



**SOPHIA DOMICIANO FERREIRA**

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO APLICADA AO  
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO NO  
ENTORNO DOS RESERVATÓRIOS DAS UHE DE ITUTINGA  
E CAMARGOS**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**SOPHIA DOMICIANO FERREIRA**

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO APLICADA AO  
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROSÃO NO  
ENTORNO DOS RESERVATÓRIOS DAS UHE DE ITUTINGA  
E CAMARGOS**

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

Prof. Dr. Luís Antônio Coimbra Borges

Orientador

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

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).**

Ferreira, Sophia Domiciano.

Análise de Decisão Multicritério aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis à erosão no entorno dos reservatórios das UHE de Itutinga e Camargos / Sophia Domiciano Ferreira. - 2023.

54 p. : il.

Orientador(a): Luís Antônio Coimbra Borges.

Coorientador(a): Fausto Weimar Acerbi Júnior.

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

Bibliografia.

1. Análise Multicritério. 2. Analytic Hierarchy Process. 3. Usinas Hidrelétricas. I. Borges, Luís Antônio Coimbra. II. Acerbi Júnior, Fausto Weimar. III. Título.

**SOPHIA DOMICIANO FERREIRA**

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO APLICADA AO MAPEAMENTO DE  
ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À EROÇÃO NO ENTORNO DOS RESERVATÓRIOS DAS  
UHE DE ITUTINGA E CAMARGOS**

**MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS APPLIED TO THE MAPPING OF  
AREAS SUSCEPTIBLE TO EROSION IN THE SURROUNDINGS OF ITUTINGA  
AND CAMARGOS HPP RESERVOIRS**

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

APROVADA em 10 de julho de 2023.

Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior UFLA

Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França UFU

Dr. Nilton Fernandes de Oliveira CEMIG GT

Prof. Dr. Luís Antônio Coimbra Borges

Orientador

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela família, amigos e pela saúde.

À minha família agradeço por todo suporte para chegar onde estou e por ser quem sou.

Ao meu marido, Angelo, pelo apoio e motivação.

À minha filha, Alice, que me motiva a não desistir.

À UFLA pela oportunidade de estudar e pelas pessoas que conheci durante esses anos de estudo.

Ao meu supervisor de estágio da CEMIG GT, Nilton, que contribuiu para a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Luís Antônio e ao Prof. Fausto pela orientação.

E a todos que de alguma maneira me auxiliaram, direta ou indiretamente.

## RESUMO

As usinas hidrelétricas são responsáveis por grande parte da produção de energia no Brasil. Como todo empreendimento, a instalação de centrais hidrelétricas ocasiona impactos negativos, por isso é importante aproveitar ao máximo o potencial de geração das barragens. A erosão dos solos de forma acelerada nas proximidades dos reservatórios pode prejudicar a vida útil das turbinas devido ao acúmulo de sedimentos na água. De maneira a minimizar tal processo, é importante conhecer as características da área de entorno, assim como as atividades que nela ocorrem para que práticas de manejo e conservação sejam realizadas. Para que medidas desse tipo sejam possíveis, é fundamental o contato da empresa com os proprietários rurais da região com objetivo de definir ações que permitam o melhor manejo e uso do território, de modo a garantir a conservação, assegurar a longevidade do reservatório e sua integração com o ambiente. Diante disso, o presente trabalho apresenta uma ferramenta de apoio para tomadas de decisões que envolvem múltiplos fatores, utilizando a Análise Multicritério em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), juntamente com aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Foram utilizados 4 (quatro) critérios para análise da susceptibilidade à erosão no entorno dos reservatórios das UHE de Itutinga e Camargos: i. Classe de Solo; ii. Declividade do Terreno; iii. Proximidade com o Reservatório; iv. Uso e Ocupação da Terra. Os critérios foram classificados de acordo com seus subcritérios em uma escala 0 (menor potencial) a 1 (maior potencial). Os julgamentos para preenchimento da matriz de comparação pareada do método AHP foi realizado por especialistas das áreas de geociências e meio ambiente e o resultado apontou o fator Uso e Ocupação da Terra como o mais importante. A partir do mapa final de susceptibilidade à erosão da área de estudo, verificou-se que 54,77% da área apresenta potencialidade alta para erosão, devido ao maior peso dado ao fator antrópico, 35,48% com potencial moderado e 9,75% com baixo potencial.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério. *Analytic Hierarchy Process*. Usinas hidrelétricas. Sistemas de Informações Geográficas. Assoreamento. Erosão dos solos.

## ABSTRACT

Hydroelectric plants are responsible for a large part of the energy production in Brazil. Like any undertaking, the installation of hydroelectric power plants causes negative impacts, so it is important to make the most of the generation potential of dams. Soil erosion at an accelerated pace in the vicinity of the reservoirs can impair the useful life of the turbines due to the accumulation of sediments in the water. In order to minimize this process, it is important to know the characteristics of the surrounding area, as well as the activities that take place in it so that management and conservation practices are carried out. For measures of this type to be possible, it is fundamental for the company to contact rural landowners in the region in order to define actions that allow for better management and use of the territory, in order to guarantee conservation, ensure the longevity of the reservoir and its integration with the environment. Therefore, this work presents a support tool for decision making involving multiple factors, using Multicriteria Analysis in a GIS environment (Geographic Information Systems), together with the application of the AHP method (Analytic Hierarchy Process). Four (4) criteria were used to analyze the potential for erosion around the Itutinga and Camargos HPP reservoirs: i. Soil Class; ii. Terrain Slope; iii. Proximity to the Reservoir; iv. Land Use and Occupation. The criteria were ranked according to their sub-criteria on a scale of 0 (lowest potential) to 1 (highest potential). The judgments for completing the paired comparison matrix of the AHP method were carried out by specialists in the areas of geosciences and the environment and the result pointed to the Land Use and Occupation factor as the most important. From the final erosion potential map of the study area, it was verified that 54.77% of the area has a high potential for erosion, due to the greater weight given to the anthropic factor, 35.48% with moderate potential and 9.75 % with low potential.

**Keywords:** Multicriteria Analysis. Analytic Hierarchy Process. Hydroelectric plants. Geographic Information Systems. Siltation. Soil erosion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Área de estudo correspondente à localização das UHE Itutinga e Camargos no contexto dos municípios sob influência. ....	21
Figura 3.2 – Mapa de localização das UHE de Itutinga e Camargos. ....	23
Figura 3.3 – Etapas de desenvolvimento do trabalho. ....	25
Figura 3.4 – Critérios globais. ....	26
Figura 3.5 – Subcritérios. ....	27
Figura 3.6 – Escala de contribuição de um critério para a erosão. ....	28
Figura 3.7 – Ponderação de critérios. ....	28
Figura 3.8 – Normalização de critérios. ....	29
Figura 3.9 – Mapa de solos da área de estudo. ....	30
Figura 3.10 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo. ....	32
Figura 3.11 – Mapa de proximidade com o reservatório. ....	34
Figura 3.12 – Mapa de declividade do terreno. ....	36
Figura 3.13 – Mapas dos subcritérios normalizados. ....	37
Figura 4.1 – Mapa final de susceptibilidade da área de estudo. ....	45
Figura 4.2 – Susceptibilidade à erosão da área de estudo em porcentagem. ....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Pesos dos subcritérios da classe de solo. ....	30
Tabela 3.2 – Pesos dos subcritérios do Uso e Ocupação da Terra. ....	31
Tabela 3.3 – Pesos dos subcritérios da proximidade com o reservatório. ....	33
Tabela 3.4 – Pesos dos subcritérios da declividade do terreno. ....	35
Tabela 3.5 – Escala recomendada método AHP. ....	39
Tabela 3.6 – Índice Randômico Médio do AHP. ....	40
Tabela 4.1 – Matriz de comparação pareada. ....	42
Tabela 4.2 – Pesos calculados para cada fator. ....	42
Tabela 4.3 – Reclassificação da camada mapa final. ....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Erosão de solos .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Assoreamento em reservatórios para geração de energia .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Área de entorno de reservatórios para geração de energia .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Geoprocessamento em estudos ambientais .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Modelos espaciais e análise espacial de dados geográficos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Análise Multicritério em ambiente SIG.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Análise Hierárquica - <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterização ambiental da área de estudo .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Etapas de trabalho.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3</b>	<b>Critérios utilizados .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Classe de Solo .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Uso e Ocupação da Terra.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Proximidade com o reservatório .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Declividade do terreno .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Normalização dos subcritérios .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5</b>	<b>Definição dos pesos para os critérios globais .....</b>	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>Elaboração do mapa final .....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Comparação pareada dos critérios .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Mapa final .....</b>	<b>44</b>

<b>4.3</b>	<b>Limitações da metodologia utilizada .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas são responsáveis por grande parte da energia elétrica gerada no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia para o ano de 2021, 56,8% da energia elétrica produzida no Brasil teve origem na hidroeletricidade. Como todo empreendimento, a instalação de centrais hidrelétricas ocasiona impactos negativos, por isso é importante aproveitar ao máximo o potencial de geração das barragens instaladas. Um dos fatores que pode ocasionar o acúmulo de sedimentos na água e consequentemente causar danos às turbinas é o assoreamento do reservatório ocasionada pela erosão dos solos em seu entorno. Embora a erosão seja um fenômeno morfogenético natural devido a ação de múltiplos agentes externos, as formas de uso, ocupação e manejo da terra e recursos naturais pode, em algum grau, acelerar ou diminuir a velocidade desse processo (FRANCISCO, 2011).

A área de entorno de reservatórios hidrelétricos tem sua importância devido à influência que suas características e atividades que nela ocorrem exercem sobre as condições do reservatório e, por sua vez, refletem nas atividades de geração. À vista disso, é fundamental o diálogo da empresa com os proprietários de terra nessa região de influência para que medidas possam ser tomadas de maneira a possibilitar a melhor utilização do território, objetivando garantir a conservação e assegurar a longevidade do reservatório e sua integração com o ambiente.

Métodos de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilitam o estudo espacial por meio da utilização de imagens de satélites, mapas e banco de dados geográficos auxiliando na análise da superfície terrestre, dando suporte às tomadas de decisões e ao planejamento ambiental e ordenamento territorial estratégico. Tais ferramentas são bastante utilizadas devido à sua abrangência de possibilidades para o processamento de informações espaciais, como criação de mapas temáticos, suporte para análises de fenômenos naturais através do acompanhamento de mudanças no ambiente, controle e monitoramento de desmatamentos e queimadas, planejamento urbano, dentre outros.

Nesse cenário, diante de problemas que envolvem múltiplos fatores, pode-se fazer uso conjunto de metodologias como a Análise de Decisão Multicritério (AMC) na resolução de problemas espaciais que, em geral, apresentam diversas soluções alternativas e vários critérios para sua avaliação (SILVA, 2020). As análises são feitas, frequentemente, envolvendo técnicos

especialistas com base em seu conhecimento sobre o assunto e preferências individuais (GREENE, 2011). No Brasil diversos autores utilizaram a espacialização da Análise Multicritério em estudos ambientais (GONÇALVES *et al.*, 2003; FERRAZ E VETTORAZZI, 2003; VALENTE, 2005; VETTORAZZI, 2006; FRANCISCO *et al.*, 2008; FRANCO *et al.*, 2013).

A utilização conjunta de SIG e Análise Multicritério envolve a combinação de dados geográficos (mapas de entrada) com preferências de decisores gerando como resultado mapas de decisão (mapas de saída). Dessa forma, os valores de saídas não dependem somente de modelos espaciais de alternativas, mas também dos valores de julgamento dos envolvidos no processo de decisão (SILVA, 2020). Nesse contexto, deve-se definir a importância relativa de cada critério por meio da atribuição de pesos. Dentre as metodologias existentes para a ponderação de critérios está o Processo Analítico Hierárquico ou *Analytic Hierarchy Process*, comumente chamado AHP desenvolvida por Saaty, que requer o cumprimento de parâmetros específicos para que seja verificada a consistência dos julgamentos (SAATY, 1991).

Esse estudo utilizou a Análise Multicritério em ambiente SIG, envolvendo métodos de ponderação baseado na lógica *Fuzzy* e a metodologia AHP com objetivo de identificação de áreas com potencial erosivo na região do entorno dos reservatórios das usinas hidrelétricas (UHE) de Itutinga e Camargos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Erosão de solos**

A erosão de solos é um processo natural intrínseco à dinâmica da natureza. Consiste no desprendimento, arraste e deposição de partículas do solo causado pela água e pelo vento. A desagregação pela água ocorre tanto pelo impacto de gotas de chuva no solo quanto pelas águas de escoamento, sendo a última também responsável pelo transporte das partículas desagregadas para as partes mais baixas do terreno, onde ficam depositadas (FRANCISCO, 2011).

O processo erosivo ocorre em espaços urbano e rurais e podem apresentar diversos tipos e intensidade. Aspectos como geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e hidrologia

são fundamentais na dinâmica da erosão de solos e influenciam na localização de áreas mais susceptíveis, contudo as formas de uso do solo através de práticas de manejo e de conservação contribuem para determinar a velocidade desses processos (FRANCISCO, 2011).

A transformação dos ambientes pela sociedade faz que tal processo ocorra em ritmo bastante acelerado, o que gera inúmeras consequências a depender do local e suas características, sendo o assoreamento de rios, lagos e reservatórios um dos exemplos.

## **2.2 Assoreamento em reservatórios para geração de energia**

O barramento de rios para construção de reservatórios para as mais diversas finalidades, dentre elas a geração de energia elétrica, faz com que o fluxo natural de sedimentos do curso d'água seja interrompido, acarretando no acúmulo de sedimentos na área do reservatório. Em situações em que o reservatório é grande, os efeitos adversos do assoreamento não são perceptíveis no curto prazo, todavia, em pequenos reservatórios, como o caso das pequenas centrais hidrelétricas (PCH), tais efeitos podem ser sentidos de médio a curto prazo (BANDEIRA *et al.*, 2012).

Somado a isso, sedimentos oriundos da erosão de solos da região do entorno do reservatório contribuem para o maior acúmulo de sedimentos nesses locais, o que pode afetar o volume de água disponível para a geração de energia, além de comprometer a segurança da barragem, uma vez que as partículas carregadas são potenciais causadoras de danos às turbinas, trazendo como consequência a diminuição da vida útil das mesmas. Caso o processo erosivo no entorno seja bastante intenso, corre-se o risco de comprometer a finalidade de construção do reservatório no longo prazo, no caso de grandes reservatórios, e até mesmo no curto prazo no caso das PCH, por apresentarem, de maneira geral, reservatórios de menores dimensões. Com a estrutura comprometida existe a necessidade de novos investimentos além de contribuir na geração passivos ambientais.

## **2.3 Área de entorno de reservatórios para geração de energia**

A Área de Entorno de um reservatório para geração de energia se faz importante uma vez que suas características e forma de manejo têm o potencial de alterar as condições do reservatório e, com isso, impactar diretamente as atividades de geração.

De acordo com o Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012), as margens do reservatório podem ser consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), sendo as regras sobre as APP alocadas nessas regiões regidas de acordo com o tempo em que foram licenciadas. Existem dois tipos de situações que se aplicam a essas condições para sua determinação:

1. Se as represas destinadas a geração de energia e abastecimento público que foram registradas, tiveram o contrato de concessão ou autorizadas antes de 24 de agosto de 2001 (Medida Provisória 2.166-67/2001), a APP corresponde a faixa entre o nível máximo operativo normal e cota máxima *maximorum* (Art. 62 da Lei Federal 12.651/2012);

Ressalta-se que o nível máximo operativo normal corresponde a cota máxima normal de operação do reservatório e a cota máxima *maximorum* é a cota máxima operacional (resolução CONAMA 302 de 2002).

2. Já para as represas que passaram pelo processo de licenciamento a partir de 24 de agosto de 2001, a largura da APP corresponde ao que foi firmado no processo de licenciamento da mesma, conforme é descrito pelo artigo 5º da Lei Federal 12.651/2012:

Art. 5º: 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.

Quando o proprietário adquiriu a terra adjacente à APP antes da data de 22 de julho de 2012, é possível a apresentação de um laudo de atividade de baixo impacto sobre a existência de intervenção na APP. As atividades consideradas de baixo impacto devem assegurar as funções da APP, sendo alguns exemplos listados a seguir: abertura de pequenas vias de acesso, incluindo pontes, criação de trilhas para o desenvolvimento de ecoturismo, construção de rampa de lançamento de barcos e pequenos ancoradouros, construção de moradias onde o abastecimento se dá através do esforço próprio, construção e manutenção de cercas nas propriedades e exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável (Art. 3º da Lei Federal 12.651/2012).

Para garantir o uso das margens do reservatório como APP, a empresa pode deter a posse da área ou fazer uso de servidão administrativa da área destinada ao uso em questão, de forma a cumprir as exigências do órgão ambiental. Além da faixa destinada à APP, nas margens do reservatório, a Área de Entorno, mencionada acima, também apresenta suas especificidades. O estudo ambiental exigido pelo órgão ambiental para o licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental que estuda e analisa toda a dinâmica dessa área é chamada de Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA), nele são apresentadas diversas informações a respeito do empreendimento e da região, assim como definida a Área de Entorno do reservatório, evidenciando suas características e atividades exercidas.

Como condicionamento ambiental deste estudo, está previsto o Programa de Gerenciamento Participativo do Entorno do Reservatório que objetiva a discussão de medidas e ações a serem realizadas na região, envolvendo a empresa geradora de energia, a prefeitura das cidades afetadas, a comunidade local, representantes do Comitê de Bacias e o Órgão Ambiental, criando uma parceria entre os mesmos.

O PACUERA visa priorizar a manutenção dos usos já estabelecidos na Área de Entorno, desde que este contribua de forma positiva para a comunidade e qualidade ambiental da região, buscando evitar mudanças drásticas de manejo e dos hábitos locais. Assim, o estudo é feito avaliando as atividades existentes, verificando se estão adequadas para o local ou como podem ser melhoradas. Dessa forma, é fundamental compreender a dinâmica da Área de Entorno para que se possa promover ações efetivas que possibilitem a melhor utilização do território, de maneira a garantir a conservação do local, além de assegurar a longevidade do reservatório e sua integração com o ambiente. É importante ressaltar que o PACUERA se trata de um documento que integra o planejamento, manejo e leis já existentes, portanto suas atuações devem estar alinhadas com as diretrizes administrativas da região, evitando, dessa forma, ações incoerentes com as políticas existentes para a área (BRANT MEIO AMBIENTE, 2017).

Dentre os aspectos abordados no PACUERA, está a avaliação da susceptibilidade à erosão com intuito de entender o nível de fragilidade ambiental da área relacionada aos aspectos físicos do terreno, sendo o estudo fundamental para o entendimento dos tipos de uso do solo que o local suporta e quais atividades não são indicadas para que não comprometa a integridade

física do território. Como já mencionado acima, a erosão também está associada ao potencial de assoreamento do reservatório, fator que pode interferir diretamente na capacidade de geração de energia da hidrelétrica. Alterações no relevo, solo, cobertura do solo, microclima e recursos hídricos comprometem o equilíbrio dinâmico do sistema. A identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas (BRANT MEIO AMBIENTE, 2017).

## **2.4 Geoprocessamento em estudos ambientais**

O geoprocessamento abrange um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que envolve matemática, computação, cartografia, geografia e estatística para o tratamento de informações geográficas, propiciando a análise de recursos naturais, planejamento urbano, transporte, dentre inúmeros outros aspectos, para o auxílio na tomada de decisões (IBRAHIN, 2014).

A utilização de imagens de satélites, fotografias aéreas, mapas e banco de dados permite a identificação de características da superfície terrestre e com geoprocessamento é possível manipulá-las em cores, formas, legendas, de modo a facilitar o estudo das mesmas. Também é possível acompanhar mudanças ao longo do tempo, visualizar eventos passados e presentes, permitindo comparações contribuindo análises nas mais diversas áreas (IBRAHIN, 2014).

Nesse contexto, a manipulação de dados requer a utilização de ferramentas ligadas à informação espacial, como:

- Topografia;
- Cartografia;
- Sensoriamento Remoto (SR);
- Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Na área ambiental, é um importante instrumento para o planejamento ambiental possibilitando a coleta de dados espaciais para diversos estudos, incluindo biodiversidade, conservação, desmatamentos, queimadas, níveis de erosão do solo, etc. (IBRAHIN, 2014).

### **2.4.1 Modelos espaciais e análise espacial de dados geográficos**

Modelos espaciais são formas mais simples de representar a realidade, dessa forma a modelagem espacial em SIG pode ser entendida como uma maneira de produzir novas informações a partir de existentes através de modelos que podem ser baseados em dados (*data-driven*) ou conhecimento (*knowledge-driven*). Modelos baseados em dados têm seus parâmetros calculados a partir de dados amostrais e mapas de entrada combinados utilizando modelos como regressão e redes neurais, por outro lado, os modelos baseados em conhecimento têm os parâmetros estimados por especialistas e incluem o uso de lógica *booleana*, *fuzzy*, redes semânticas ou outras técnicas (MORAS FILHO, 2015).

O presente trabalho utilizou como referência o modelo baseado em conhecimento, realizando a análise espacial dos dados geográficos de posse de diferentes informações já existentes como dados de entrada, juntamente com uma abordagem envolvendo o método *fuzzy* com objetivo de gerar um mapa final com uma escala de potencialidade de ocorrência do fenômeno de interesse.

#### **2.4.1.1 Método *fuzzy***

Na modelagem *fuzzy* os dados originais são reescalados em uma escala de gradação contínua, podendo estes ser atribuídos a grupos de atributos ou a atributos individuais. A vantagem do método é a condição intermediária que possibilita maior flexibilidade na representação de alguns fenômenos naturais.

#### **2.4.1.2 Método de sobreposição ponderada**

Nos modelos baseados em conhecimento, os dados de entrada podem ser avaliados seguindo regras determinísticas utilizando operadores de lógica *booleana* para o conjunto de entrada de modo a obter como resultado mapas binários onde cada ponto representa a existência ou não do fenômeno de interesse. De modo alternativo, cada localização pode ser avaliada de acordo com critérios ponderados, gerando como dado de saída uma escala de potencialidade, técnica definida como ocorrência ponderada, a qual foi utilizada nesse trabalho. A potencialidade é calculada pela ponderação e combinação de evidências de fontes diversas. O peso atribuído a um mapa irá depender da importância da evidência para o assunto ou do julgamento subjetivo de especialistas (CÂMARA *et al*, 2001).

#### **2.4.2 Análise Multicritério em ambiente SIG**

A Análise Multicritério ou Apoio à Decisão Multicritério (MCDA para o termo em inglês *Multi-Criteria Decision Analysis*) consiste na aplicação de técnicas que auxiliam na tomada de decisões complexas, envolvendo mais de dois critérios, servindo de suporte em situações que requerem a identificação de prioridades considerando, simultaneamente, diversos aspectos. Trata-se de uma abordagem quali-quantitativa, estando entre métodos puramente exploratórios e pouco estruturadas de tomada de decisão, como *Brainstorm* e Grupos de Discussão, e modelos quantitativos rigidamente estruturados de Pesquisa Operacional, que envolvem Programação Linear ou Dinâmica, direcionados para encontrar a solução ótima de funções-objetivo. Assim, diferentemente dos modelos quantitativos rígidos, a MCDA não busca uma solução estritamente ótima, mas a solução consenso, ou seja, a decisão é pautada de acordo com os critérios considerados mais importantes pelos agentes decisores acerca do problema, sendo o peso dos critérios definidos por eles (JANUZZI *et al.*, 2009).

O processo de decisão envolve várias etapas, sendo crucial a definição clara e objetiva da situação-problema a ser resolvida. Esta é uma etapa qualitativa que requer embasamento teórico, através de conhecimento técnico ou com a busca por referências bibliográficas de estudos existentes. Com o problema claramente definido e os critérios estabelecidos, passa-se, então à aplicação do procedimento quantitativo da análise multicritério (JANUZZI *et al.*, 2009).

A MCDA aplicada em ambiente SIG permite a utilização de camadas (*layers*) como os critérios definidos, com intuito de obter um único mapa final como solução, resultado da sobreposição entre as camadas e os pesos atribuídos a elas. Em vista disso, a análise espacial multicritério requer informações sobre os locais geográficos das alternativas, dos valores dos critérios e também requer o julgamento das alternativas relacionadas ao processo de decisão (OLIVEIRA, 2018).

#### **2.4.3 Análise Hierárquica - *Analytic Hierarchy Process* (AHP)**

A Análise Hierárquica é definida, segundo o *Decision Support Systems Glossary*, como:

Uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um *ranking* total das alternativas (DSS, 2000, p. 253).

A teoria, introduzida por Saaty, possui como princípio o julgamento dos critérios em estudo de forma pareada, permitindo uma simplificação do problema geral ao tratá-lo em pares. Segundo o autor, a estratificação ocorre de maneira natural na mente do ser humano, que ao lidar com elevado número de informações, as subdivide em grupos de características similares, de maneira a reduzir a complexidade da análise inicial. Dessa forma, é possível passar de um nível mais elevado para um mais simples, formando, assim, uma hierarquia, por níveis estratificados. Para analisar os elementos dessa hierarquia, deve-se buscar o peso que faz os fatores individuais de níveis mais baixos influenciar o objetivo geral, ou seja, o fator máximo. Contudo que a relação estabelecida não seja uniforme, são estabelecidas prioridades, as quais consistem nos pesos relativos determinados para diferenciar a relevância entre os critérios para atingir o objetivo final. Por meio da comparação aos pares, demonstra-se a intensidade de domínio de um critério em relação ao outro (SILVA, 2007).

Segundo Saaty (1994 citado por SILVA, 2007, p. 38), “o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão”.

O processo de hierarquização pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo. As comparações entre os próprios critérios recebem valor 1 e as comparações recíprocas recebem valores inversos aos atribuídos na comparação inicial (SILVA, 2007).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Área de estudo**

A área de avaliação correspondeu às Usinas Hidrelétrica (UHE) de Itutinga e Camargos, localizadas no Estado de Minas Gerais (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Área de estudo correspondente à localização das UHE Itutinga e Camargos no contexto dos municípios sob influência.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A UHE de Itutinga está localizada no contexto hidrográfico do rio Grande, na porção da bacia no alto rio Grande, entre os municípios de Itutinga e Nazareno. As obras foram iniciadas na década de 1950 pela empresa Companhia Eléctricas do Alto Rio Grande (CEARG), sendo concluída em 1955. Anos depois passou a ser administrada pela CEMIG. Possui quatro unidades geradoras de 13 MW cada uma, totalizando uma potência eléctrica de 52 MW. Sua barragem possui 25 metros de altura e seu reservatório possui 1,72 km<sup>2</sup> de espelho de água e volume de 11,40 hm<sup>3</sup> de água. O reservatório apresenta nível água (NA) máximo operativo de 886 m e NA máximo *maximorum* de 887 m, dessa forma a área destinada à APP corresponde a 7,33 ha (CEMIG, 2000). A usina opera com pequena magnitude da variação de flutuação de nível de água do reservatório, característica operacional que está vinculada à regra operativa da UHE Camargos, visto que essa se encontra a montante da UHE de Itutinga. Tal característica

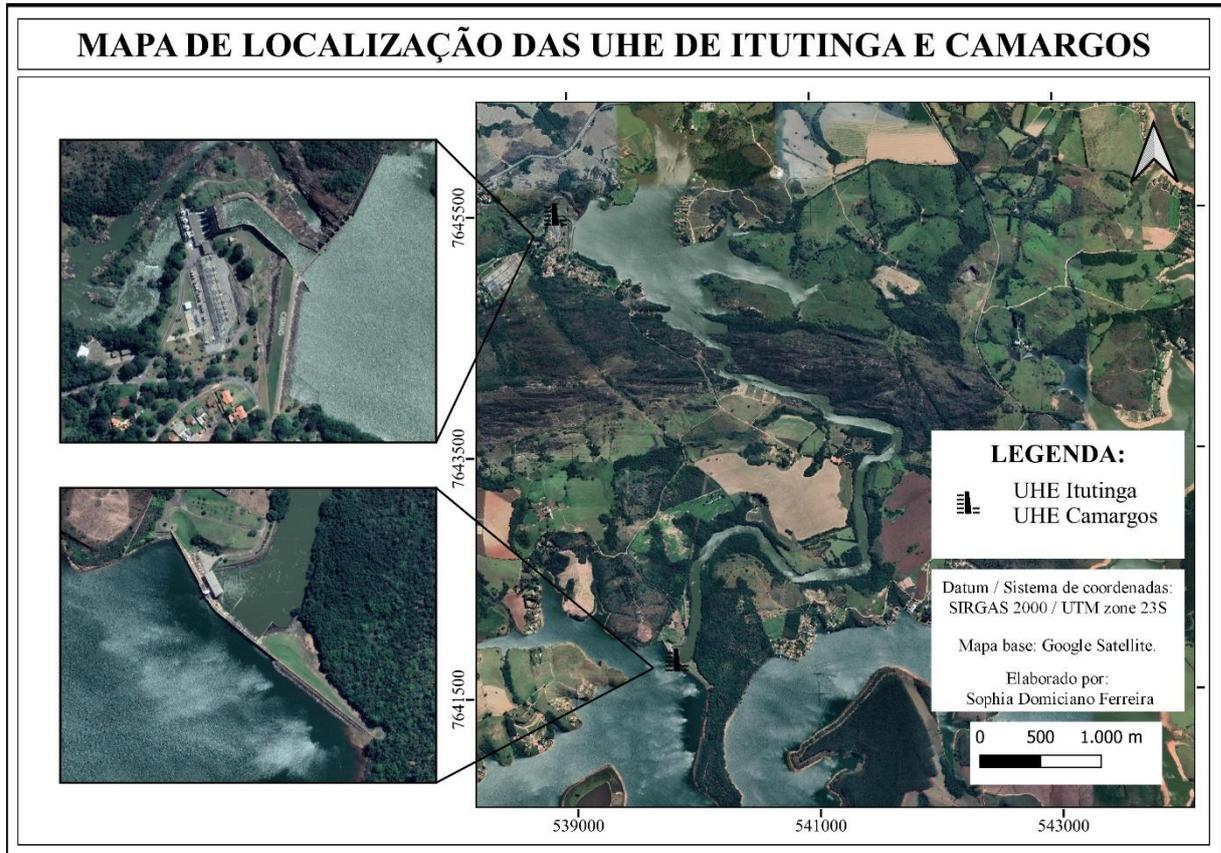
de baixo deplecionamento favorece significativamente a estabilidade das encostas voltadas para o reservatório (ÁGUA E TERRA, 2012).

O reservatório apresenta pequena flutuação de nível, o que viabiliza a sua utilização para esportes náuticos e facilita o lazer e turismo. Tal característica é atribuída ao tipo de usina, denominada a fio d'água, sendo essa a forma de aproveitamento que ocorre na UHE de Itutinga. Neste modelo, não são utilizados grandes reservatórios de água, reduzindo a estrutura das barragens e a dimensão dos alagamentos. Aproveita-se a força da correnteza dos rios para gerar energia, sem precisar estocar água.

Já a UHE de Camargos está localizada na cidade de Itutinga - MG, no rio Grande à montante da usina de Itutinga, como já mencionado. A construção da UHE começou em 1956, tendo o início de suas operações no ano de 1960. Possui potência instalada de 45 MW, distribuídas em duas unidades geradoras. O reservatório não apresenta APP, pois não existe diferença entre o máximo operativo (913 m) e o máximo *maximorum* (913 m) (CEMIG, 2023).

A Figura 3.2 apresenta a localização das UHE de Itutinga e Camargos.

Figura 3.2 – Mapa de localização das UHE de Itutinga e Camargos.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As informações utilizadas para caracterização da região foram obtidas a partir de dados secundários, disponibilizados publicamente no documento PACUERA UHE ITUTINGA, 2017.

### 3.1.1 Caracterização ambiental da área de estudo

Em relação ao clima, a região é caracterizada pelo clima tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm por ano. A temperatura média anual, por sua vez, varia de 18°C a 19°C sendo fevereiro o mês mais quente do ano, com temperatura média variando entre 20 e 22°C e julho, o mês mais frio, com temperaturas variando entre 14 e 15°C (FERREIRA *et al.*, 2011).

Em função de estar localizada na região dos Campos das Vertentes, a área de estudo compreende um conjunto de colinas de relevo ondulado a fortemente ondulado, com presença de colúvio. Na área de entorno do reservatório o tipo de solo mais representativo compreende os Cambissolos os quais possuem teores elevados de silte e areia, baixa fertilidade com baixa permeabilidade, podendo ou não apresentar impeditivos relativos a pedregosidade (EMBRAPA, 2013).

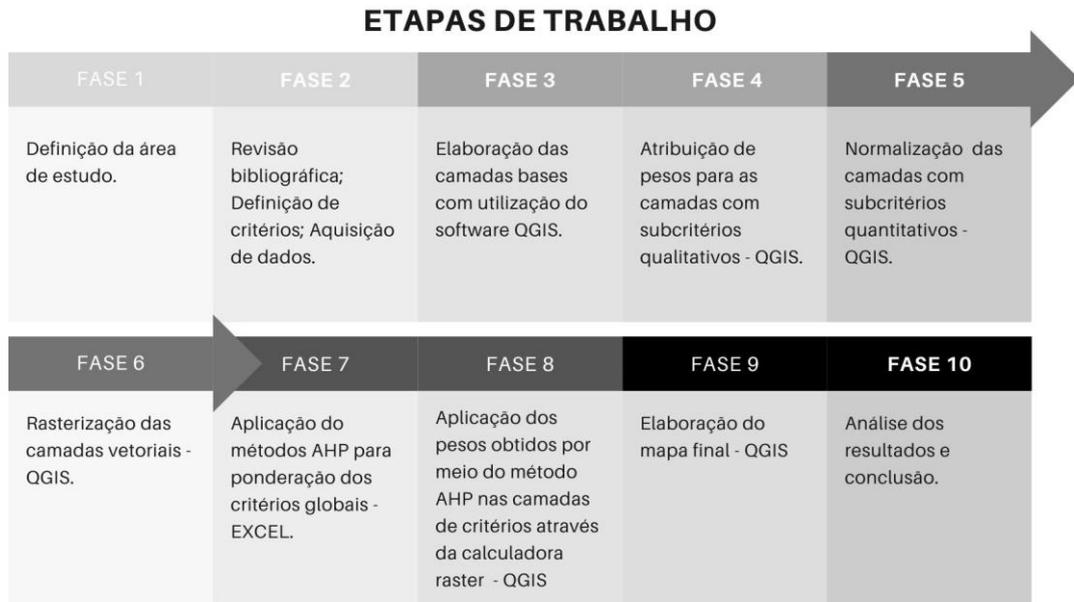
A área está inserida no domínio do Bioma Mata Atlântica. Desta forma, o desenvolvimento de processos erosivos e/ou de movimentos gravitacionais nas margens do reservatório, embora pouco expressivos, está mais relacionado ao uso do solo e ao escoamento pluvial do que as próprias características geomorfológicas e pedológicas da área. A ocorrência de áreas instáveis e desprovidas de cobertura vegetal nas margens do reservatório resulta em pontos sensíveis, podendo desenvolver processos erosivos de intensidades diversas. Ressalta-se que a baixa incidência de erosões se reflete, conseqüentemente, na baixa taxa de assoreamento do reservatório, que pode ser evidenciada pela cristalinidade da água e pela inexistência de barras de areia (ÁGUA E TERRA, 2012).

Ressalta-se que a área de estudo foi definida de forma a englobar toda região no entorno dos reservatórios das UHE de Itutinga e Camargos, não sendo essa área a mesma correspondente à Área de Entorno do Reservatório definida no PACUERA, uma vez que a usina de Camargos não possui PACUERA. A dimensão da área de estudo é de 840,46 km<sup>2</sup>.

### **3.2 Etapas de trabalho**

O presente trabalho foi elaborado seguindo algumas etapas de execução, de maneira a ordenar seu passo a passo metodológico. O fluxo apresentado na Figura 3.3 contém as fases desse processo, assim como as principais atividades desenvolvidas em cada uma delas.

Figura 3.3 – Etapas de desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.3 Critérios utilizados

Os critérios utilizados foram divididos em critério globais e subcritérios. Os critérios globais correspondem às camadas de (i) Uso e Ocupação da Terra, (ii) Classe de Solo, (iii) Proximidade com o Reservatório e (iv) Declividade do Terreno (Figura 3.4). Os dois primeiros consistem em dados qualitativos, dessa forma, para a ponderação de seus subcritérios foi utilizada uma ordem hierárquica, sendo atribuídos pesos de 0 a 1, tendo como base referências de literatura.

Figura 3.4 – Critérios globais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os critérios representados pelos mapas de classe de solos, uso e ocupação da terra e proximidade com o reservatório apresentam classes (subcritérios) em cada uma recebeu seu próprio peso, estando a somatória dos pesos dos subcritérios igual a 1. Dessa forma, cada classe recebeu um peso de acordo com seu grau de relevância em relação ao seu grau de susceptibilidade à erosão, no sentido em que as classes de maior grau receberam pesos maiores e aquelas de menor grau receberam pesos menores.

Para os subcritérios quantitativos da declividade do terreno, foi utilizada a lógica *fuzzy*, em que os dados originais foram reescalados em uma escala de gradação contínua variando de 0 a 1, utilizando a Equação 3.1 de normalização sugerida pelos autores Pedrycz, Ekel e Parreiras (2011).

$$X_{\text{normalizado}} = \frac{(x - x_{\text{mínimo}})}{(x_{\text{máximo}} - x_{\text{mínimo}})} \quad (3.1)$$

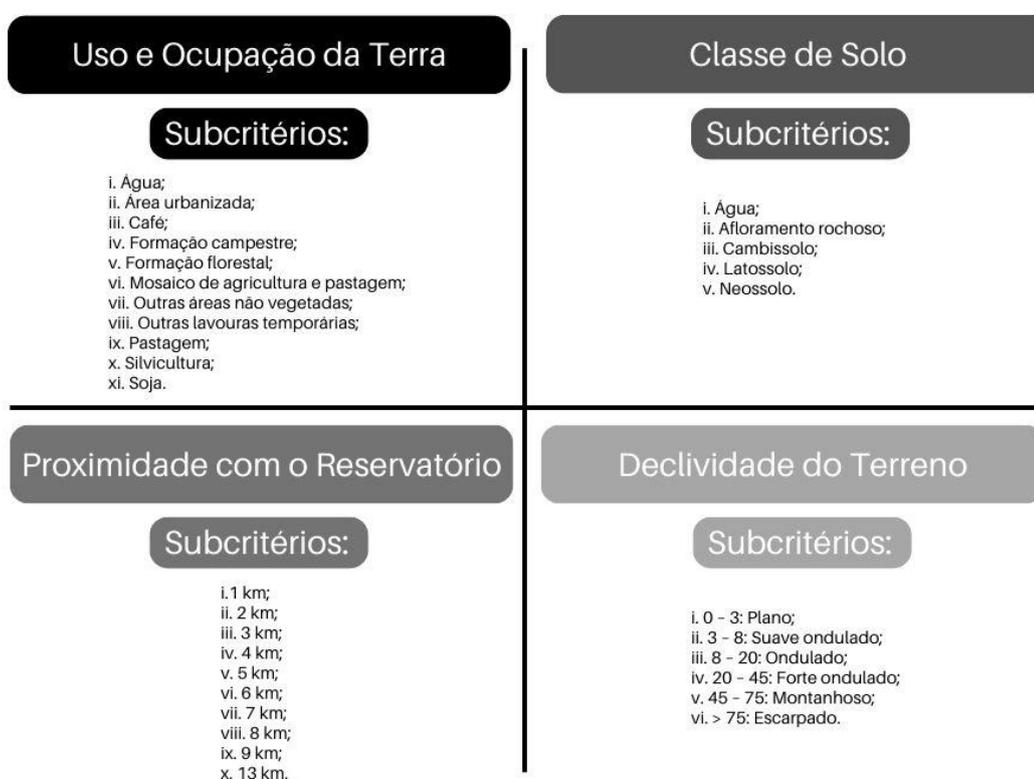
Sendo:

x a camada a ser normalizada;

x mínimo o menor valor da camada; e

x máximo o maior valor da camada.

Figura 3.5 – Subcritérios.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por definição, o valor 1 representa o nível máximo de contribuição do subcritério para à erosão, conseqüentemente, o valor 0 representa ausência de contribuição e os valores intermediários, níveis médios de contribuição, como ilustrado na Figura 3.6.

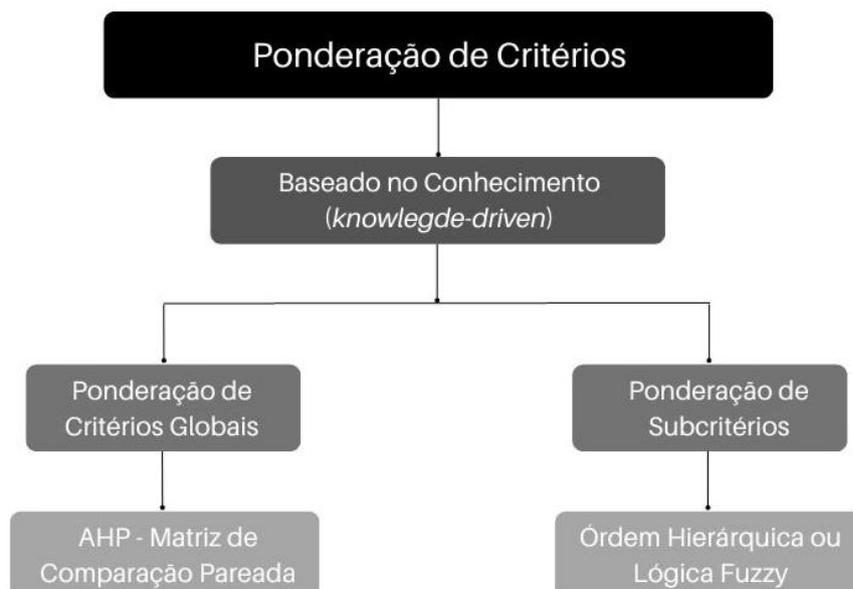
Figura 3.6 – Escala de contribuição de um critério para a erosão.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

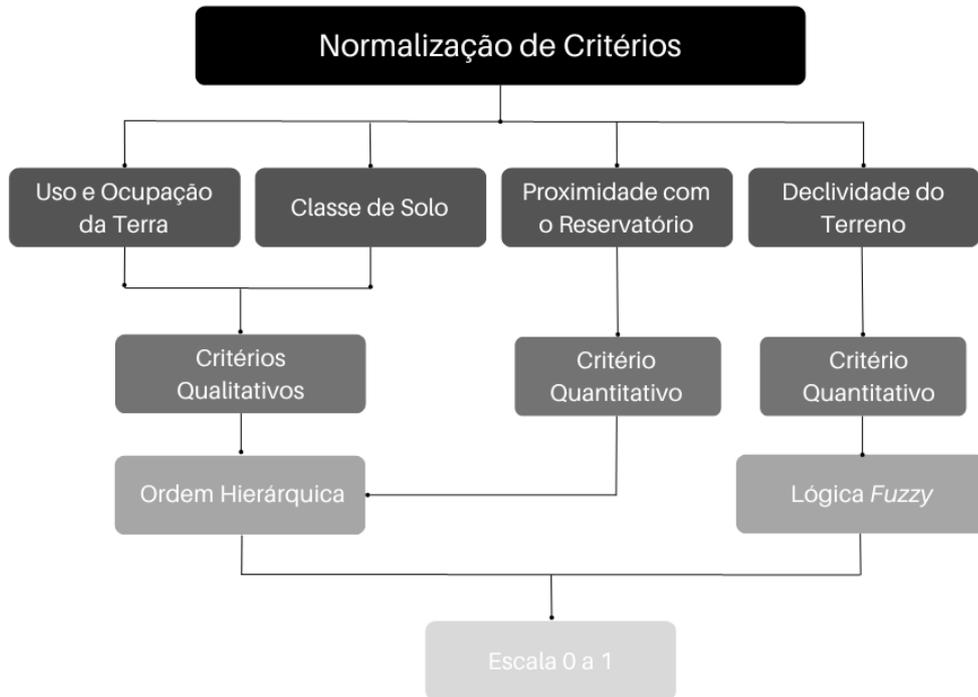
Para a ponderação dos critérios globais foi utilizado o método AHP clássico por meio da matriz de comparação pareada. As Figuras 3.7 e 3.8 resumem a maneira como os critérios foram analisados.

Figura 3.7 – Ponderação de critérios.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 3.8 – Normalização de critérios.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

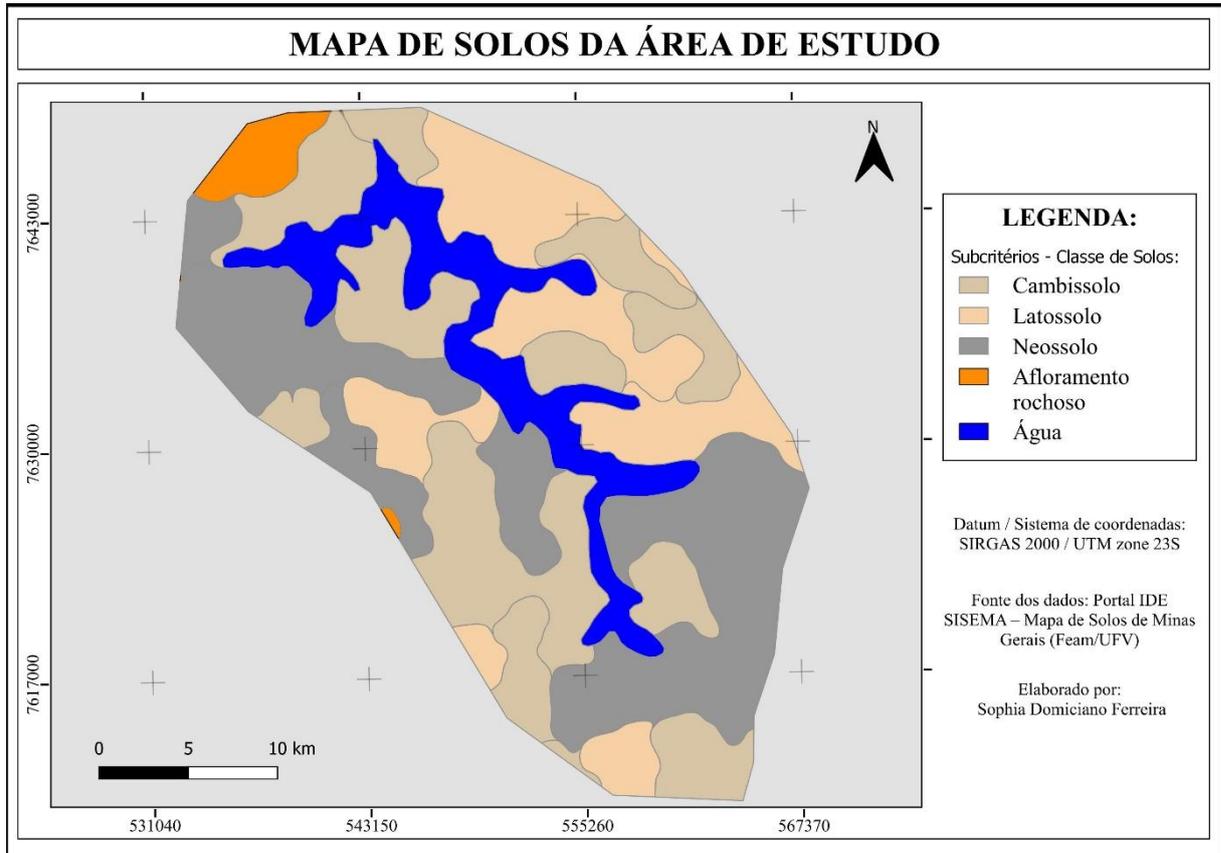
O processamento digital dos dados para preparação dos mapas temáticos foi realizado com o *software* QGIS 3.22.14. Todas as camadas vetoriais foram rasterizadas e trabalhadas na resolução espacial de 12,5 metros.

### 3.3.1 Classe de Solo

A camada denominada Classe de Solo se refere ao tipo de solo de acordo com as propriedades que o mesmo apresenta. A camada utilizada foi obtida através do portal IDE SISEMA – Mapa de Solos de Minas Gerais (Feam/UFV) e recortada para a área de estudo definida.

A Figura 3.9 contém o mapa temático de solos da área de estudo com as tipologias legendadas. É importante ressaltar que o mapa de solos original apresenta subclasses para as classes de solos, no entanto o estudo foi feito de forma simplificada conforme mostrado na Figura 3.5.

Figura 3.9 – Mapa de solos da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A atribuição dos pesos foi feita utilizando uma ordem hierárquica tendo como base valores de referências da literatura seguindo a metodologia explicitada anteriormente. A Tabela 3.1 apresenta os pesos dados a cada subcritério.

Tabela 3.1 – Pesos dos subcritérios da classe de solo.

SUBCRITÉRIO	PESO
Água	0
Latossolo	0,25
Cambissolo	0,75
Neossolo	1,00
Afloramento rochoso	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.3.2 Uso e Ocupação da Terra

A camada Uso e Ocupação da Terra foi obtida no portal Map Biomas com dados referentes a 2021 (Coleção 7.1) para todo o território brasileiro, sendo então realizado o corte para a área de estudo. A atribuição dos pesos foi feita utilizando uma ordem hierárquica seguindo os mesmos princípios aplicados ao subcritério anterior. Os valores estão apresentados na Tabela 3.2.

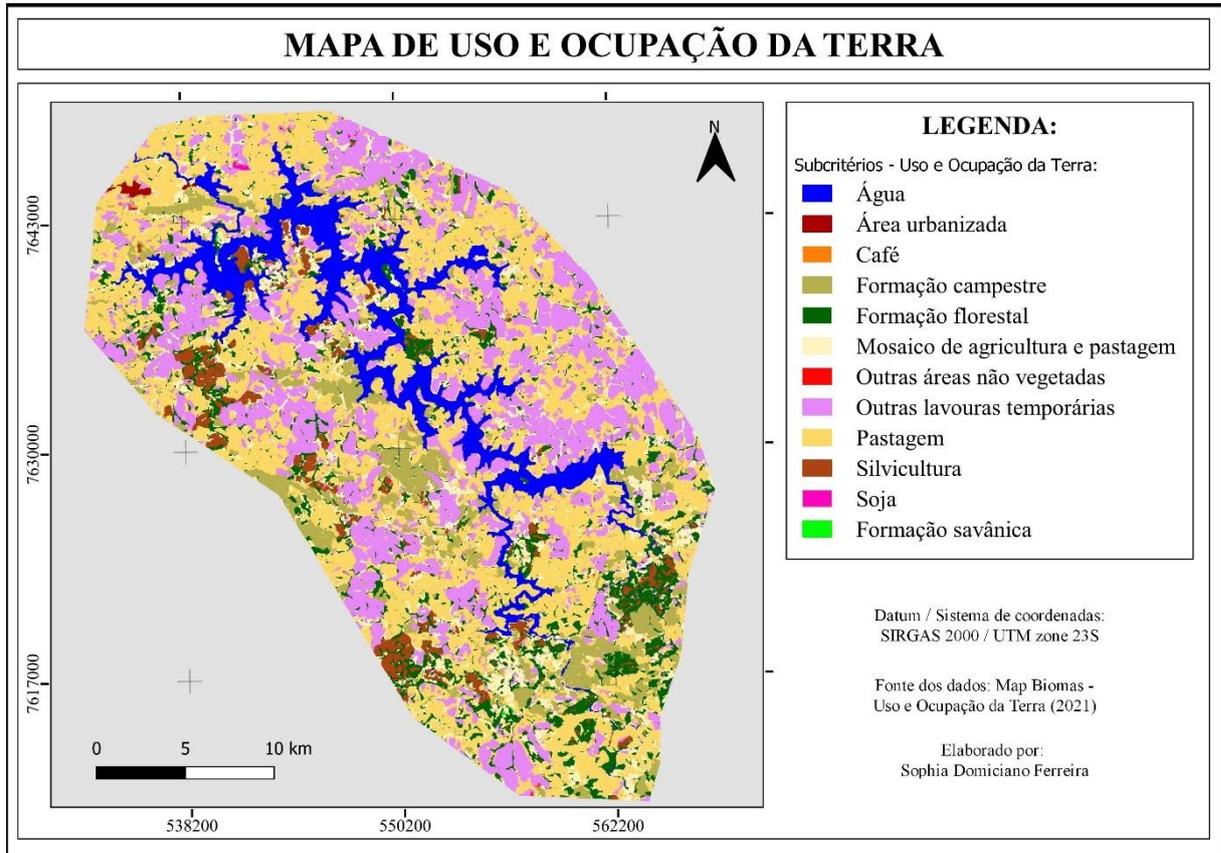
Tabela 3.2 – Pesos dos subcritérios do Uso e Ocupação da Terra.

<b>SUBCRITÉRIO</b>	<b>PESO</b>
Formação florestal	0,12
Formação savânica	0,25
Silvicultura	0,45
Formação campestre	0,37
Pastagem	0,85
Mosaico de agricultura e pastagem	0,85
Área urbanizada	0,49
Outras áreas não vegetadas	1,00
Água	0
Soja	0,80
Outras lavouras temporárias	0,80
Café	0,60

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Figura 3.10, a seguir, apresenta o mapa de Uso e Ocupação da Terra para a área de estudo.

Figura 3.10 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.3.3 Proximidade com o reservatório

A camada proximidade com o reservatório consiste em *buffers* de distâncias no entorno do reservatório, sendo que quanto mais afastada a área, menor sua contribuição para a erosão do reservatório se o critério for analisado de forma independente.

A atribuição de pesos para a camada foi realizada em duas etapas. A primeira consistiu na definição das distâncias do reservatório e a segunda, para cada distância estipulada, foi utilizada uma ordem hierárquica para atribuição de pesos variando de 0 a 1 seguindo a mesma metodologia dos critérios anteriores. A Tabela 3.3 destaca os pesos dados a cada subcritério.

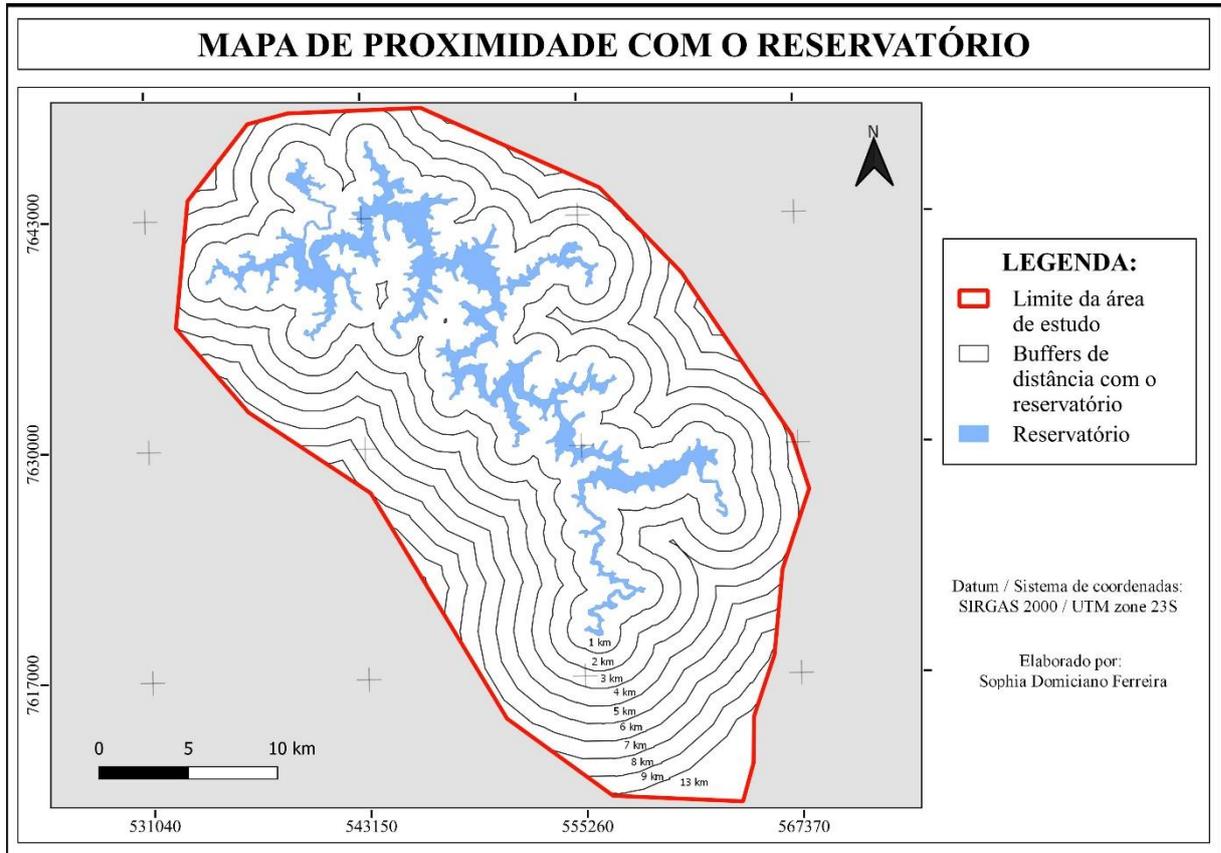
Tabela 3.3 – Pesos dos subcritérios da proximidade com o reservatório.

<b>SUBCRITÉRIO</b>	<b>PESO</b>
1 km	1,00
2 km	0,80
3 km	0,60
4 km	0,50
5 km	0,40
6 km	0,30
7 km	0,20
8 km	0,10
9 km	0,05
13 km	0,01

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Figura 3.11 contém o mapa de distância utilizado para a atribuição dos pesos do critério distância com o reservatório.

Figura 3.11 – Mapa de proximidade com o reservatório.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.3.4 Declividade do terreno

Para a obtenção da camada Declividade do Terreno foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão ALOS PALSAR com 12,5 metros de resolução espacial recortado para a área de estudo e então realizada a classificação da declividade de acordo com os critérios de classificação do relevo da EMBRAPA (1979). As classes de declividade e seus respectivos graus de susceptibilidade à erosão estão apresentados na Tabela 3.4.

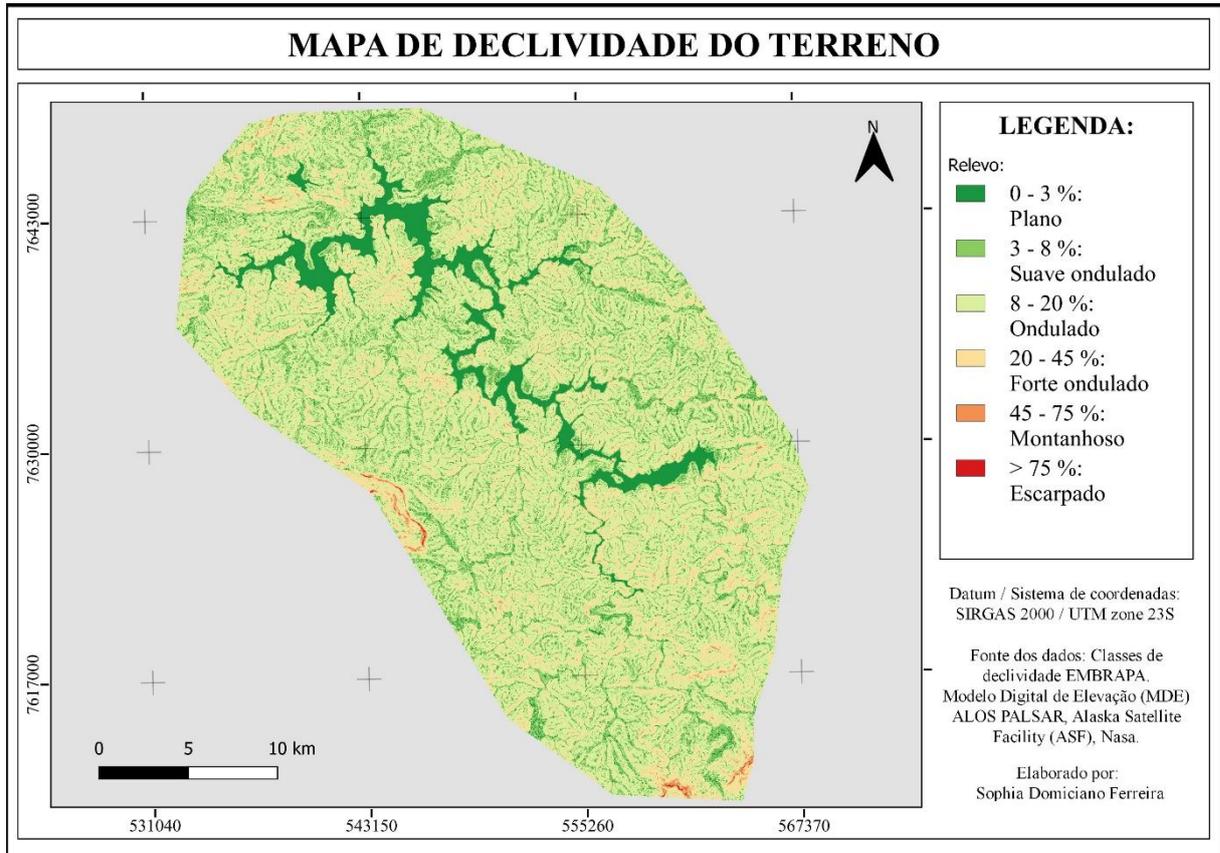
Tabela 3.4 – Pesos dos subcritérios da declividade do terreno.

<b>DECLIVIDADE (%)</b>	<b>RELEVO</b>	<b>GRAU DE SUSCEPTIBILIDADE</b>	<b>PESOS</b>
0 - 3	Plano	Muito fraco	1
3 - 8	Suave ondulado	Fraco	2
8 - 20	Ondulado	Médio	3
20 - 45	Forte ondulado	Forte	4
45 - 75	Montanhoso	Muito forte	5
> 75 km	Escarpado		6

Fonte: Classificação EMBRAPA, 1979.

Com a camada classificada, realizou-se, então, a normalização da mesma utilizando a Equação 3.1 baseada na lógica *fuzzy*, como mencionado anteriormente. A Figura 3.12 contém um mapa de Declividade do Terreno para a área de estudo.

Figura 3.12 – Mapa de declividade do terreno.

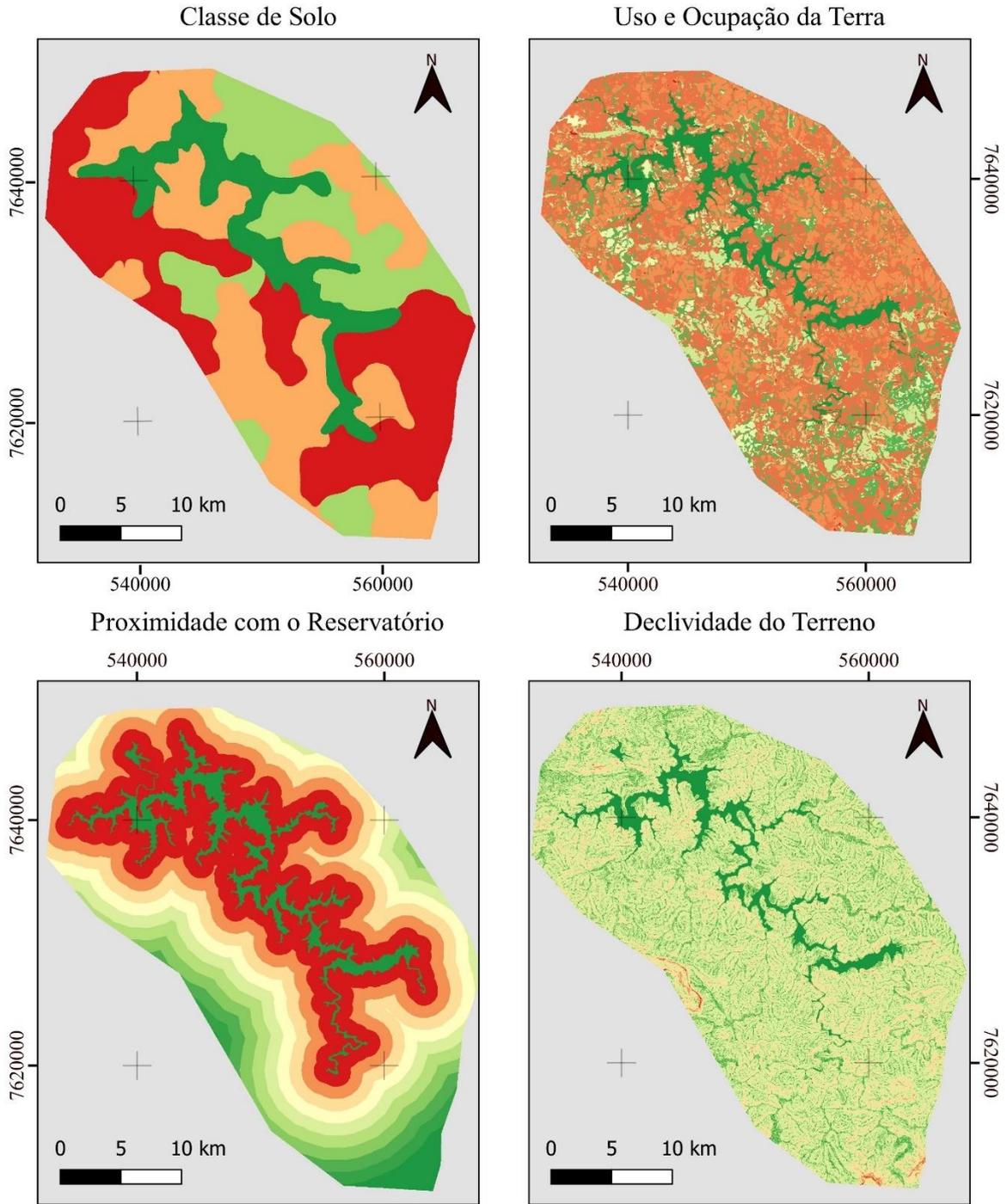


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.4 Normalização dos subcritérios

Os subcritérios qualitativos foram ponderados com valores de 0 a 1 já correspondendo a escala normalizada, assim como o critério Proximidade com o Reservatório. O subcritério Declividade do Terreno, por apresentar dados variando de 1 a 6 foi normalizado e para isso foi utilizada a Equação 3.1. A Figura 3.13 contém os mapas de critérios com seus respectivos subcritérios normalizados na escala 0 a 1.

Figura 3.13 – Mapas dos subcritérios normalizados.



**LEGENDA:**

Grau de susceptibilidade à erosão:

	1 - Máximo
	0 - Mínimo

Datum / Sistema de coordenadas:  
SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

Elaborado por:  
Sophia Domiciano Ferreira

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.5 Definição dos pesos para os critérios globais

A ponderação dos pesos globais foi feita utilizando o método AHP. Para avaliação dos critérios foram selecionados três especialistas com experiência e atuação nas áreas de geociências e meio ambiente. Aos avaliadores foi requisitado o preenchimento da matriz de comparação pareada por meio da atribuição de notas de acordo com o conhecimento de cada um a respeito dos critérios globais, seguindo a escala recomendada por Saaty.

Os valores fornecidos por cada avaliador foram então somados à avaliação realizada por mim de acordo com meus conhecimentos adquiridos ao longo da graduação sobre o tema. A soma foi então dividida pelo número de avaliadores obtendo, assim, a média dos valores. Os valores médios foram os utilizados para compor a matriz de comparação pareada. Para a realização dos cálculos foi utilizado o *Excel*.

De acordo com o método, para que a matriz seja consistente, deve-se enquadrar em alguns parâmetros estabelecidos. Um deles é o Índice de Inconsistência (IC) definido pela Equação 3.1, na qual requer o conhecimento do  $\lambda$  máximo que por sua vez pode ser calculado conforme a Equação 3.2:

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máximo}} - n)}{(n-1)} \quad (3.1)$$

Sendo:

n o número de critérios, ou seja, a dimensão da matriz.

$$\lambda_{\text{máximo}} = \text{média do vetor } \frac{Aw}{w} \quad (3.2)$$

Sendo:

w o vetor coluna de prioridades computado, que são os pesos dos critérios; e

Aw o vetor resultante multiplicação da matriz de julgamentos (A) pelo vetor w.

Tabela 3.5 – Escala recomendada método AHP.

<b>INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>EXPLICAÇÃO</b>
1	Mesma importância	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um critério é muito fortemente favorecido em relação a outro. Sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um critério em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma relação de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de 0	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.

Fonte: adaptado de SILVA, 2007.

Como regra geral, o Índice de Consistência deve ser menor que 0,1, caso contrário é recomendado realizar novos julgamentos (reavaliar os pesos ou estruturação do problema) de modo a aumentar esse índice e os pesos fazerem sentido. Saaty também sugere o uso da Razão

de Consistência, que considera o IC e o Índice Randômico (IR), o qual varia com o tamanho  $n$  da amostra, conforme a Equação 3.3.

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{\text{IC}}{\text{IR para } n} \quad (3.3)$$

O autor propõe ainda uma tabela com índices randômicos de matrizes de ordem de 1 a 15 calculados em laboratório. A Tabela 3.6 apresenta esses valores.

Tabela 3.6 – Índice Randômico Médio do AHP.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991).

Com isso, o procedimento seguiu as seguintes etapas:

- › Passo 1: Criação da matriz de comparação pareada (Tabela 4.1);
- › Passo 2: Soma das linhas;
- › Passo 3: Normalização das somas (autovetor  $w$ );
- › Passo 4: Cálculo do produto vetorial – Multiplicação da matriz pelo autovetor  $w$ ;
- › Passo 5: Cálculo do  $\lambda$  (autovalor);
- › Passo 6: Cálculo do  $\lambda$  máximo;
- › Passo 7: Cálculo da Razão de Consistência.

### 3.6 Elaboração do mapa final

O mapa final consiste na sobreposição das camadas *raster*, ou seja, na sobreposição dos critérios globais definidos e ponderados. A resolução espacial das camadas é de 12,5 metros, definidas de acordo com a resolução do MDE utilizado para o processamento da camada de declividade. Para elaboração foi utilizado o *software* QGIS 3.22.14, onde a álgebra de mapas foi calculada na calculadora *raster* utilizando o método multicritério aditivo de acordo com a Equação 3.2.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n k_i w_i (x_i) \quad (3.2)$$

Em que:

$k_i$  é uma constante (0 ~ 1);

$w_i$  peso atribuído ao fator;

$x_i$  é o fator/critério, ou seja, a camada *raster*; e

$n$  é o número de camadas ou fatores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho utilizou a metodologia de Análise Multicritério em ambiente SIG juntamente com o método AHP, lógica *Fuzzy* e ordem hierárquica baseada na literatura para elaboração de um mapa final de áreas com susceptibilidade à erosão no entorno de dois reservatórios para geração de energia. Subcritérios qualitativos foram ponderados através de ordem hierárquica com base em conhecimento e fontes de literatura, assim como o critério quantitativo Proximidade com o Reservatório. Já o subcritério quantitativo Declividade do Terreno foi escalonado baseando-se na lógica *fuzzy*. O método AHP foi utilizado na ponderação de critérios globais.

### 4.1 Comparação pareada dos critérios

Os valores obtidos para os critérios globais/fatores, segundo o julgamento dos especialistas, estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Matriz de comparação pareada.

	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	6	5	5
<b>C<sub>2</sub></b>	1/6	1	2	2
<b>C<sub>3</sub></b>	1/5	1/2	1	2
<b>C<sub>4</sub></b>	1/5	1/2	1/2	1

Autovalor máximo ( $\lambda_{\max}$ ) = 4,1165.  $n = 4$ . IC = 0,0388. RC = 0,04365. C<sub>1</sub>: Uso e Ocupação da Terra; C<sub>2</sub>: Classe de Solo; C<sub>3</sub>: Declividade do Terreno; C<sub>4</sub>: Proximidade com o Reservatório.

Fonte: da autora, (2023).

De posse dos julgamentos, foram então calculados os parâmetros determinados por Saaty (1991) para verificar a consistência da matriz. Neste estudo, o valor de  $n$ , que representa o tamanho da matriz (ou número de critérios) foi 4. O autovalor máximo e o índice de consistência foram, respectivamente, 4,1165 e 0,0388. Dessa forma, a matriz se caracterizou como consistente, pois se enquadrou nos parâmetros  $n \geq 4$ ,  $IC \leq 0,1$  e  $\lambda_{\max} \geq n$ . O uso do AHP no trabalho teve como objetivo estruturar a lógica na ponderação dos critérios globais e forneceu um resultado matematicamente consistente de acordo com as especificações do método. Os pesos calculados para cada fator estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Pesos calculados para cada fator.

<b>Critérios</b>	<b>Pesos</b>
Uso e Ocupação da Terra	0,61
Classe de Solo	0,19
Declividade do Terreno	0,13
Proximidade com o Reservatório	0,07

Fonte: da autora, (2023).

Verificou-se que o fator Uso e Ocupação da Terra obteve o valor mais alto, totalizando mais da metade da soma dos pesos (61%). Os fatores Classe de Solo (19%) e Declividade do Terreno (13%) apresentaram valores próximos um ao outro mostrando que, segundo os julgamentos, tais fatores contribuem de maneira similar para a erosão do solo. Já o fator Proximidade com o Reservatório foi o que recebeu o menor peso (7%).

A explicação para os resultados pode ser atribuída à maneira como a abordagem do problema ocorreu. Como o objetivo da avaliação foi conferir maior peso ao fator que mais contribui para a erosão, os outros critérios ganharam mais importância quando analisados de forma independente da distância. A correlação entre os fatores também pode ser citada, o que possivelmente dificultou a avaliação dos critérios.

Outro ponto importante na contribuição da erosão para o reservatório está no carreamento de partículas pela água das chuvas e tal processo ocorre por meio da rede de drenagem existente, dessa forma, havendo um foco erosivo distante do reservatório, porém próximo à uma linha de drenagem e com condições favoráveis ao carreamento de partículas o fator Proximidade com o Reservatório também não se faz menos relevante, talvez sendo mais condizente a utilização de um fator Proximidade com a Rede de Drenagem.

Os resultados são compatíveis a literatura (ÁGUA E TERRA, 2012), na qual é relatado que o desenvolvimento de processos erosivos e/ou de movimentos gravitacionais nas margens do reservatório, embora pouco expressivos, está mais relacionado ao uso do solo e ao escoamento pluvial do que as próprias características geomorfológicas e pedológicas da área.

Como já mencionado, o preenchimento da matriz de julgamentos ocorreu de forma participativa, por meio de um grupo de pessoas que avaliaram os fatores e, segundo seus conhecimentos e experiências, atribuíram notas a eles. Esse tipo de abordagem tem ganhado credibilidade entre os tomadores de decisão (JEONG *et al.*, 2017) e pode alcançar eficácia e eficiência, bem como relevância e capacidade de resposta a um baixo custo (MCCALL; DUNN, 2012). O interessante do processo foi verificar a diferença de importância dada por cada analista de acordo com sua linha de atuação ou seu perfil, mais acadêmico ou mais prático, evidenciando a complexidade de análises desse tipo, especialmente quando envolvem um número elevado de critérios, com fatores cada vez mais relacionados.

## 4.2 Mapa final

Para obtenção do mapa final foram utilizados os pesos obtidos para cada fator (camadas), baseando-se no método multicritério aditivo conforme abordado anteriormente. Com auxílio da calculadora *raster* foi elaborada a seguinte expressão:

$$\text{mapa final} = (C_1 \times 0,61) + (C_2 \times 0,19) + (C_3 \times 0,13) + (C_4 \times 0,07)$$

Em que:

$C_1$  = Uso e Ocupação da Terra;

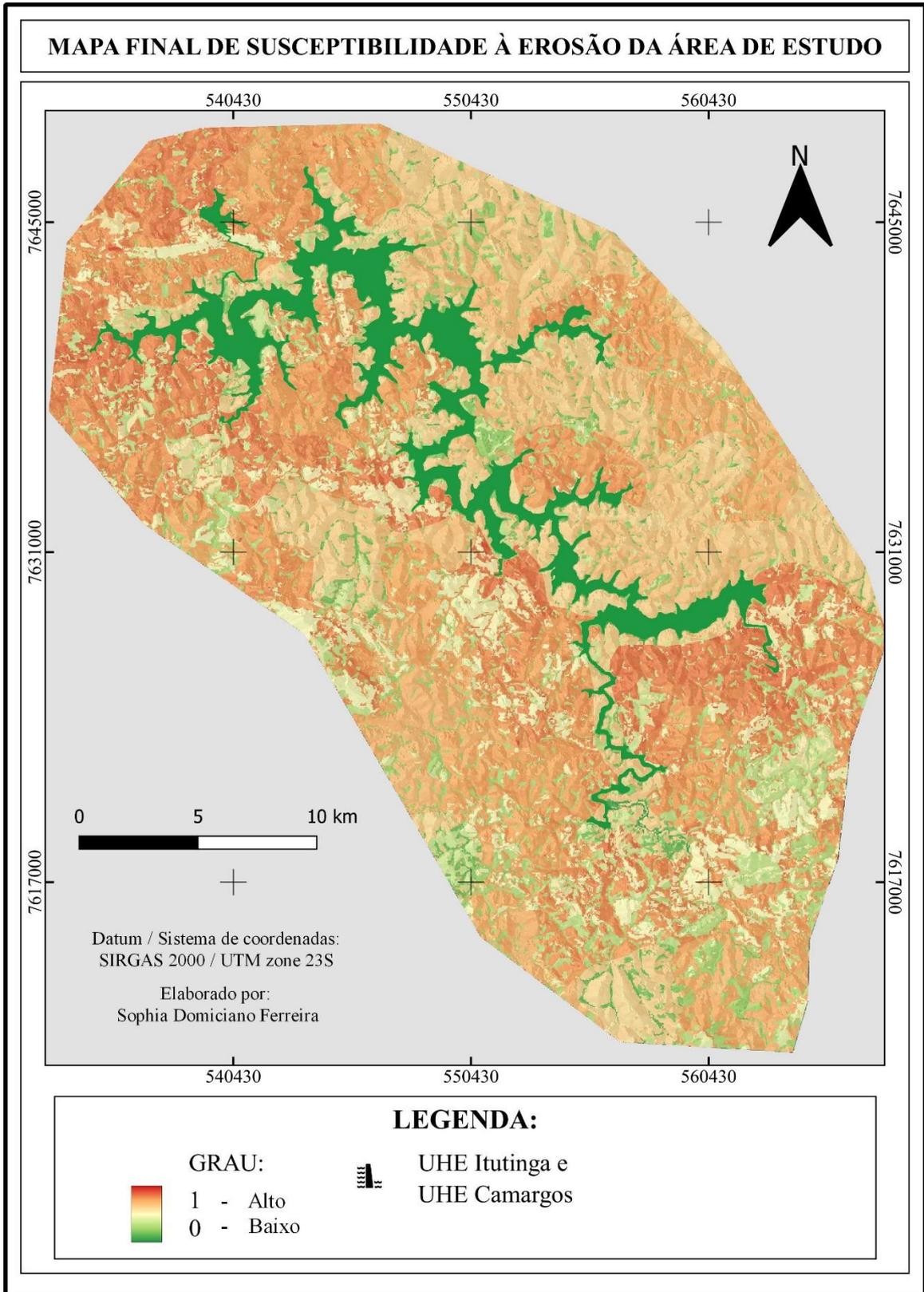
$C_2$  = Classe de Solos;

$C_3$  = Declividade do Terreno; e

$C_4$  = Proximidade com o Reservatório.

Como decorrência dessa operação, obteve-se as informações na forma de superfície contínua das áreas, com os graus de potencial de erosão considerando os fatores. O resultado está representado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Mapa final de susceptibilidade da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora, (2023).

De posse do mapa final das áreas com susceptibilidade à erosão na área de estudo, é possível definir ações mais assertivas para regiões mais críticas de maneira a minimizar o assoreamento do reservatório de geração de energia. Além disso, é possível verificar se o resultado reflete as condições locais, caso contrário reavaliar os fatores utilizados, ou mesmo estabelecer novos critérios e alterar as prioridades, ou seja, trata-se de uma metodologia bastante flexível, o que é interessante para tomada de decisão que envolvem diversos aspectos e várias pessoas.

Pode-se perceber que o mapa apresenta apenas uma pequena parcela considerada com baixo potencial erosivo, isso significa que somando as camadas ponderadas essas áreas foram a que receberam o menor valor, fato devido principalmente à locais onde ocorre formação florestal. De modo geral, grande parte do entorno apresenta grau intermediário de susceptibilidade à erosão, o que é atribuído ao uso e ocupação do entorno, uma vez que tal critério foi o que recebeu o maior peso. Devido ao menor peso da camada Proximidade com o Reservatório, as áreas mais susceptíveis ficaram distribuídas na região, ao invés de se localizarem prioritariamente nas proximidades do reservatório.

Ao analisar as Figuras 4.1 e 3.12 em conjunto e compará-las é possível perceber os pontos mais críticos estão nos locais onde a maioria dos critérios individualmente também apresentou maior valor devido à natureza do método multicritério aditivo empregado. A flexibilidade da análise é mostrada em toda ponderação, mas especialmente na maneira como foram julgados os subcritérios. Dependendo do julgamento dos avaliadores na ordem hierárquica os resultados podem apresentar diversos níveis. Se os tomadores de decisão acharem que uma das causas de erosão é prioritária para ações, então esse critério pode receber um valor mais discrepante de maneira a obter um mapa com categorias mais destacadas.

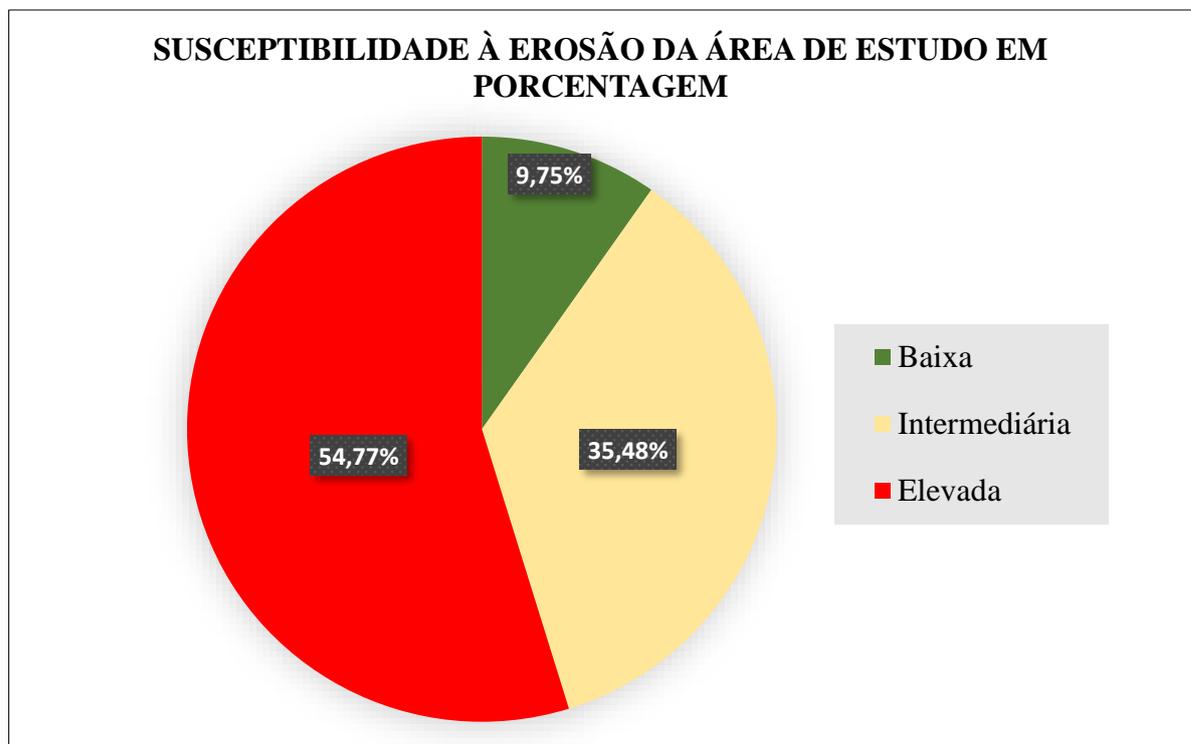
De forma a quantificar a susceptibilidade à erosão da área de estudo em termos de porcentagem, a camada *raster* mapa final foi reclassificada em três categorias, conforme a Tabela 4.3. Com o resultado obtido, foi utilizada a ferramenta *r.report* da extensão GRASS do software QGIS para obter o relatório em porcentagem dos valores correspondente a cada uma delas. Os resultados estão apresentados na Figura 4.2.

Tabela 4.3 – Reclassificação da camada mapa final.

Valores	Categoria
0   0,33	Baixo grau de susceptibilidade
0,33   0,66	Grau intermediário de susceptibilidade
0,66   1	Elevado grau de susceptibilidade

Fonte: da autora, 2023.

Figura 4.2 – Susceptibilidade à erosão da área de estudo em porcentagem.



Fonte: da autora, 2023.

### 4.3 Limitações da metodologia utilizada

As informações referentes ao Uso e Ocupação da Terra e Classe de Solos foram obtidas de fontes oficiais, portanto representam dados confiáveis, o que é de extrema importância para estudos dessa natureza, em que a qualidade e confiabilidade dos dados de entrada são fundamentais para a credibilidade do resultado. No entanto, as classificações foram realizadas

em escala muito maior do que a utilizada nesse estudo. A camada Uso e Ocupação da Terra corresponde a todo o território nacional e foi recortada para os limites da área de estudo. Já a camada Classe de Solos apresenta informações de toda região de Minas Gerais e também foi recortada para área de estudo em questão.

Outro ponto importante consiste na atualidade das informações, os dados referentes ao Uso e Ocupação da Terra são de 2021. Assim, com intuito de se obter informações mais precisas e atualizadas da área de estudo, o mais interessante seria a realização de uma coleta de informações em campo de modo a gerar dados mais concisos acerca do local. Também como alternativa, seria realizar a classificação supervisionada, no caso da camada de Uso e Ocupações do Solo, com uso de imagens recentes e de alta resolução da área de estudo.

Pode-se destacar também a subjetividade da ponderação como um fator limitante, como abordam SCHMIDT e BARBOSA (2016), a ponderação inicial das variáveis de entrada pode ser um ponto fraco da metodologia AHP, visto que o conhecimento de especialistas pode ser subjetivo e a importância relativa entre os elementos de análise pode variar, sendo interessante em alguns casos, a utilização de técnicas conjuntas, como exemplo redes neurais de modo a diminuir a subjetividade da análise.

A escolha dos critérios é fundamental para os resultados das análises. Outro fator importante que contribui de maneira significativa para o assoreamento dos reservatórios é o solapamento. Varnes (1978) classifica o solapamento como um dos tipos de queda associado aos movimentos de massa. É influenciado pela forma e à dimensão do canal fluvial, ligados basicamente de quatro fatores (Suguio & Bigarela 1979; Christofolletti 1981): a) velocidade da corrente; b) magnitude do fluxo; c) carga de sedimentos em suspensão; d) rugosidade do leito. Muitas vezes este processo está associado às cheias de rios, enxurradas e inundações. No caso da UHE de Itutinga, esse processo não ocorre de forma intensa, uma vez que o reservatório opera sem oscilação significativa do nível do reservatório devido a sua operação a fio d'água e ter seu nível controlado pelo reservatório de Camargos (a montante). Já no caso da UHE de Camargos, o efeito ocorre nas margens, porém o efeito de solapamento não foi utilizado como um dos critérios por dificuldade de obtenção de valores do efeito na área de estudo em questão.

## 5 CONCLUSÃO

Como o método AHP e a ordem hierárquica são baseados no conhecimento e experiências de especialistas, pode-se perceber que as análises dependem fortemente da qualidade da definição dos critérios, assim como seus graus de hierarquização bem estruturados para a apresentação dos critérios aos avaliadores. Também, destaca-se que o número de critérios pode ter influência nas análises, especialmente na comparação pareada inserida no método AHP. Nesse estudo foram utilizados quatro critérios globais e pode-se perceber que as análises poderiam ser mais detalhadas com a utilização de mais critérios globais mais específicos para a área de estudo, sendo para isso preciso uma coleta de informações em campo.

A dificuldade na ponderação dos critérios globais pode ser explicada pela forte relação entre eles, tornando difícil avaliar um critério separadamente do outro. Contudo, segundo os pressupostos da metodologia AHP, o trabalho apresentou uma matriz consistente e um resultado matematicamente sólido.

Conclui-se que as abordagens utilizadas são bastante flexíveis e permitem obter resultados variados de acordo com a necessidade, objetivos e pontos de vista dos tomadores de decisão, uma vez que a Análise Multicritérios em ambiente SIG ao realizar a sobreposição das camadas permite realçar os pontos críticos através da identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionando uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas, corroborando para a realização de decisões mais assertivas.

## REFERÊNCIAS

ÁGUA E TERRA PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Avaliação dos impactos ambientais nos usos da água e na estabilidade das encostas do reservatório e a jusante.** UHE Itutinga. Cemig Geração e Transmissão S.A. Itutinga e Nazereno - MG. Patos de Minas. 2012.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; FERREIRA, V. V. M.; *et al.* **Assoreamento de Reservatórios, Descargas de Fundo e Avaliação de Impactos Ambientais: Caso Estudo da PCH de Paciência, rio Paraibuna, MG.** Paraibuna. 2012.

BRANT MEIO AMBIENTE. **Programa de monitoramento dos focos erosivos e impactos nos usos da água da UHE Itutinga.** Nova Lima. 2018.

BRANT MEIO AMBIENTE. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA) da UHE Itutinga.** Nova lima. 2017.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em 25 nov. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BRASIL. **Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001.** Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei no 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/mpv/2166-67.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/2166-67.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2022.

CALDAS, V. I. S. P.; da SILVA A. S.; SANTOS J. P. C. dos. Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v.12, n.04, 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; **Introdução à Ciência da Informação.** Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos. 2001. Disponível em: <[50](http://mtc-</a></p></div><div data-bbox=)

m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

CEMIG. **UHE Camargos**. 2023. Disponível em: <www.cemig.com.br/usina/uhe-camargos/>. Acesso em: 19 set. 2022.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Lazer e Turismo nos Reservatórios da CEMIG**. Belo Horizonte. 148p. 2000.

CEMIG. **Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental – RADA Usina Hidrelétrica de Itutinga**. Belo Horizonte. 2010.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em:

<[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 11 de nov. de 2022.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 302, de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em:

<[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2002/res\\_conama\\_302\\_2002\\_apps\\_reservatoriosartificiais.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2002/res_conama_302_2002_apps_reservatoriosartificiais.pdf)>. Acesso em: 11 de nov. de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 3 ed. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro. *In*: Reunião técnica de levantamento de solos, 1979, Rio de Janeiro. Súmula, Rio de Janeiro, 83 p. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/480004>. Acesso em: 10 set. 2022.

FERRAZ, S. F. B.; Vettorazzi, C. A. Identificação de áreas para a recomposição florestal com base em princípio de Ecologia de Paisagem. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FERREIRA, L. R. M.; *et al.* **Recursos hídricos: cadastramento dos usuários de água do Alto rio Grande, município de Nazareno - Minas Gerais**. São João del Rei. Instituto Voçorocas. 39p. 2011.

FRANCISCO, A. B. A erosão de solos no Extremo Oeste Paulista e seus impactos no campo e na cidade. **Revista GEOMAE – Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011. Disponível em:

<<https://periodicos.unesp.br/index.php/geomae/article/view/5790/3814>>. Acesso em: 25 out. 2022.

FRANCISCO, C. E. S.; Coelho, R. M.; Torres, R. B.; Adami, S. F. **Análise multicriterial na seleção de Bacia Hidrográfica para recuperação ambiental**. *Ciência Florestal*, v. 18, n. 1, p.1-13, 2008.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. **O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2013. Foz do Iguaçu. **Anais [...]** INPE. 2013. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.09.18/doc/thisInformationItemHomePage.html>>. Acesso em: 23 out. 2022.

GONÇALVES, R. W.; PINHEIRO, P. R.; FREITAS, M. A. de S. **Métodos Multicritérios como auxílio à tomada de decisão na Bacia Hidrográfica do Rio Curu – Estado do Ceará**. In: XV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba. 2003. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12279>>. Acesso em: 17 set. 2022.

GREENE, R.; DEVILLERS, R.; LUTHER, J. E.; EDDY, B. G. **GIS-based multiple-criteria decision analysis**. *Geography Compass*. v. 5, n. 6, p. 412-432, 2011.

IBRAHIM, F. I. D. **Introdução ao Geoprocessamento Ambiental**. 1 ed. Ed. Érica. 2014.

IDE SISEMA – Mapa de Solos de Minas Gerais (Feam/UFV).

JANUZZI, P. de M.; MIRANDA, W. L. de; SILVA, D. S. da. **Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações**. *Informática Pública* ano 11 (1) p. 69-87. 2009.

JEONG, J. S. *et al.* Identifying priority areas for rural housing development using the participatory multi-criteria and contingent valuation methods in Alange reservoir area, central extremadura (Spain). *Journal of Rural Studies*, v. 50, p. 117–128, 2017.

LADISLAU, F. F., *et al.* Análise Multicritério aplicada ao mapeamento de risco de incêndio na APA Sul RMBH. *Caderno de Geografia*, v. 31, n. 66, 2021.

LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Crato, v. 14, n. 05, 2021.

MAP BIOMAS. **Uso e Cobertura do Solo**. 2021. Disponível em: <[https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_2021.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lclu/coverage/brasil_coverage_2021.tif)>. Acesso em: 12 set. 2022.

MCCALL, M. K.; DUNN, C. E. Geo-information tools for participatory spatial planning: Fulfilling the criteria for ‘good’ governance? *Geoforum*. v. 43 n., 1, p. 81–94, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional (BEN)**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2022.

MORAS FILHO, L. O. **Método de inferência espacial para o ordenamento territorial de municípios de pequeno porte: o caso de Ijaci, MG.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2015.

OLIVEIRA, A. M. M. de; PINTO, S. dos A. F.; NETO, F. L. Caracterização de indicadores da erosão do solo em Bacias Hidrográficas com suporte de Geotecnologias e Modelo Preditivo. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, p. 63-86, 2007.

OLIVEIRA, I. M. de. **Expansão silvicultural no Estado de São Paulo: Uma abordagem multicritério na seleção de áreas para compra e arrendamento.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

OLIVEIRA, R. M. de; REZENDE, A. S.; NUNES, E. D. **Susceptibilidade e potencialidade à erosão laminar na bacia do Rio do Peixe – GO.** Goiânia. 2010.

PEREIRA, J. G.; EKEL, P. Y.; PALHARES, R. M.; PARREIRAS, R. O. **Multicriteria Decision Making Under Conditions of Uncertainty.** *Information Sciences*, Elsevier. n. 324. 2015.

POWER, D. J. *Decision Support Systems Glossary. Key Decision Support Systems Terms.* 2000. Disponível em: <<http://dssresources.com/dssbook/glossary.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** Tradução de Wainer da Silveira e Silva; McGrawHill; Makron. São Paulo. 1991.

SANTOS, H. G. dos. **O novo mapa de solos do Brasil.** Legenda atualizada / Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 67 p. Documentos Embrapa Solos. ISSN 1517-2627. 130.

SALES, M. M.; *et al.* **Erosão em borda de reservatório.** Goiânia. Gráfica: UFG, 2017. XXXIV, 584 p. GECON, v. 3. ISBN: 978-85-495-0118-9. Disponível em: <<https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/385/o/ebook-erosao-em-borda-de-reservatorio.pdf>> Acesso em: 2 nov. 2022.

SCHMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. R. **Uso de Redes Neurais Artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análise de vulnerabilidade de Bacias Hidrográficas.** Curitiba. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - *On-Line version*, v. 22, n. 3, p. 511-525, 2016. ISSN 1982-2170. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000300029>>. Acesso em: 12 maio 2023.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais.** Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2007.

SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N.; **Análise da suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia – GO.** In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 2015. João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa. INPE.

2015. p. 6511-6518. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1412.pdf>>. Acesso em 11 set. 2022.

SILVA, L. M. L. da. **Modelos e Métodos para Análise Multicritério e tomada de decisão espacial em ambientes de incertezas e suas aplicações**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambiente fluvial**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná / Associação de Defesa e Educação Ambiental. 1979. 183 p.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para a conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicritério em ambiente SIG**, 2005.121 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VARNES, D. J. *Slope Movement Types and Processes*. In: Schuster RL & Krizek RJ (eds.). 1978. *Landslides-Analysis and Control, Special Report 176. Transportation Research Board*. Washington, D.C., p. 12-33, 1978.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritério, em ambiente SIG, na definição de área prioritárias a restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos**. 2006. 151 f. Tese (Livre Docência em Topografia) - Escola Superior de “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

XAVIER, F. V.; *et al.* Análise da suscetibilidade à erosão laminar na Bacia do Rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Cuiabá, v. 11, n. 2, 2010.