais e descrição da área de entorno da usina;
- b) Obter imagens de satélite com datas anteriores e posteriores à construção do empreendimento;
- c) Aplicar técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto nas imagens obtidas, realizando uma análise comparativa e temporal;
- d) Verificar os possíveis impactos causados na área de estudo com a construção e instalação do empreendimento de acordo com os resultados obtidos com as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo tem como objetivo revisar conceitos importantes e básicos para a compreensão dos processos e técnicas utilizados na metodologia.

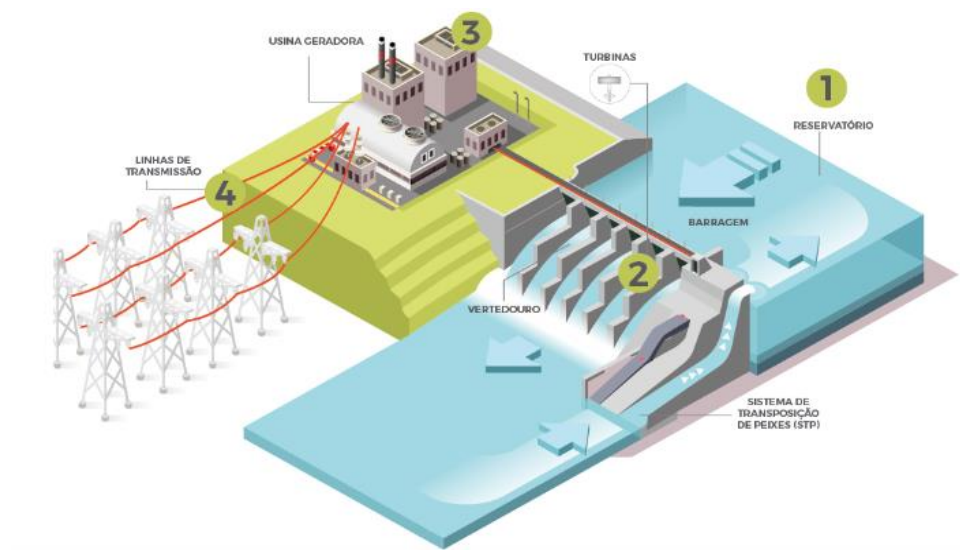
### 3.1 Hidrelétricas

Para melhor entendimento do assunto sobre as hidrelétricas, o presente tópico será dividido em três partes, contendo seu breve contexto histórico e o seu panorama atual no Brasil.

#### 3.1.2 Breve contexto histórico

Uma usina hidrelétrica é um conjunto de obras e equipamentos utilizados para gerar eletricidade a partir do potencial das águas dos rios. Isso é dado pela concentração do fluxo hidráulico e pelas diferenças topográficas existentes ao longo do canal, podendo elas serem naturais, como as quedas de cachoeiras, ou na forma de barragens ou reservatórios criados pelo desvio dos rios de seus leitos naturais. Existem, assim, dois tipos de reservatórios: o de acumulação e o de escoamento. Os reservatórios de acumulação são geralmente formados nas cabeceiras dos rios – onde surgem altas cachoeiras – e possuem alta capacidade de armazenamento de água. Por outro lado, os de escoamento utilizam a vazão da água do rio para gerar eletricidade, de modo que pouca água possa ser concentrada e acumulada.

Figura 1 - Estrutura Usina Hidrelétrica



Fonte: ALIANÇA ENERGIA

A partir do final do século XIX, de acordo com Oliveira (2018), o Brasil já vinha aderindo às novas tecnologias utilizadas para geração de eletricidade desenvolvidas principalmente pelos Estados Unidos e pela Europa. A tecnologia priorizada pelo Brasil foi a



utilização de hidrelétricas, justamente por ser um país que possui um privilégio hídrico – sendo composto por inúmeros rios e cachoeiras. Em 1883 a primeira barragem hidrelétrica brasileira foi fundada, sendo denominada como barragem do Ribeirão do Inferno, no rio Jequitinhonha, na cidade de Diamantina - MG, sendo utilizada para o fornecimento de energia para uma mina na qual realizava-se a extração de diamantes. Somente em 1889 que se teve a fundação da primeira usina hidrelétrica considerada de grande porte: Marmelos – instalada no rio Paraibuna, também localizada no estado de Minas Gerais.

Figura 2 - Usina Marmelos, vista geral de jusante para montante com casa de força em primeiro plano e barramento vertente ao fundo



Fonte: PEREIRA, 2015

Figura 3 - Usina Marmelos, detalhe do barramento vertente



Fonte: PEREIRA, 2015

Essa nova modalidade de produção de eletricidade se tornou cada vez mais presente e importante no cotidiano de todos. Houve, gradativamente, uma expansão na instalação de unidades de geração hidrelétrica e também de companhias que eram responsabilizadas pela

produção de energia e a sua distribuição, sendo a primeira a companhia Light, de origem canadense, e a segunda a companhia Amforp, de origem estadunidense.

Com o passar das décadas, a eletricidade gerada através de hidrelétricas foi se consolidando cada vez mais e o domínio estrangeiro sobre a produção e distribuição de eletricidade tornou-se mais evidente. Em 1930, teve início o governo de Getúlio Vargas no país, dando início à chamada “Era Vargas” – momento em que o Estado começou a enxergar a energia gerada como uma prioridade para a política do governo nacional, visando a centralização deste poder. Por meio do Decreto Federal 24.643, em 1934 entra em ação o Código das Águas, tratando assuntos sobre as águas doces, marinhas, superficiais, subterrâneas, pluviais, sobre contaminação, poluição, navegação e hidroeletricidade (KARPINSKI, 2017).

É possível considerar que o Código das Águas foi elaborado para estabelecer o regime jurídico das águas brasileiras, estipulando a classificação e uso da água – como o potencial hidráulico de uso – além de determinar os respectivos limites administrativos do interesse público. Em conformidade ao referido código, as águas brasileiras foram determinadas como águas públicas, podendo serem utilizadas para fins públicos ou privados (CETESB, 2020). Após a sua promulgação, em 1939 foi criado o Conselho Nacional de Água e Energia Elétrica (CNAEE), o qual foi responsável pela manutenção dos esquemas de interligação de usinas e sistemas elétricos e pela regulamentação do Código das Águas, além de revisar questões tributárias relacionadas ao setor elétrico e resolver conflitos entre administrações públicas e concessionárias (CMEB, 1988).

Durante o período da década de 60, já no governo do presidente Jânio Quadros, houve a criação do Ministério das Minas e Energia (MME) pela Lei nº 3.782, sendo este responsável por todos os assuntos relativos à energia e à produção mineral. Além disso, criou-se também a Eletrobrás pela Lei nº 3.890-A, atuando na geração de energia – sendo Vargas o responsável pelo seu projeto de lei.

De acordo com Lobato *et al* (2021), no período de 1930 a 1970, a política de desenvolvimento estruturou o setor elétrico com base na intervenção do Estado, estabelecendo reguladores e empresas públicas de energia. As usinas hidrelétricas tornaram-se, então, um meio para o Brasil realizar as promessas proclamadas pelo desenvolvimento (LOBATO *et al*, 2021). Posteriormente, com a Constituição Federal do ano de 1988, foi extinguido o poder privado sobre os recursos hídricos brasileiros (MACHADO, 2010 *apud* MARTINS, 2021).

Em 1996 foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com o objetivo de regular e fiscalizar as atividades de energia elétrica, sendo vinculada ao MME (CMEB, 2021).

Com o decorrer do tempo, novas legislações foram sendo criadas complementando as já existentes, como a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) – instituída pela Lei nº 9.433 do ano de 1997, responsável pela criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e outras implementações e modificações (MARTINS, 2021), afirmando que a água se torna um bem público (BRASIL, 1997). No ano de 2000 veio a criação da Agência Nacional das Águas (ANA) por meio da Lei nº 9.994, uma entidade federal que implementa a Política Nacional dos Recursos Hídricos, além de integrar ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos (Singreh) (BRASIL, 2000).

A partir da criação da Eletrobrás, obteve-se um maior impulso de construção de hidrelétricas (PEREIRA, 2015), sendo possível observar no quadro 1 abaixo, a cronologia dos principais acontecimentos em relação às hidrelétricas e à energia elétrica no Brasil no período de 1880 à 2010.

Quadro 1 - Eventos de Energia Elétrica no Brasil 1880 e 2010 (continua)

Ano	Evento
1889	1ª UHE de grande porte, Marmelos Zero, Cia. Mineira de Metais (JF-MG)
1892	1ª Linha de bondes elétricos do Rio de Janeiro
1903	Congresso aprova texto disciplinando o uso da energia elétrica
1905	Criada em 30/05, a The Rio de Janeiro LIGHT and Power Co. Ltd.
1908	Inauguração da UHE Fontes Velha, 12 MW, (RJ), a maior da América Latina e a 2ª do mundo
1909	Concluída a Ampliação de Fontes Velha para 24 MW
1912	Unificação da LIGHT RJ-SP. Companhia Paulista de Força e Luz
1913	UHE Delmiro Gouveia – 1ª hidrelétrica da cachoeira de Paulo Afonso no rio S. Francisco (BA)
1920	Capacidade instalada atinge 360 MW
1924	Inauguração da UHE Ilha dos Pombos
1930	Capacidade instalada atinge 780 MW (541 hidrelétricas, 337 térmicas e 13 mistas)
1934	Edição do Código de Águas
1940	Capacidade instalada atinge 1.250 MW

Quadro 2 - Eventos de Energia Elétrica no Brasil 1880 e 2010 (continua)

1941	CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
1942	CVRD – Companhia Vale do Rio Doce
1943	Ano de Início da Criação das Companhias Estaduais e Federais de Energia
1945	CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Início do projeto de Paulo Afonso I
1950	Capacidade instalada atinge 1.900 MW
1952	BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
1953	USELPA – Usinas Hidrelétricas do Rio Paranapanema
1954	UHE Paulo Afonso I em operação. CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina
1955	CHERP e CELUSA. CELG – Centrais Elétricas de Goiás
1956	ESCELSA – Centrais Elétricas do Espírito Santo
1957	FURNAS (iniciam-se os projetos de Porto Colômbia, Marimbondo, Estreito e Volta Grande)
1960	Capacidade instalada atinge 4.800 MW. Ministério das Minas e Energia
1961	ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A.
1962	CANAMBRA – <i>Canambra Engineering Company</i> executou estudos no Brasil
1963	UHE Furnas ligando MG-RJ-SP
1965	DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
1966	CESP – Cia Energética de São Paulo. Iniciam-se os projetos dos rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná. Jupia, I. Solteira, Á. Vermelha. Continuam os projetos do rio Paranaíba (S. Simão, Emborcação)
1968	ELETROSUL, UTE Santa Cruz, ENERAM (Comitê Coordenador dos Estudos Amazônia)
1969	GCOI – Grupo Coordenador da Operação Interligada
1970	Capacidade instalada atinge 11.460 MW

Quadro 3 - Eventos de Energia Elétrica no Brasil 1880 e 2010 (conclusão)

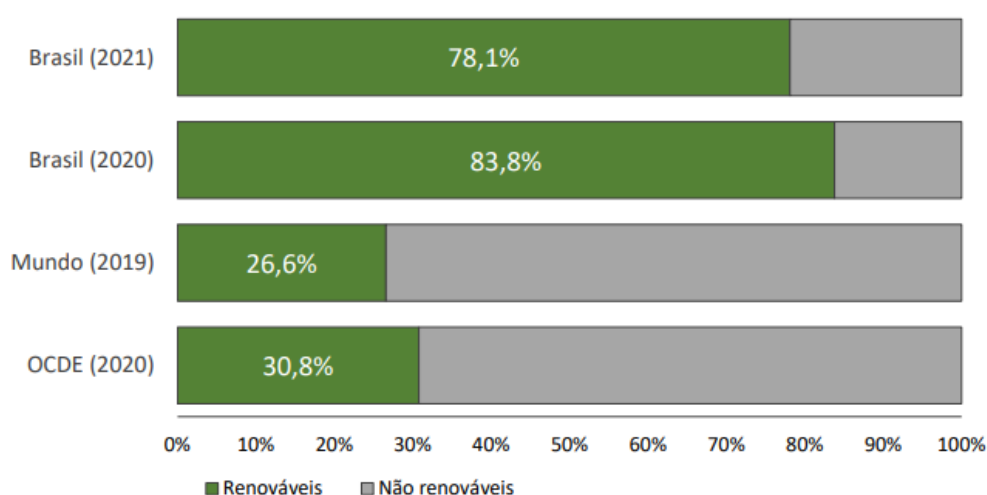
1973	ITAIPU, ELETRONORTE, NUCLEBRÁS, CEPEL
1979	LIGHT nacionalizada. UHE Sobradinho
1980	Capacidade instalada atinge 31.300 MW
1982	GCPS – Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema
1984	UHE Itaipu, UHE Tucuruí
1985	Usina Nuclear ANGRA I
1990	Capacidade instalada atinge 53.000 MW
1995	Iniciam-se os leilões de privatização
1996	ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
1997	ELETRONUCLEAR – Centrais Elétricas Nucleares
1998	MAE–Mercado Atacadista de Energia; ONS – Operador Nacional do Sistema
2000	Capacidade instalada atinge 72.200 MW. UHE Itá. Programa Prioritário de UTEs
2001	Crise, racionamento. UHE Lajeado
2001	UHE Canabrava. UHE Machadinho
2003	Capacidade Instalada atinge 77.300 MW
2004	EPE – Empresa de Pesquisa Energética (MME)
2005	CERAN – Complexo Energético do Rio das Antas
2007	UHE Campos Novos e UHE Barra Grande
2010	Capacidade Instalada atinge 78.658 MW
2012	UHE – Santo Antônio
2013	UHE - Jirau
2014	UHE – São Manuel
2015	Lei nº 13.203 sobre repactuação do risco hidrológico das geradoras
2016	UHE – Belo Monte
2018	Eletrobras encerra as suas atividades no segmento de distribuições
2021	CRGE – Câmara de regras excepcionais para gestão hidroenergética

Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2015

### 3.1.3 Panorama atual no Brasil

De acordo com o Relatório Síntese 2022, no qual foi utilizado o ano de 2021 como base para as informações, é possível afirmar que no Brasil a maior parte da matriz energética disponibilizada possui origem renovável, atingindo 78,1%, sendo que em 2020 atingiu 83,8%, enquanto no mundo apenas 26,6% da energia elétrica é de fonte renovável, o que pode ser observado no gráfico da figura 4 abaixo.

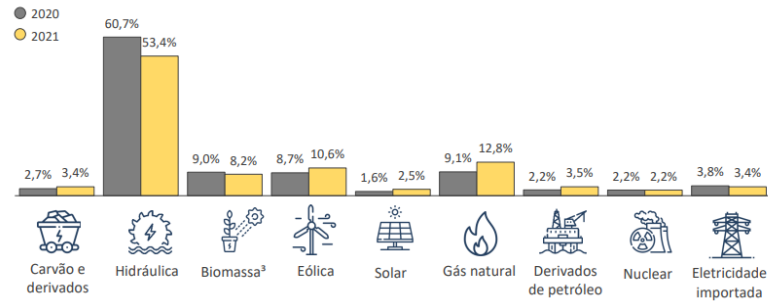
Figura 4 - Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2022

Há grande destaque para as fontes hídricas na matriz elétrica, que sozinhas atingem 53,4% da oferta interna. No ano de 2020, a porcentagem foi de 60,7%, e essa queda entre 2020 e 2021 se deu devido à escassez das chuvas sofrida ao longo de 2021, resultando na diminuição dos níveis dos reservatórios, e sendo esse déficit compensado por outras fontes como carvão, gás natural, eólica e solar fotovoltaica. Em 2021 a oferta total da matriz elétrica foi de 679,2 TWh, sendo 362,8 TWh de fonte hidráulica, conforme exposto na figura 5.

Figura 5 - Matriz elétrica brasileira por fonte nos anos de 2020 e 2021



Fonte: BEN, 2022

Segundo dados abertos disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (2022), o Brasil tem atualmente em operação 416 usinas hidrelétricas (UHE), 425 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e 733 centrais geradoras hidrelétricas (CGH) – conforme demonstra a figura 6 abaixo.

Figura 6 - Base existente de Usinas Hidrelétricas no Brasil



Fonte: Webmap EPE, 2022

## 3.2 Impactos ambientais

Este tópico será dividido em duas partes trazendo uma breve contextualização histórica da avaliação de impactos ambientais (AIA) no mundo e no Brasil e, em seguida, sobre os impactos ambientais das hidrelétricas.

### 3.2.1 Breve contextualização histórica da AIA no mundo e no Brasil

De acordo com Sánchez (2013), o termo “impacto ambiental” é comum e frequentemente encontrado no dia a dia, estando majoritariamente relacionado e associado a algum dano à natureza. Também pode ser conceituado como qualquer alteração feita no meio ambiente provocada por uma ação antrópica (MOREIRA, 1992).

A partir desse termo, foi sendo instituído no mundo a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA). Em 1969, os Estados Unidos tornaram-se o primeiro país a adotar a AIA, sendo aprovada pelo congresso norte-americano a Política Nacional do Meio Ambiente (*National Environmental Policy of Act*) sancionada no ano de 1970 (DIAS, 2001). Após esse marco, a AIA foi difundindo-se pelo mundo por meio da pressão de grupos ambientalistas, ações de bancos de fomento, conferências mundiais, tratados internacionais e uma parcela significativa das classes sociais (SÁNCHEZ, 2013).

Ainda em 1970, os primeiros países a adotarem o modelo foram o Canadá, a Nova Zelândia e a Austrália. Já no ano de 1972, houve a repercussão do chamado “Clube de Roma”, um grupo comissionado por cientistas, industriais e políticos com o intuito de levantar discussões e análises sobre os limites do crescimento econômico levando em consideração o uso dos recursos naturais. Nesse ano foi publicado o primeiro relatório do grupo, o Relatório de Meadows, que trouxe à tona, por meio de estudos de modelos matemáticos, a conclusão de que o Planeta Terra não conseguiria suportar a relação entre o crescimento populacional e a utilização dos recursos naturais, trazendo o fato de que os recursos naturais são visivelmente finitos.

Ainda na década de 70 – no ano de 1972, na Suécia – fomentou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. Conhecido como conferência de Estocolmo, o evento reuniu 113 países, desenvolvidos e subdesenvolvidos, resultando em discussões com conflitos de interesses sobre a temática do desenvolvimento a todo custo, e o “desenvolvimento zero” – que trazia a perspectiva de um controle populacional e a redução do crescimento econômico em prol da diminuição da exploração dos recursos naturais. Nessa perspectiva, surgiu o termo



“Ecodesenvolvimento”, trazendo a proposta de que é possível haver um equilíbrio entre o desenvolvimento e a preservação do meio ambiente.

No Brasil, o primeiro procedimento legal tratando de avaliação de impacto ambiental foi a Lei de Zoneamento Industrial de Áreas Críticas de Poluição, constituído pela Lei Federal 6.803/80 (Brasil, 1980). No ano seguinte, com a promulgação da Lei Federal 6.938/1981, veio a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que dispõe em seu Art. 9º, a Avaliação de Impacto Ambiental como Instrumento de Gestão Ambiental Pública (Brasil, 1981), sendo então utilizada em sistemas de licenciamento das atividades que possuem potencial poluidor ou que causem modificações no meio ambiente.

Ainda na década de 80, foi originado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da promulgação da Resolução nº 001/1986, que estabeleceu as normas básicas e diretrizes gerais para o estudo de impactos ambientais (EIA) (BRASIL, 1986). Somente na Constituição Federal de 1988 foi descrito de fato a obrigatoriedade dos estudos de impactos ambientais (EIA) para a realização das instalações e obras das atividades com potencial poluidor e de modificação do meio ambiente. Outra importante resolução CONAMA a ser citada é a nº 237/1997, a qual trouxe a definição dos procedimentos para a realização do licenciamento ambiental, contando com as etapas de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO).

### **3.2.2 Impactos ambientais das hidrelétricas**

As construções das hidrelétricas geram enorme impacto ao meio ambiente, que são identificados desde a sua fase de implantação até o final de seu funcionamento, ou seja, por toda sua vida útil (SOUSA, 2000). Os projetos das usinas hidrelétricas (UHE) devem trazer consigo desenvolvimento social e econômico, mas também devem levar em consideração o uso equilibrado dos recursos naturais. Para tanto, é preciso que haja gestão destes recursos desde a fase inicial de construção e instalação do empreendimento, até o fim de seu funcionamento para que seja possível maximizar os impactos positivos e minimizar os impactos negativos (BATISTA *et al*, 2012).

Ainda de acordo com Sousa (2000), os impactos físicos, químicos e biológicos causados pelas hidrelétricas podem ser descritos como:

- a) Impactos físicos: diminuição e alteração do fluxo da correnteza, favorecendo a deposição de sedimentos, tornando o ambiente lântico e decorrendo também mudanças de temperaturas;

- b) Impactos químicos: em consequência ao represamento, há a ocorrência de eutrofização, gerando reações químicas com produtos que podem ser nocivos à saúde humana;
- c) Impactos biológicos: o barramento também é responsável por causar uma barreira física para as espécies aquáticas, isolando populações e impedindo a piracema.

Além dos impactos citados acima, há também a eliminação dos ecossistemas às margens da área diretamente afetada e os impactos sociais causados pelo deslocamento das populações que residem ao redor dos locais em que acontecem os barramentos e a construção das UHE – sendo que muitas vezes não é dada a importância que deveria a essas populações nas tomadas de decisões (FEARNSIDE, 2019). É possível o entendimento de que ao considerar as UHE como fontes de “energia limpa”, não se considera as consequências negativas que são causadas ao ambiente e à sociedade local, considera-se apenas os impactos positivos.

São nesses casos de grandes projetos de construção de usinas hidrelétricas que, além de afetar o ecossistema e causar alterações na hidrografia da bacia, existe também o abandono considerável de áreas nos arredores da UHE, resultando em alterações na dinâmica do uso e cobertura do solo (TRAMONTINA; BREUNIG, 2015 *apud* SOUZA, 2004).

As transformações na paisagem causadas por mudanças no uso e cobertura da terra influenciam a dinâmica das populações de plantas e animais, encaminhando os desequilíbrios criados pela relação entre o homem e a natureza. Com a realização de análise temporal do uso e ocupação do solo é possível acompanhar a evolução dos padrões de organização geoespacial, e também identificar os recursos naturais regionais com riscos ambientais, o crescimento urbano, a expansão de atividades agrícolas, a degradação florestal, o assoreamento e a perda de terras (BOLZAN, 2006; PÉRICO *et al.*, 2006).

Acompanhar e monitorar esses impactos torna-se fundamental, pois permite planejar a compatibilização entre as atividades humanas e o meio ambiente (VENTURIERI *et al.*, 2005). O geoprocessamento, o sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica (SIG) surgiram como ferramentas importantes para estudar as características de mudança das paisagens (LANG; BLASCHKE, 2009).

### 3.3 Geotecnologias

De acordo com Ferraz *et al* (2015), o geoprocessamento é a disciplina que faz o uso de técnicas matemáticas e computacionais para processar informações geográficas e está afetando cada vez mais os campos da cartografia, análise de recursos naturais, transporte, comunicações,

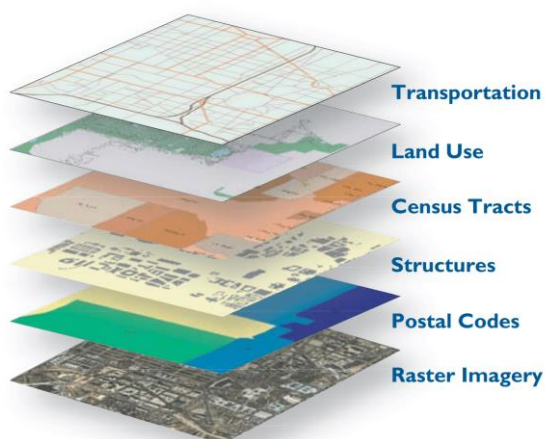
energia e planejamento urbano. As geotecnologias, por sua vez, são um conjunto de técnicas para coletar, processar, analisar e fornecer informações georreferenciadas. Esse conceito engloba várias tecnologias como o sensoriamento remoto – incluindo o uso de imagens geralmente obtidas por satélites –, aplicado em análises de multicritério, e o uso de softwares que suportam essas tecnologias, conhecidos como Sistema de Informação Geográfica – os SIGs.

Os SIGs são considerados sistemas que unem informações geográficas com bancos de dados contendo inúmeras outras informações correspondentes àquele conjunto de coordenadas geográficas específicas. Os SIGs permitem realizar análises combinando dados de diferentes fontes e criando bancos de dados georreferenciados (DAVIS; CÂMARA, 2001). Esse agrupamento permite a criação de mapas temáticos, onde é possível sobrepor e interpretar diversos tipos de informações (DELGADO, 2014).

Segundo Campos *et al.* (2004), o sensoriamento remoto e o geoprocessamento podem ser considerados como tecnologias fundamentais para uma documentação de registros a longo prazo do uso da terra. As imagens de satélite são importantes e úteis pois permitem avaliar as alterações da paisagem numa área e num determinado período. Assim, com esses registros periódicos fomenta-se dados para possíveis tomadas de decisões em relação às questões que envolvem o uso e ocupação de um determinado lugar.

Para realizar essas análises, os SIGs permitem a utilização de camadas vetoriais, nomeadas como *layers*, que podem ser sobrepostas umas às outras junto a imagens *rasters* de satélite – conforme exposto na figura 7 –, remetendo à realidade e trazendo determinadas informações sobre o local em questão (GIS, 2001).

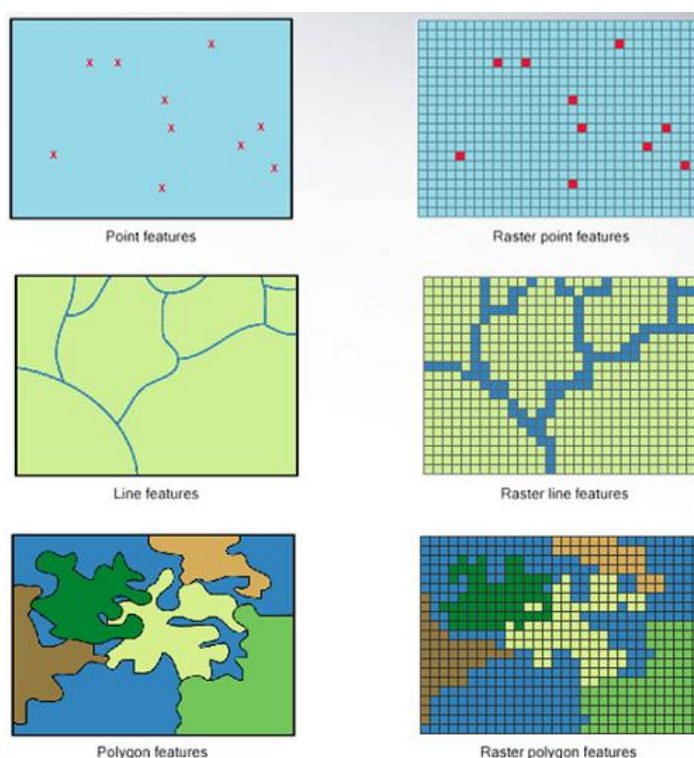
Figura 7 - Dados armazenados em *layers* no SIG



Fonte: Harvard, 2019

Constata-se a existência de dois tipos de formatos utilizados nos SIGs: os vetores e os *rasters*. Os vetores podem ser definidos matematicamente como uma série de pontos que são conectados, podendo ser pontos, linhas ou polígonos, e são independentes em relação aos seus dados que são atribuídos e às suas propriedades como cor, tamanho e contorno. Já os *rasters* podem ser definidos como um dado matricial, que, diferentemente dos vetores, são compostos por *pixels* formando linhas e colunas, como uma matriz. Cada *pixel* também possui um valor atribuído e ele representa a resolução da imagem *raster* – sendo que quanto menor forem os *pixels*, maior e superior será a resolução, e, quanto maior forem os pixels, menor e inferior será a resolução (UMBELINO; BARBIERI, 2008).

Figura 8 - Esquema de diferença entre vetores e *rasters*



Fonte: Humboldt State University, 2022

## 4 METODOLOGIA

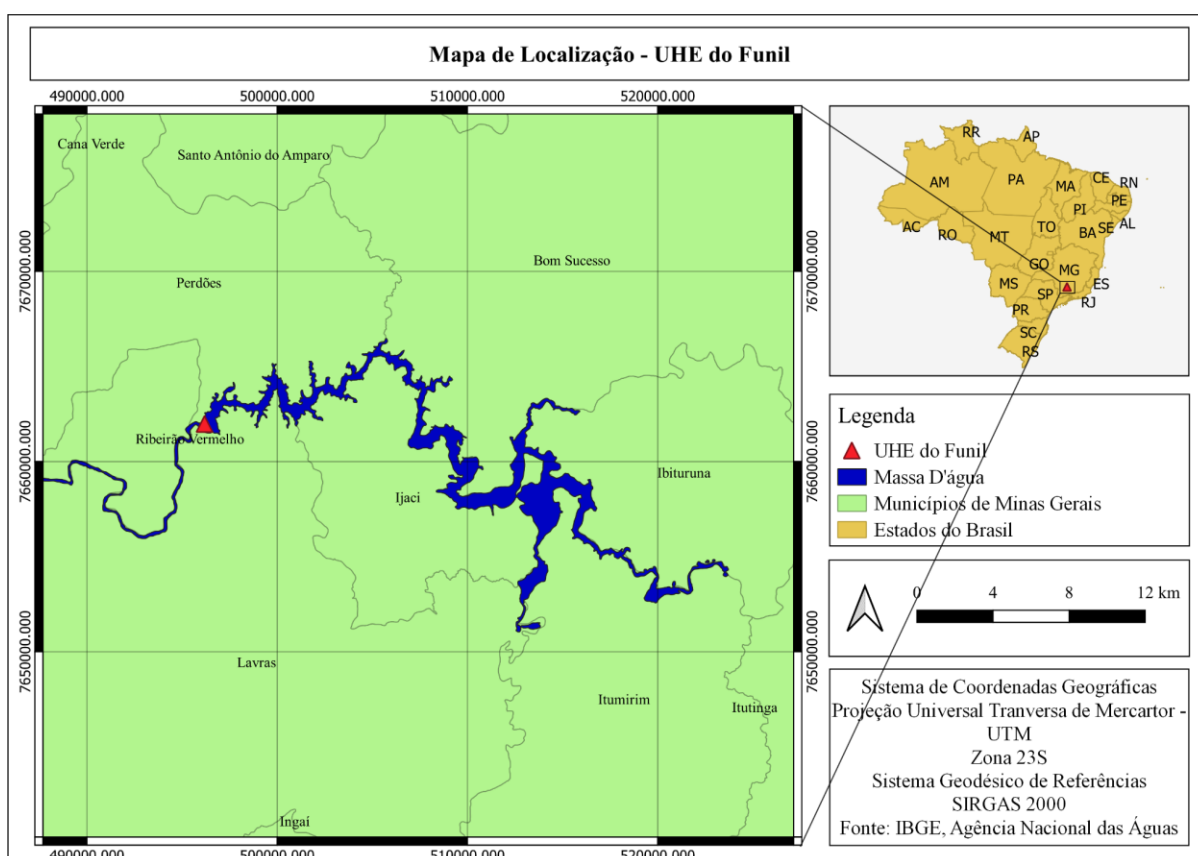
A seguir será descrita em etapas a metodologia utilizada no trabalho.

### 4.1 Caracterização e localização da área de estudo

Conforme expõe a figura 9, a Usina Hidrelétrica do Funil está localizada no estado de Minas Gerais, no município de Perdões, todavia, o seu reservatório faz fronteira com os municípios de Lavras, Ijaci e Itumirim à esquerda, e com Bom Sucesso e Ibituruna à direita. O município de Perdões, onde a UHE está de fato localizada, possui um clima tropical com altitude média de 848 metros, de acordo com informações da Prefeitura (PERDÕES, 2023). Segundo informações do censo do IBGE (2021), o município possui uma população estimada em 21.577 pessoas.

A UHE foi construída na bacia hidrográfica do Rio Paraná, sendo o Rio Grande a sua sub-bacia hidrográfica e curso d'água, a uma distância de 950 metros de sua foz e a uma altitude de 811 metros (RADA, 2006). As obras foram iniciadas em setembro de 2000 e as atividades no local iniciaram de fato na data de 08 de novembro de 2002 e sua inauguração se deu em 10 de dezembro também do ano de 2000 (ALIANÇA ENERGIA, 2023).

Figura 9 - Mapa de localização da Usina Hidrelétrica do Funil



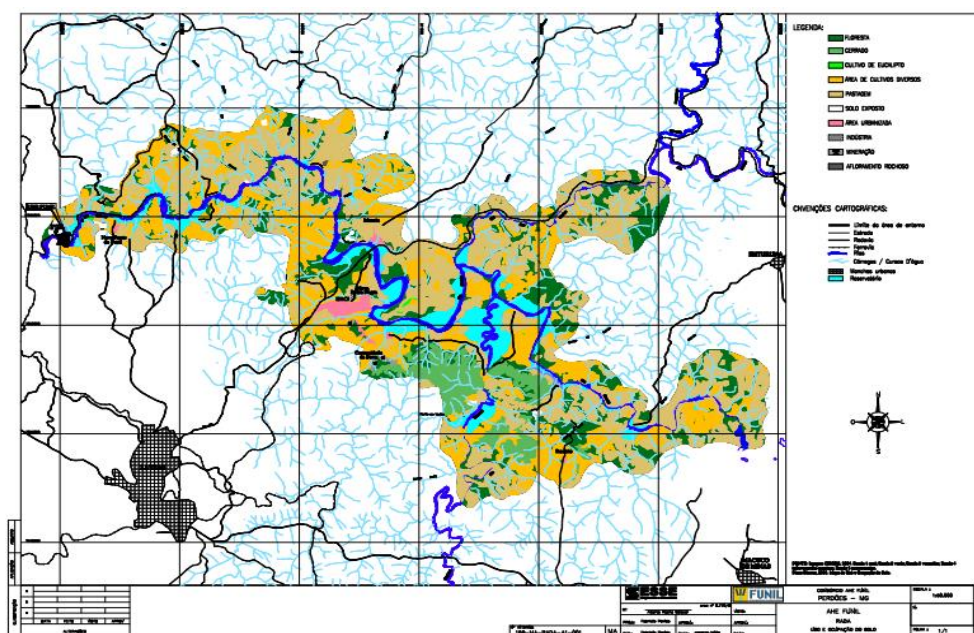
Fonte: Do autor, 2023

A UHE do Funil tem uma potência instalada de 180 MW e energia assegurada média em operação de 84,6 MW – energia suficiente para abastecer uma cidade de cerca de 685 mil

habitantes. Foi a primeira usina hidrelétrica no Brasil a instalar um Sistema de Transposição de Peixes (STP) através de um sistema de elevação completo. A estrutura foi projetada para permitir a continuação da migração dos peixes do Rio Grande. O STP iniciou suas operações em janeiro de 2004 e já transportou mais de 400 toneladas de peixes em seus anos de operação (ALIANÇA ENERGIA, 2023). Possui 3 turbinas de eixo rotativo conectadas a 3 grupos geradores de 60MW com capacidade total instalada de 180MW, como informado anteriormente; possui 4 comportas reguladoras, que podem ser acionadas na época das chuvas para controlar o nível de água do reservatório, sendo que o projeto estrutural é resistente a possíveis enchentes. A barragem tem 50 metros de altura do topo à base e é construída de concreto e enrocamento, composto de blocos de rocha compactados e terra. A estrutura também possui dezenas de dispositivos de monitoramento de estabilidade.

É também importante ressaltar que, de acordo com Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA) – um documento que comprova as atividades realizadas no empreendimento durante sua fase de Licença de Operação (LO), adquirida através do processo de licenciamento ambiental –, a área de influência do reservatório possui uma grande potencialidade agrícola como principal característica. Sendo a figura 10 o mapeamento de uso e cobertura do solo realizado para o RADA em agosto de 2006, onde é visível a dominância das áreas de cultivos e pastagem, identificadas nas cores laranja e bege, respectivamente.

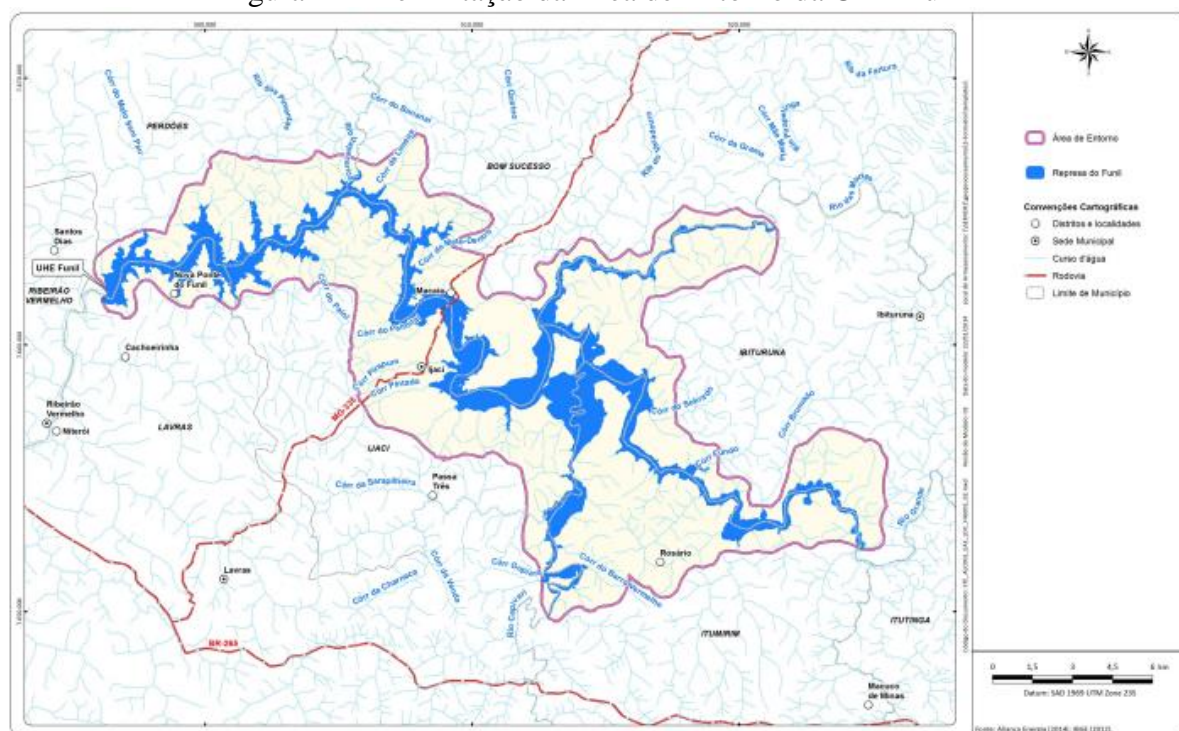
Figura 10 - Uso e ocupação do solo da área de influência em agosto de 2006



Fonte: Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA), 2006

A Área de Entorno da usina foi determinada e exposta no seu respectivo Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA), onde houve a determinação de uma faixa de variação entre 1 a 3 km a partir do reservatório da usina, englobando as áreas mais fragilizadas, área de preservação permanente (APP) e núcleos urbanos ao redor – como os municípios vizinhos e as comunidades: Serra (Ijaci), Rosário (Itumirim) e Macaia (Bom Sucesso), podendo ser observado na figura 11.

Figura 11 - Delimitação da Área de Entorno da UHE Funil



Fonte: PACUERA, 2016

Tendo em vista que não foi possível a obtenção de um arquivo *shapefile* oficial com a Área de Entorno da usina para ser utilizado como área de estudo do presente trabalho, a definição desta será feita a partir dos estudos de Carvalho *et al.* (2018). Em conformidade a esses estudos, a Área de Influência Direta pode ser definida como a região onde a UHE causa impactos diretos de cunho ambiental e social com sua construção, instalação e operação, englobando também a área adjacente do empreendimento e comunidades em seu entorno, na qual, para sua definição, compreende uma faixa ao redor do reservatório que varia de 1 a 7 km.

Para a delimitação da área de estudo do presente trabalho foi definida uma faixa de 3 km ao redor do reservatório, sendo criado, então, um *buffer* – destaca-se que foram considerados os 3 km pois, além dessa ser a maior distância na Área de Entorno definida pelo PACUERA,

ela está dentro da variação de 1 a 7 km, citada anteriormente (CARVALHO, 2018). Sendo assim, a área de estudo delimitada abrange aproximadamente 37 mil hectares.

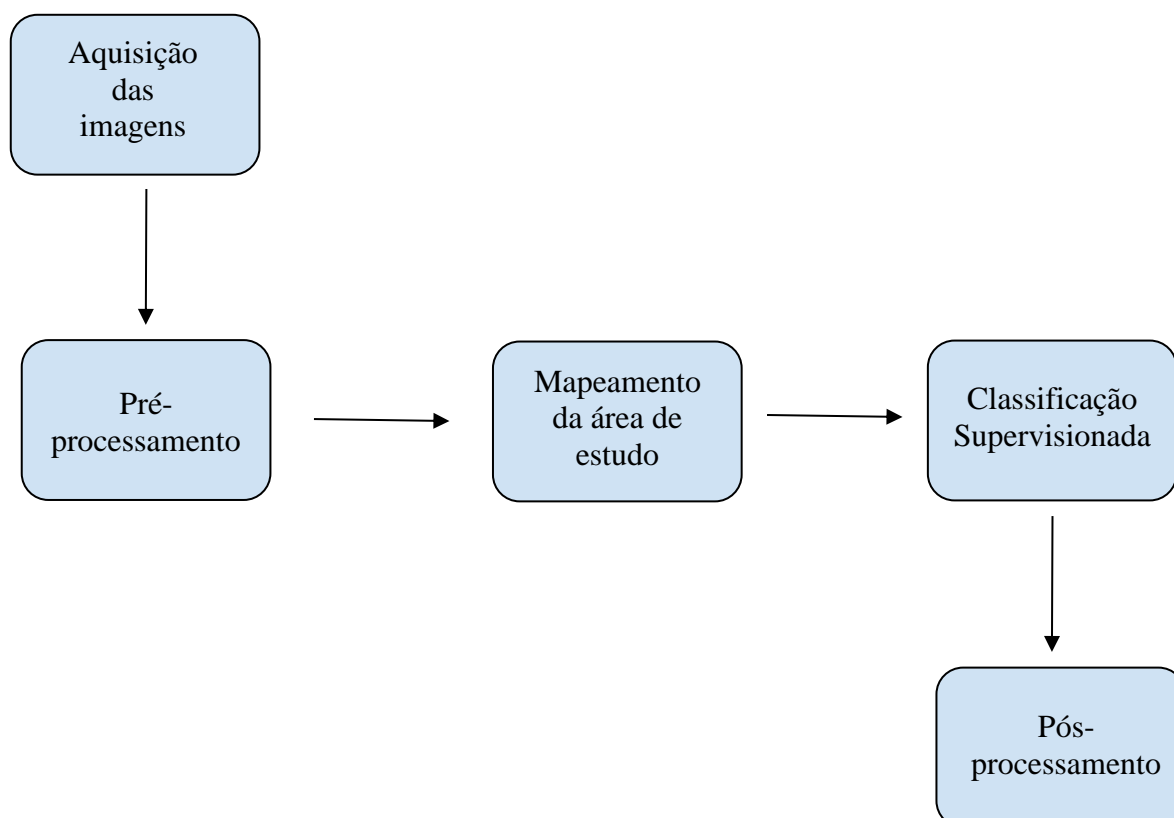
## 4.2 Aplicação de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

Para a realização do presente trabalho, a metodologia adotada foi dividida em cinco etapas, sendo:

- a) Aquisição das imagens de satélite;
- b) Pré-processamento destas imagens;
- c) Mapeamento da área de estudo;
- d) Classificação supervisionada;
- e) Pós-processamento dos dados obtidos.

A metodologia seguida pode ser facilmente compreendida por meio da figura 12 – sendo que para o processamento destes dados foi utilizado o software gratuito QGIS Desktop versão 3.16.15 *with* GRASS 7.8.5.

Figura 12 - Fluxograma metodológico





#### 4.2.1 Aquisição das imagens de satélite

Foram utilizadas imagens de satélite referentes ao antes e depois da construção da UHE. As imagens adquiridas foram de média resolução (30 m), sendo uma do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT 5 na data 15/04/2000, e a outra sendo do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite LANDSAT 8 na data 19/09/2022. Houve a tentativa de adquirir as imagens no mesmo mês do ano para evitar possíveis diferenças em relação a clima, estação do ano e precipitação, que poderiam influenciar no uso e ocupação do solo. Porém, devido a grandes interferências como a alta porcentagem de nuvens, não foi possível adquiri-las no mesmo mês. Ambas foram adquiridas de forma gratuita através da plataforma USGS (*United States Geological Survey*). A primeira data representa o local de estudos dois anos antes do início de funcionamento da UHE, e a segunda representa o mesmo local vinte anos depois de sua construção.

#### 4.2.2 Pré-processamento das imagens de satélite

No pré-processamento as imagens de satélite adquiridas foram utilizadas com a composição em cor infravermelho, na qual as bandas espectrais das imagens foram colocadas nas ordens 4,3 e 2 para o LANDSAT 5 e 5,4 e 3 para o LANDSAT 8, no intuito de visualizar uma maior diferença entre as classes que serão utilizadas no uso e cobertura do solo.

#### 4.2.3 Mapeamento da área de estudo

Após as imagens estarem com a composição em cor infravermelho, foi criado um *buffer* de 3 km ao redor do reservatório, representando a delimitação da área de estudo onde está localizada a UHE.

Para o mapa de localização foi utilizado o arquivo no formato *shapefile* da malha municipal do estado de Minas Gerais, obtendo, então, os limites municipais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, arquivo também no formato *shapefile* das massas d'água e as principais hidrografias disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA).

#### 4.2.4 Uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada

A classificação do uso e cobertura do solo da área de interesse foi realizada por meio da classificação supervisionada automática, utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*). Segundo Santos *et al.* (2019), a classificação supervisionada é um método empregado com grande frequência na realização de análises quantitativas dos dados das imagens no sensoriamento remoto, que é processado através da utilização de algoritmos que nomeiam os *pixels* de uma imagem de forma que seja capaz de representar tipos específicos de cobertura e uso do solo – sendo alimentados por amostras.

O algoritmo de Máxima Verossimilhança necessita de um conhecimento prévio sobre as classes que serão utilizadas na classificação, sendo possível, pois, criar uma assinatura espectral correspondente a cada classe informada. A Máxima Verossimilhança realiza a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos *pixels* das classes com o uso de parâmetros de estatística para calcular a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma das classes determinadas (OLIVEIRA; ROSA, 2022).

Dessa forma, para tanto foi utilizado o complemento chamado *Semi-automatic Classification Plugin*, presente no software QGIS, onde foi possível realizar a criação de amostras das classes de uso e ocupação do solo escolhidas e assim alimentar o algoritmo de Máxima Verossimilhança. As classes determinadas foram: floresta nativa, campo, agricultura, solo exposto, área urbana e água.

#### 4.2.5 Pós-processamento

Após a realização do mapeamento de uso e cobertura do solo das imagens de satélite, foram realizadas as matrizes de confusão e o cálculo do coeficiente de Kappa para os dois mapeamentos realizados, com o intuito de verificar a confiabilidade e a qualidade dos dados obtidos nas classificações.

Conceitua-se matriz de confusão como o resultado em formato de tabela, com linhas e colunas, onde cruza-se os dados da classificação realizada com o sensoriamento remoto e os dados referenciados, ou seja, reais e validados (COMBER *et al.*, 2012). É possível verificar a qualidade do que foi classificado com a realidade, sendo a matriz de confusão o ponto inicial para poder aplicar técnicas de estatísticas descritivas e analíticas em índices de exatidão global,

como o cálculo do índice Kappa (DE SOUZA, 2020). O número de *pixels* classificados corretamente é levado em consideração.

O resultado do índice Kappa possui um intervalo de 0 a 1, medindo o grau de confiabilidade e de acurácia dos dados classificados, sendo que quanto mais próximo de 1 estiver o resultado, melhor a qualidade da classificação (INÁCIO, 2022).

Tabela 1 - Intervalos de qualidade de classificação do Índice Kappa

Valor de Índice de Kappa	Qualidade da Classificação
$K < 0$	Péssimo
0 - 0,2	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito Boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Fonseca (2000)

Nessa perspectiva, o índice Kappa é calculado através da equação (1): a partir dos dados da matriz de confusão, em que  $r$  é considerado o número de linhas na matriz de erro e  $x_{ii}$  é considerado o número de observações na linha  $i$  e na coluna  $i$ , para  $x_{i+}$  e  $x_{+i}$  são considerados os valores totais das linhas  $i$  e colunas  $i$ , e  $N$  o número total de classes utilizadas (INÁCIO, 2022).

Equação 1 - Índice Kappa

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (1)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a realização do cálculo do Índice Kappa, após o mapeamento do uso e cobertura do solo na área de estudo, foi obtido o resultado de 0,80 para o mapeamento do ano de 2000

e de 0,75 para o mapeamento de 2022, enquadrando-os quanto a qualidade de classificação como muito boa.

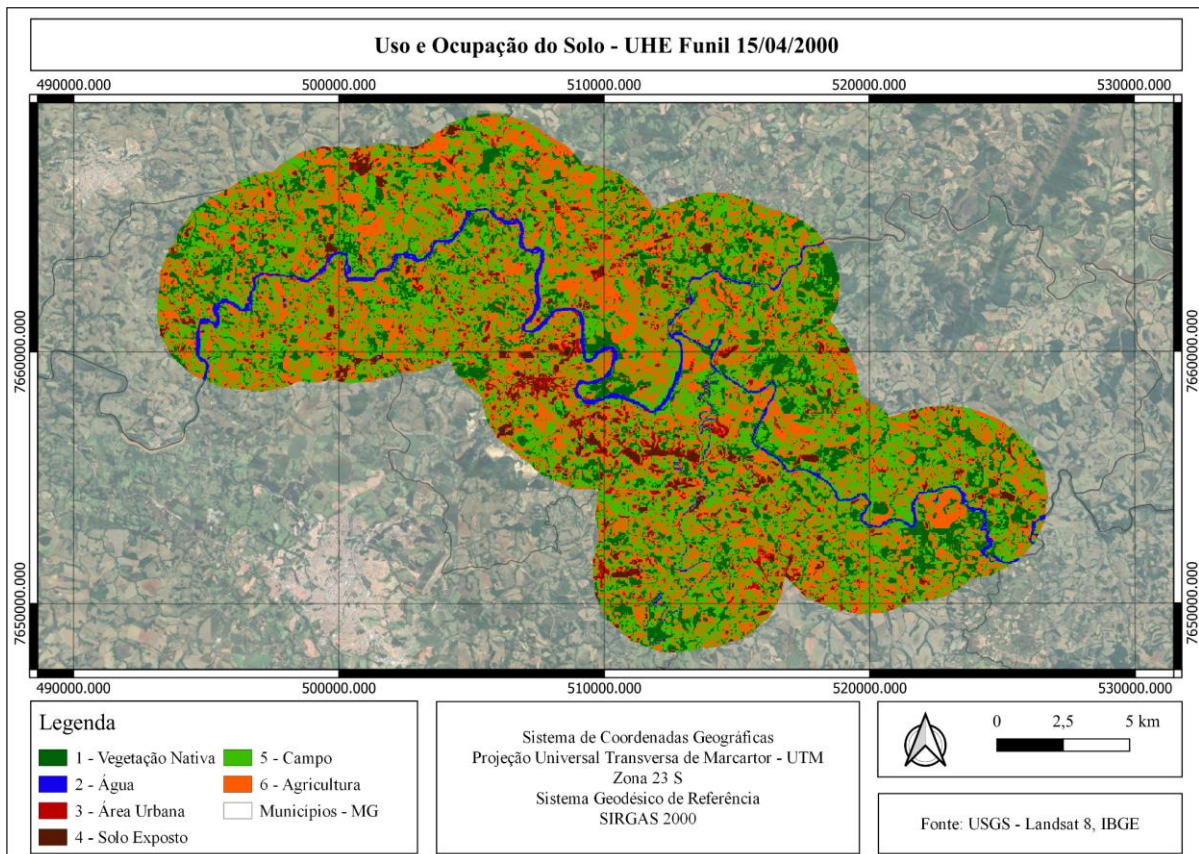
Tabela 2 - Resultado do Índice Kappa

Satélite	Índice Kappa	Qualidade da Classificação
Landsat 5	0,80	Muito Boa
Landsat 8	0,75	Muito Boa

Fonte: Do autor, 2023

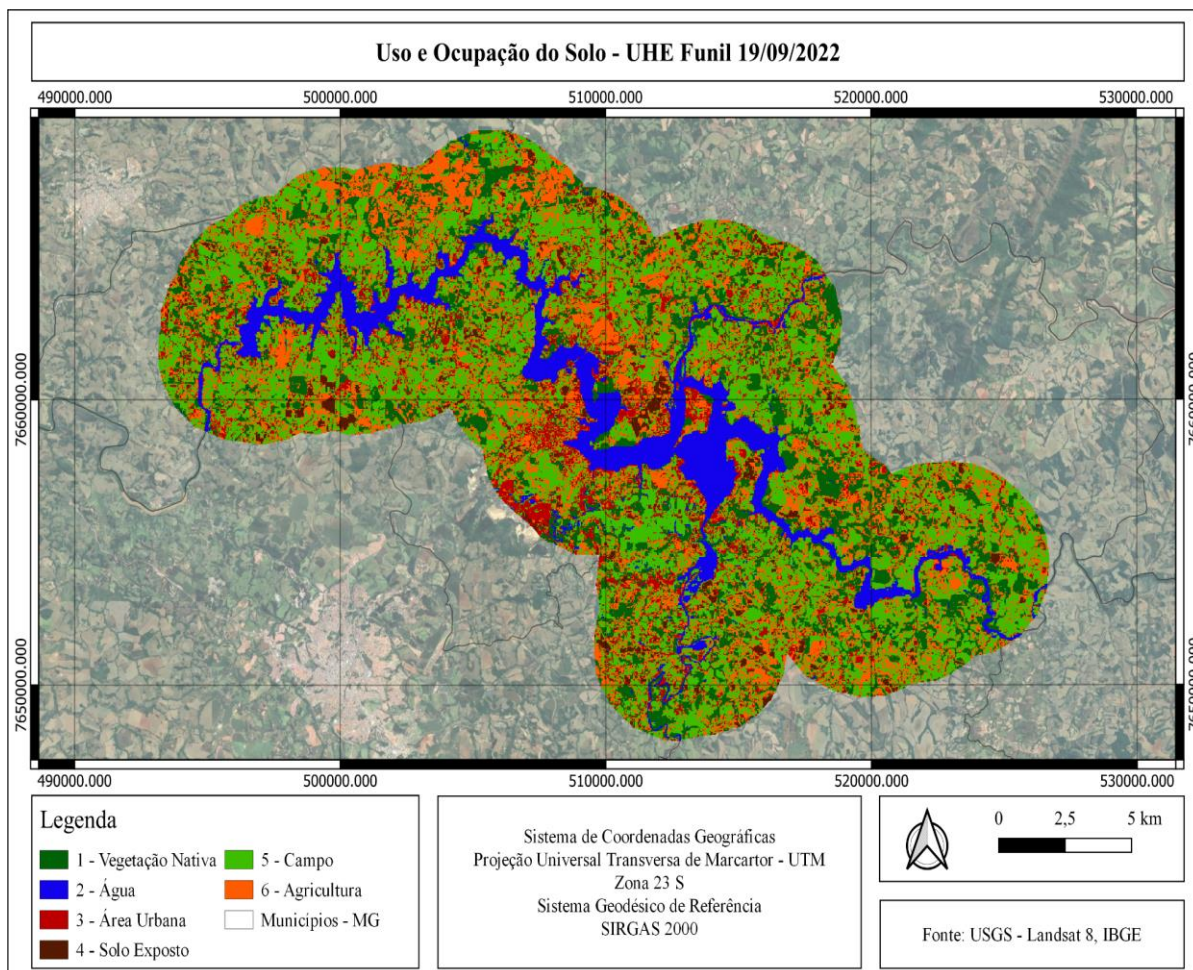
As figuras 13 e 14 demonstram, respectivamente, o uso e cobertura da terra do local de estudo nos anos 2000 e 2022 por meio de um mapa temático, evidenciando a formação do reservatório ao longo do Rio Grande para a construção da UHE Funil e trazendo de forma visual a composição da área quanto às classes determinadas: vegetação nativa, água, área urbana, solo exposto, campo e agricultura.

Figura 13 - Mapeamento de uso e ocupação do solo da área de estudo da UHE Funil na data de 15/04/2000



Fonte: Do autor, 2023

Figura 14 - Mapeamento de uso e ocupação do solo da área de estudo da UHE Funil na data de 19/09/2022



Fonte: Do autor, 2023

Com os resultados obtidos no mapeamento, as áreas correspondentes de cada classe foram quantificadas, como apresenta a tabela 3 pode-se analisar as mudanças ocorridas na área.

Observando a área de estudo, é possível perceber que a predominância é da agricultura e da pecuária, podendo estar incluso nas classes de agricultura o campo e o solo exposto – as quais totalizaram juntas, no ano 2000, 77,82% da área, sendo 28.803,809 hectares, e no ano 2022 totalizaram 63,30%, sendo 23.428,25 hectares, evidenciando a diminuição de 5.375.559 hectares deste principal uso na área, ou seja, diminuição de 14,52 %.

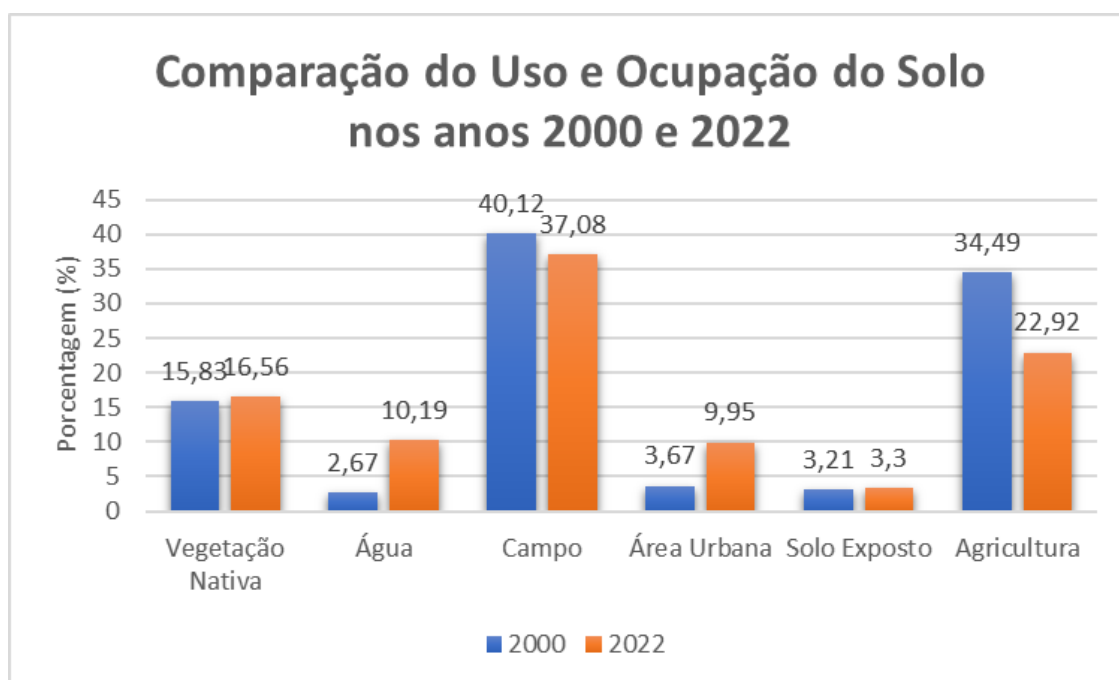
Tabela 3 - Quantificação das classes determinadas no uso e ocupação do solo em 2000 e 2022

Classe	2000		2022		Diferença	
	Área (ha)	Porcentagem (%)	Área (ha)	Porcentagem (%)	ha	%
Vegetação Nativa	5.857,10	15,83	6.128,16	16,56	271,06	0,73
Água	990,01	2,67	3.771,90	10,19	2.781,89	7,52
Campo	14.850,40	40,12	13.723,89	37,08	-1.126,51	-3,04
Área Urbana	1.359,90	3,67	3.682,51	9,95	2.322,61	6,28
Solo Exposto	1.187,65	3,21	1.222,71	3,30	35,05	0,09
Agricultura	12.765,75	34,49	8.481,65	22,92	-4.284,10	-11,58
Total	37010,81	100,00	37010,81	100,00	0,00	0,00

Fonte: Do autor, 2023

Os resultados também podem ser observados por meio da figura 15 a seguir, a qual traz um gráfico de barras comparando a porcentagem de cada classe em seu ano referente.

Figura 15 - Comparação do uso e ocupação do solo nos anos 2000 e 2022



Fonte: Do autor, 2022

De acordo com o PACUERA (2016), os municípios confrontantes da área de entorno da UHE Funil possuem o setor agropecuário como um dos principais setores econômicos da região – representando boa parte do PIB (Produto Interno Bruto) – o que explica essa grande dominância das classes de campo, agricultura e solo exposto. A diminuição dessas classes pode ser explicada pela inundação do Rio Grande para a formação do reservatório, ocupando a área ao seu redor e, também, com a realocação da população ribeirinha das comunidades de Macaia, Pedra Negra e Ponte do Funil.

Mesmo com a realocação da população ribeirinha houve o aumento considerável de 6,28% para a classe de área urbana, onde, de acordo com o PACUERA (2016), foi verificado que se estabeleceu uma ocupação aos arredores do reservatório para fins de atração de lazer, recreação e pelo aspecto atrativo da paisagem.

Em relação à vegetação nativa, é possível observar um pequeno aumento de 0,73%, equivalente a 271,06 hectares. É possível associar o aumento da vegetação nativa à existência de legislações nacionais as quais exigem controle e programas de recuperação para os empreendimentos causadores de impactos ambientais negativos, como a Lei nº 12.651 de 2012, na qual o artigo 5º aborda a delimitação das áreas de preservação permanente (APP), onde:

Na implantação de reservatório d'água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana. (BRASIL, 2012).

Associando com PACUERA, também é possível observar as diretrizes propostas para o uso e ocupação do solo na área de entorno da UHE, contendo programas de controle ambiental que são atrelados e exigidos no licenciamento ambiental do empreendimento, conforme demonstrado no quadro 2 abaixo.

Quadro 4 - Programas Ambientais da UHE Funil que possuem interação com o PACUERA (continua)

<b>Programa</b>	<b>Objetivo</b>
Programa de Conservação da Ictiofauna Subprograma de Monitoramento da Ictiofauna do Sistema de Transposição para Peixes	Avaliar, em caráter qualitativo e quantitativo, a estrutura da comunidade de peixes que utiliza o sistema de transposição para peixes da Usina Hidrelétrica Funil

Quadro 5 - Programas Ambientais da UHE Funil que possuem interação com o PACUERA (conclusão)

Programa de Conservação da Ictiofauna Subprograma de Monitoramento da Ictiofauna da área de influência da UHE Funil e lagoas marginais	Avaliar as alterações, em caráter qualitativo e quantitativo, da estrutura da comunidade de peixes, em relação à diversidade, composição, abundância, e biologia reprodutiva das espécies no reservatório e rios que compreendem a área de influência da UHE Funil, além de avaliar a dinâmica de funcionamento das lagoas marginais e a bioacumulação de metais na ictiofauna.
Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas	Caracterizar e acompanhar a evolução da condição de qualidade física, química, bacteriológica e hidrobiológica das águas do reservatório, de seus formadores e as respectivas variações sazonais.
Programa de Educação Ambiental	Desenvolver a interação social visando à conscientização ambiental dos usuários do entorno do reservatório.
Programa de Comunicação	O programa objetiva a divulgação das ações desenvolvidas pelo empreendimento e apoio a ações demandadas pelas comunidades locais e a população da área de entorno do reservatório da UHE Funil.
Programa de Controle dos Focos Erosivos nas Áreas de Preservação Permanente do Reservatório	Objetiva controlar a formação de feições erosivas na área de preservação permanente do reservatório a proteção contra o assoreamento e a manutenção da qualidade das águas.
Programa de Monitoramento das Áreas de Preservação Permanente do Reservatório	Objetiva manter uma faixa de vegetação nas margens do reservatório que desempenhará, entre outras funções, o fornecimento de abrigo e alimentação para a fauna local, a estabilização das feições erosivas e a proteção contra o assoreamento e a manutenção da qualidade das águas.
Programa de Sinalização de Segurança e Alerta das Áreas de Restrições, Uso Público e Recreativo	Objetiva sinalizar as áreas de restrições de uso público do reservatório com indicações dos usos não permitidos do reservatório.
Programa de Monitoramento de Macrófitas, Limpeza e Conservação do Reservatório	Objetiva controlar a ocorrência de macrófitas aquáticas que venham se desenvolver no reservatório de modo a manter o espelho d'água o mais livre possível de vegetação e resíduos flutuantes que dificultem a navegação e venham colocar em risco a operação da UHE Funil.

Fonte: adaptado de PACUERA, 2016

As exigências trazidas por meio da legislação exigem o cumprimento de programas ambientais elaborados onde possui atividades que precisam ser mantidas e executadas



continuamente durante todo o período de funcionamento da UHE. Dessa maneira, há um controle maior sobre os impactos envolvendo os meios físicos, bióticos e sociais para mitigá-los, como é o caso vegetação nativa, onde o seu aumento foi singelo, porém não houve uma piora.

Em relação à classe água, observa-se o aumento de 2.781,89 hectares para a formação do reservatório, sendo esse um aumento de 7,52%. Isto é, esses 2.781,89 hectares de área ao redor do reservatório representam uma parcela em que houve totalmente a perda do seu uso e ocupação original anterior à construção da UHE, modificando por completo a paisagem por terem sido suprimidos e inundados pela água. Além de afetar a população, realocá-la e gerar grande êxodo rural, os impactos negativos afetam também a fauna local com a morte e desaparecimento de inúmeras espécies de animais (STEFANELLO *et al.*, 2015)

De acordo com Chistóvão (2014), durante a formação do reservatório o local tem todas as suas características ambientais originárias alteradas de forma agravante, onde o ambiente aquático passa de um ambiente lótico para um ambiente lêntico, causando consequências como a diminuição da biodiversidade e o aumento à suscetibilidade à erosão e assoreamento. Mesmo com a execução de programas ambientais, como por exemplo o Sistema de Transposição para Peixes, há ambientes em que os impactos não conseguem ser revertidos e sim compensados e/ou mitigados.

A tendência do aumento da vegetação nativa e diminuição das áreas de agricultura e pastagem também pode ser observada nos estudos de Tramontina e Breunig (2015), em que foram analisados temporalmente, por meio de geotecnologia, os impactos ambientais de uma UHE localizada na bacia Lajeado Bonito, no Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos são condizentes com o do presente estudo e mostram a mudança da dinâmica de paisagem da área de estudo.

## **6 CONCLUSÃO**

De acordo com esta pesquisa, foi observado um ligeiro aumento na cobertura florestal na área de entorno delimitada na UHE do Funil trazendo melhoras na qualidade do meio ambiente. Pode ser verificado também que a principal finalidade do uso da terra na área é a agricultura e pecuária, onde estão dispostos nas categorias "agricultura", "pecuária" e "solo descoberto".

A diminuição de 14,52% dessas áreas de atividades agrícolas e pecuária pode ser considerada um dos principais motivos da leve recuperação da vegetação nativa, juntamente

com os programas ambientais executados pela UHE do Funil. Evidencia-se também o importante papel da legislação brasileira quanto aos impactos ambientais causados por empreendimentos de alto grau poluidor, como é o caso deste.

Além disso, pode-se concluir, também, que é fundamental realizar estudos sobre o uso e a cobertura da terra ao longo do tempo para estabelecer políticas públicas de ordenamento territorial e para que se possa compreender como a ocupação dos territórios afeta o meio ambiente.

É importante evidenciar a grandeza do uso de ferramentas geotecnológicas atribuídas ao sensoriamento remoto e ao geoprocessamento para análises ambientais, os quais trazem a possibilidade de analisar diversos dados, associá-los ao cumprimento de legislações e observar impactos no uso e cobertura do uso.

Tendo em vista todo o exposto, os mapeamentos realizados no presente trabalho trazem auxílio aos futuros planejamentos e acompanhamento da área de estudo, servindo como um poder de fiscalização dos órgãos públicos e como propagação de informações para a população dos arredores que não possuem tanto conhecimento sobre o assunto, mas que tem suas vidas diretamente afetadas.

**REFERÊNCIAS:**

BATISTA, B. M. F. et al. Revisão dos impactos ambientais gerados na fase de instalação das hidrelétricas: Uma análise da sub-bacia do Alto Juruena-MT. **Biodiversidade**, v. 11, n. 1, 2012.

BEM: Relatório Síntese 2022 - Ano Base 2021. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro e Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil. 292 pp.

BOLZAN, N. **Mudanças na Paisagem em Duas Microbacias do Bioma Pampa Gaúcho - RS: Uma Análise com Base em Mapas, Índices Descritores e Sistemas de Acesso a Terra.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, Florianópolis.

BRASIL. **Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980.** Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 03 jul.1980.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 02 set. 1981.

CARVALHO, D. N. *et al.* Critérios usados na definição de áreas de influências, impactos e programas ambientais em estudos de impacto ambiental de usinas hidrelétricas brasileiras. **Geociências**, v. 37, n. 3, p. 639-653, 2018.

CMEB, CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Centro da Memória da eletricidade do Brasil, 1988.

CMEB, CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Centro da Memória da eletricidade do Brasil, 2022.

DAVIS, C.; Câmara, G. **Introdução: por que geoprocessamento?** São José dos Campos: INPE, 2001.

DE OLIVEIRA, E. B.; DA CAMARA ROSA, M. L. C. Classificação supervisionada dos elementos arquiteturais da Praia das Cabras, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 49, n. 1, 2022.

DELGADO, A. Geotecnologias como ferramenta para o controle externo de obras públicas: estado da arte e perspectivas futuras. Brasil: **Revista TCU**, 2014.

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo:** a etapa de acompanhamento. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FEARNSIDE, P. M. Impactos das hidrelétricas na Amazônia e a tomada de decisão. **Novos Cadernos NAEA**, v. 22, n. 3, 2019.

FERRAZ, Carlos Augusto de Melo *et al.* O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, n. 133, p. 40-53, 2015.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**: São José dos Campos, 2000.

INACIO, G. O. **Mapeamento do uso e cobertura do solo utilizando imagens WPM/CBERS-4A, MSI/SENTINEL-2 e OLI/LANDSAT-8 para o município de Seropédica**. Rio de Janeiro, 2022.

KARPINSKI, C. Política energética e construção de hidrelétricas na primeira metade do Século XX: reflexões sobre o caso paranaense. **Antíteses**, v. 10, n. 20, p. 961-978, 2017.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG [Brazil version]**. Oficina de Textos, 2009.

LOBATO, M. G. S.; DE CASTRO, E. M. R.; FOLHES, G. P. Usinas hidrelétricas no Brasil: história, discursos e interesses. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 14, n. 3, p. 333-355, 2022.

MARTINS, I. F. **Direito à água: legislação, dano e responsabilidade civil**. 2021. p. 41. Monografia (bacharel em Direito) – PUC, Goiânia, 2021.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1985.

OLIVEIRA, N. C. C. A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. **Varia História**, v. 34, p. 315-346, 2018.

PEREIRA, G. M. História das Usinas Hidrelétricas. *In: Passo a passo hidrelétricas*. Universidade de Brasília, DF, 2015.

PÉRICO, E.; CEMIN, G. Caracterização da paisagem do município de Arvorezinha, RS, com ênfase na dinâmica dos fragmentos florestais, por meio de sistemas de informações geográficas (SIGs). **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 9-21, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, A. S. R. M. *et al.* Métodos de classificação supervisionada aplicados no uso e ocupação do solo no município de Presidente Médice–RO. **Biodiversidade**, v. 18, n. 1, 2019.

SOUSA, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. 2000. 160f. Tese (mestre em ciências em planejamento energético) - Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

STEFANELLO M. M. *et al.* Modificações na paisagem decorrentes da construção da usina hidrelétrica São José, região noroeste do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11 n. 22, 2015.

TRAMONTINA, J.; BREUNIG, F. M. Impacto da Construção de Uma Usina Hidrelétrica no Uso da Terra-Floresta: Estudo da Bacia Lajeado Bonito-RS. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 95-106, 2015.

VENTURIERI, A. *et al.* **Utilização de imagens Landsat e CBERS na avaliação da mudança do uso e cobertura da terra e seus reflexos na qualidade da água em microbacia hidrográfica do**

**município de Paragominas, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. Anais XII. Goiânia: EMPRAPA, p. 1127 – 1134, 2005.**