

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA  
E SUSTENTABILIDADE - MESTRADO PROFISSIONAL  
CAMPUS RIO VERDE

DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA  
A BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO PARÂMETROS  
GEOMORFOMÉTRICOS E EDÁFICOS

Discente: Alinne de Assis Veras Queiroz  
Orientador: Lucas Peres Angelini

RIO VERDE - GO  
Dezembro 2024

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA  
E SUSTENTABILIDADE - MESTRADO PROFISSIONAL  
CAMPUS RIO VERDE

DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA  
A BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO  
PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E EDÁFICOS

Discente: Alinne de Assis Veras Queiroz  
Orientador: Lucas Peres Angelini

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e  
Sustentabilidade do Instituto Federal de  
Educação, Ciências e Tecnologia Goiano –  
Campus Rio Verde, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA  
APLICADA E SUSTENTABILIDADE.  
Área de concentração: Engenharia Aplicada  
e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

RIO VERDE, GO  
Dezembro 2024

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Q3 | <p>Queiroz, Alinne</p> <p>DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA<br/>A BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO<br/>PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E EDÁFICOS /<br/>Alinne Queiroz. Rio Verde 2024.</p> <p>85f. il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini.<br/>Coorientador: Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior.<br/>Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de<br/>0233144 - Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e<br/>Sustentabilidade (Campus Rio Verde).</p> <p>1. Unidades de paisagem.. 2. Geossistemas. Sistemas de<br/>informação geográfica (SIG). 3. Bacias hidrográficas – Goiás. 4.<br/>Análise hierárquica de processo. 5. Bacia do Rio Verdinho (GO).</p> <p>I. Título.</p> |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |                                                            |                                                         |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

ALINNE DE ASSIS VERAS QUEIROZ

Matrícula:

2022202331440006

Título do trabalho:

DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA A BACIAS HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E EDÁFICOS

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20/01/2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br**  
ALINNE DE ASSIS VERAS QUEIROZ  
Data: 20/02/2026 13:34:17-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

RIO VERDE

Local

20/02/2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

**gov.br**

Documento assinado digitalmente  
**LUCAS PERES ANGELINI**  
Data: 20/02/2026 14:21:53-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 74/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA A BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO PARÂMETROS  
GEOMORFOMÉTRICOS E PEDOLÓGICOS

Autora: Alinne de Assis Veras Queiro  
Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada  
e Sustentabilidade

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** DERICK MARTINS BORGES DE MOURA  
Data: 04/12/2024 14:04:45-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

APROVADO em 26 de novembro de 2024.

Prof. Dr. Derick Martins Borges de  
Moura  
Avaliador Externo - Universidade  
Estadual de Goiás

Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior  
Avaliador Interno - IFGOIANO / Rio  
Verde

Prof. Dr. Lucas Peres Angelini  
Presidente da banca - IFGOIANO / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 26/11/2024 16:28:33.
- Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMEAS-RV, em 27/11/2024 10:18:53.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse  
<https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 647289  
Código de Autenticação: 68a53d4d39



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 107/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

|                                   |                                                                                                                          |                              |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Unidade do IF Goiano:             | Campus Rio Verde                                                                                                         |                              |
| Programa de Pós-Graduação:        | Engenharia Aplicada e Sustentabilidade                                                                                   |                              |
| Defesa de:                        | Dissertação                                                                                                              | Defesa de número: 82         |
| Data:<br>26/11/2024               | Hora de início: 14:00h                                                                                                   | Hora de encerramento: 18:00h |
| Matricula do discente:            | 2022202331440006                                                                                                         |                              |
| Nome do discente:                 | Alinne de Assis Veras Queiroz                                                                                            |                              |
| Título do trabalho:               | DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA A BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E PEDOLÓGICOS |                              |
| Orientador:                       | Lucas Peres Angelini                                                                                                     |                              |
| Área de concentração:             | Engenharia Aplicada e Sustentabilidade                                                                                   |                              |
| Linha de Pesquisa:                | Eficiência Energética e Sustentabilidade                                                                                 |                              |
| Projeto de pesquisa de vinculação | DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA A BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E PEDOLÓGICOS |                              |
|                                   |                                                                                                                          |                              |

|            |                                                  |
|------------|--------------------------------------------------|
| Titulação: | Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade |
|------------|--------------------------------------------------|

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Lucas Peres Angelini (Presidente da banca), Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior (Avaliador Interno) e Prof. Dr. Derick Martins Borges de Moura (Avaliador Externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **ALINNE DE ASSIS VERAS QUEIROZ**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Lucas Peres Angelini, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

#### Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Lucas Peres Angelini, PROFESSOR FMS BÁSICO TECNOLÓGICO, em 26/11/2024 16:27:16.
- Édio Damásio da Silva Júnior, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMEAS-RV, em 27/11/2024 10:18:17.



Documento assinado digitalmente

DERICK MARTINS BORGES DE MOURA  
Data: 04/12/2024 14:05:48-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 647298  
Código de Autenticação: c4c7e6a27b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

Dedico aos meus pais, que torcem sempre por minha ascensão profissional. Ao meu marido, que me deu toda a estrutura para que eu pudesse estudar e dar continuidade ao meu sonho.

## AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço e empenho, gostaria de agradecer as pessoas que me acompanharam e acabaram se tornando fundamentais para a realização de mais este sonho. Assim, expresso aqui, através de palavras sinceras, a enorme importância que tiveram nesta conquista e demonstrar minha gratidão a todas elas. Primeiro, agradeço aos meus pais Juarez e Rosa, ao meu esposo Edsamuel Queiroz, a meus filhos Sofia e Felipe e a minhas irmãs Karoline e Lana Érica, pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção, e pelo profundo apoio, estímulo nos momentos mais difíceis. Agradeço por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês me têm. Minha gratidão especial ao Prof. Dr. Lucas Angelini, meu orientador, que acreditou no meu potencial para desenvolver tamanho projeto ao seu lado e por toda sua dedicação mesmo em seus momentos de descanso. E, principalmente, obrigada por sempre ter acreditado e depositado sua confiança ao longo destes meses de muito estudo. Sem sua orientação, apoio, confiança e amizade, não somente neste trabalho, mas em todo o caminho percorrido até aqui, nada disso teria sido possível. Gostaria de agradecer ao Instituto Federal Goiano, Programa de Pós-Graduação em Engenharia aplicada e Sustentabilidade e à CAPES, pela oportunidade de aprendizado e crescimento.

“O conhecimento serve para encantar as  
pessoas, não para humilhá-las.”

(Mário Sérgio Cortella)

## RESUMO

QUEIROZ, ALINNE DE ASSIS VERAS. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, dezembro 2024. **Delimitação de unidades de paisagem aplicada a bacias hidrográficas, utilizando parâmetros geomorfométricos e edáficos.** Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini.

Há vários métodos para avaliação ambiental que contribuem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, permitindo um uso mais sustentável e reduzindo os problemas ambientais. Entre os diferentes métodos desse tipo de avaliação, há o método de Unidade de Paisagem (UP), produto do manual oficial de Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) de Minas Gerais, uma ferramenta para desenvolver e monitorar planos de manejo econômico, social e ambiental. No entanto, a subjetividade na delimitação dessas unidades representa um desafio, podendo comprometer a precisão dos resultados e a efetividade das análises ambientais. Assim, este trabalho tem como foco a delimitação de Unidades de Paisagem, utilizando parâmetros geomorfológicos, a partir das variáveis formas do terreno (curvaturas horizontal e vertical), declividade e o parâmetro edáfico para auxiliar nas análises de vulnerabilidade e aptidão do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho. Esses dados foram analisados e ponderados para gerar uma classificação detalhada das Unidades de Paisagem, permitindo identificar zonas com características geomorfológicas e do solo, ao final, permitindo a análise das unidades conforme sua singularidade no que concerne a seus aspectos naturais relativamente homogêneos. Os resultados indicam que a metodologia proposta permitiu reduzir a subjetividade na definição das unidades, tornando o processo mais replicável e coerente. Além disso, as unidades delimitadas apresentam relação direta com os diferentes níveis de vulnerabilidade e aptidão dos solos, o que contribui para um planejamento territorial mais eficiente. Conclui-se que a abordagem adotada pode auxiliar estudos futuros, contribuindo para a identificação de áreas prioritárias para

conservação e uso sustentável. A integração de tecnologias geoespaciais mostrou ser uma ferramenta eficaz na delimitação das Unidades de Paisagem, proporcionando maior precisão na análise ambiental e no suporte à tomada de decisões.

Palavras-chave:Planejamento Territorial. Sistema de Informação Geográfica.Sustentabilidade. Unidade de paisagem. Uso do solo.

## ABSTRACT

QUEIROZ, ALINNE DE ASSIS VERAS. Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology – Rio Verde Campus, Goiás, December 2024. **Delimitation of landscape units applied to hydrographic basins, using geomorphometric and edaphic parameters.** Advisor: Prof. Dr. Angelini, Lucas Peres.

There are many methods for environmental assessment contributing to maintain ecosystem services, enabling more sustainable use of natural resources and reducing environmental problems. Landscape Unit (LU) Assessment Method stands out among different ones, which is a product of the official Environmental and Productive Zoning (ZAP, Brazilian acronym) manual from Minas Gerais State, a tool designed to develop and monitor economic, social, and environmental management plans. However, the subjectivity in delimitating these units emerges as a challenge, potentially compromising the results accuracy and the environmental analyses effectiveness. Therefore, this paper focuses on delimitating the Landscape Units by geomorphological parameters basing on terrain shape variables (horizontal and vertical curvature), slope, and edaphic characteristics to assist in soil vulnerability and suitability analyses in the *Verdinho* River watershed. These data were analyzed and considered to generate a detailed classification of Landscape Units, enabling to identify zones with geomorphological and soil characteristics; finally allowing analyzing the units according to their uniqueness in relatively homogeneous natural aspects. The results indicate that the proposed methodology helped to reduce subjectivity in unit definition, making the process more replicable and coherent. Furthermore, the delimited units show a direct relationship with different levels of soil vulnerability and suitability, contributing to more efficient territorial planning. It is concluded that the adopted approach may support future studies, contributing to identify priority areas for

conservation and sustainable use. The integration of geospatial technologies proved to be an effective tool for delimiting the Landscape Units, providing greater accuracy in environmental analysis and decision-making support.

**Keywords:** Landscape unit. Land use. Sustainability. Territorial planning.

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|             |                                                                                         |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.1  | Classes de Declividade e pesos PUC (Costa, A. <i>et al.</i> , 2017a).....               | 39 |
| Tabela 3.2  | Valor de Vulnerabilidade para Forma do Terreno.....                                     | 40 |
| Tabela 3.3  | Pesos atribuídos ao fator Solo.....                                                     | 41 |
| Tabela 3.4  | Matriz de comparação pareada com critérios globais e pesos.....                         | 41 |
| Tabela 3.5  | Pesos da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada.....         | 42 |
| Tabela 3.6  | Fator ambiental e respectivos valores de ponderação para álgebra Unidade.....           | 42 |
| Tabela 3.7  | Classes dos fatores ambientais e suas classificações para BHRV, Goiás, Brasil.....      | 46 |
| Tabela 3.8  | Distribuição dos valores da forma do terreno calculados para a BHRV, Goiás, Brasil..... | 47 |
| Tabela 3.9  | Pesos atribuídos ao fator de Solos para BHRV, Goiás, Brasil.....                        | 47 |
| Tabela 3.10 | Unidades de paisagem proposta para BHRV, Goiás, Brasil.....                             | 49 |
| Tabela 3.11 | Intervalos de classificação das unidades da bacia do Rio Verdinho, GO, Brasil.....      | 57 |
| Quadro 1    | Escala de Saaty (1977), adaptada por Coelho (2017).....                                 | 12 |
| Quadro 3.1  | Bases cartográficas.....                                                                | 36 |

## LISTA DE FIGURAS

|            |                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1   | Fluxograma da metodologia ZAP.....                                                                                                                                                                                              | 8  |
| Figura 2   | Princípio dos pesos, segundo Costa, I. e Corrêa(2018).....                                                                                                                                                                      | 9  |
| Figura 3   | Fluxograma: etapas da metodologia PUC (Costa, A. <i>et al.</i> , 2022).....                                                                                                                                                     | 10 |
| Figura 4   | Sequência aplicada ao PUC.....                                                                                                                                                                                                  | 11 |
| Figura 5   | Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão (SAATY;<br>VARGAS 1991).....                                                                                                                                             | 11 |
| Figura 6   | CH em isolinhas (esq.) e em MDE (dir.).....                                                                                                                                                                                     | 13 |
| Figura 7   | CV em isolinhas (esq.) e em MDE (dir.).....                                                                                                                                                                                     | 14 |
| Figura 8   | Representação das nove formas de um terreno.....                                                                                                                                                                                | 15 |
| Figura 9   | Variáveis geomorfométricas da altimetria.....                                                                                                                                                                                   | 16 |
| Figura 10  | Ação da declividade no escoamento e infiltração da água no solo.....                                                                                                                                                            | 17 |
| Figura 3.1 | Localização da bacia hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, Goiás,<br>Brasil.....                                                                                                                                                   | 35 |
| Figura 3.2 | Etapas da metodologia proposta, associada à forma do terreno,<br>elevação e solo.....                                                                                                                                           | 38 |
| Figura 3.3 | Representação das Formas do Terreno.....                                                                                                                                                                                        | 40 |
| Figura 3.4 | Fluxograma: Etapas da metodologia PUC (COSTA;<br>CORRÊA,2018).....<br>.....                                                                                                                                                     | 44 |
| Figura 3.5 | Classes dos fatores ambientais e suas classificações, em que a e b são<br>formas do terreno e sua reclassificação, c e d são a declividade e sua<br>reclassificação e “e” e “f” são a classe de solos e<br>reclassificação..... | 45 |
| Figura 3.6 | Proposta de unidade de paisagem da bacia do Rio Verdinho, GO,<br>Brasil.....                                                                                                                                                    | 50 |
| Figura 3.7 | Perfil altimétrico da Unidade 1 para BHRV, Goiás,                                                                                                                                                                               | 51 |

|             |                                                                              |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | Brasil.....                                                                  |    |
| Figura 3.8  | Unidade 1.....                                                               | 52 |
| Figura 3.9  | Perfil altimétrico da Unidade 2 para BHRV, Goiás,<br>Brasil.....             | 53 |
| Figura 3.10 | Unidade 2.....                                                               | 53 |
| Figura 3.11 | Perfil altimétrico da Unidade 3 para BHRV, Goiás, Brasil.....                | 54 |
| Figura 3.12 | Unidade 3.....                                                               | 54 |
| Figura 3.13 | Perfil altimétrico Unidade 4 para BHRV, Goiás, Brasil.....                   | 55 |
| Figura 3.14 | Unidade 4.....                                                               | 55 |
| Figura 3.15 | Perfil altimétrico da Unidade 5 para BHRV, Goiás, Brasil.....                | 56 |
| Figura 3.16 | Unidade 5.....                                                               | 56 |
| Figura 3.17 | Perfil das unidades de paisagem na bacia do Rio Verdinho, GO,<br>Brasil..... | 58 |
| Figura 3.18 | Comparativo unidades, proposta e PUC.....                                    | 58 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |                                                                                                    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AHP      | AnalyticHierarchyProcess                                                                           |
| ANA      | Agência Nacional de Águas                                                                          |
| APP      | Área de Preservação Permanente                                                                     |
| BH       | Bacia Hidrográfica                                                                                 |
| BHRV     | Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho                                                                 |
| CMMAD    | Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento                                             |
| CNUMAD   | Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente                                                |
| ECO - 92 | Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Brasil em 1992 |
| FT       | Forma do Terreno                                                                                   |
| PUC      | Potencial de Uso Conservacionista                                                                  |
| SIG      | Sistema de Informação Geográfica                                                                   |
| OSGeo    | Open-SourceGeospatial Foundation                                                                   |
| UP       | Unidade de Paisagem                                                                                |
| ZAP      | Zoneamento Ambiental Produtivo                                                                     |
| ZEE      | Zoneamento Ecológico Econômico                                                                     |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                  | Página    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                                         | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Justificativa.....</b>                                                                                                                    | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Revisão de literatura.....</b>                                                                                                            | <b>2</b>  |
| 1.2.1 A paisagem, sua análise e delimitação.....                                                                                                 | 2         |
| 1.2.2 Geotecnologias aplicadas à delimitação da Unidade de Paisagem...4                                                                          | 4         |
| 1.2.3 Bacia Hidrográfica.....                                                                                                                    | 6         |
| 1.2.4 Zoneamento Ambiental Produtivo– ZAP.....                                                                                                   | 7         |
| 1.2.5 Potencial de uso conservacionista – PUC.....                                                                                               | 9         |
| 1.2.6 Análise hierárquica de processos– AHP.....                                                                                                 | 11        |
| 1.2.7 Parâmetros geomorfológicos.....                                                                                                            | 12        |
| 1.2.7.1 <i>Curvatura horizontal</i> .....                                                                                                        | 12        |
| 1.2.7.2 <i>Curvatura vertical</i> .....                                                                                                          | 13        |
| 1.2.7.3 <i>Forma do terreno</i> .....                                                                                                            | 15        |
| 1.2.7.4 <i>Declividade</i> .....                                                                                                                 | 16        |
| 1.2.8 Solos nas unidades de paisagens.....                                                                                                       | 17        |
| <b>1.3 Referências.....</b>                                                                                                                      | <b>19</b> |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                                                                                                                          | <b>26</b> |
| <b>3 CAPÍTULO I -Delimitação de unidades de paisagem aplicada a bacias hidrográficas, utilizando parâmetros geomorfométricos e edáficos.....</b> | <b>27</b> |
| <b>3.1 Introdução.....</b>                                                                                                                       | <b>31</b> |

|            |                                                                                                      |           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.2</b> | <b>Material e métodos.....</b>                                                                       | <b>34</b> |
| 3.2.1      | Área de estudo.....                                                                                  | 34        |
| 3.2.2      | Aquisição dos dados.....                                                                             | 35        |
| 3.2.3      | Delimitação da unidade de paisagem.....                                                              | 36        |
| 3.2.4      | Processamento dos dados de elevação.....                                                             | 38        |
| 3.2.5      | Processamento dos dados da curvatura do terreno.....                                                 | 39        |
| 3.2.6      | Processamento dos dados de solo.....                                                                 | 40        |
| 3.2.7      | Aplicação da análise de processo hierárquico (AHP).....                                              | 41        |
| 3.2.8      | Caracterização das unidades de paisagem.....                                                         | 42        |
| 3.2.9      | Potencial de Uso Conservacionista.....                                                               | 43        |
| <b>3.3</b> | <b>Resultados e discussões.....</b>                                                                  | <b>44</b> |
| 3.3.1      | Análise dos parâmetros geomorfológicos e edáficos.....                                               | 45        |
| 3.3.2      | Distribuição espacial das unidades de paisagens na BHRV.....                                         | 49        |
| 3.3.3      | Caracterização das unidades de paisagem em campo.....                                                | 50        |
| 3.3.3.1    | <i>Unidade de paisagem 1 - vale fechado com vertente coletora.....</i>                               | <i>50</i> |
| 3.3.3.2    | <i>Unidade de Paisagem 2- Faixa de Amortecimento da Planície deConvergência do Vale Fechado.....</i> | <i>52</i> |
| 3.3.3.3    | <i>Unidade de paisagem 3 – planície de topo.....</i>                                                 | <i>53</i> |
| 3.3.3.4    | <i>Unidade de paisagem 4 – ondulado de meia encosta.....</i>                                         | <i>54</i> |
| 3.3.3.5    | <i>Unidade de Paisagem 5 – Planície Ondulada.....</i>                                                | <i>55</i> |
| 3.3.3.6    | <i>Comparativo PUC versus Unidades de Paisagem.....</i>                                              | <i>58</i> |
| <b>3.4</b> | <b>Conclusão.....</b>                                                                                | <b>59</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Referências.....</b>                                                                              | <b>60</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

O conhecimento da topografia de uma área é essencial para análises geológicas e geomorfológicas em projetos que envolvam o planejamento, a organização e a gestão do espaço geográfico. Esse conhecimento permite identificar as potencialidades e as limitações de uma região específica, possibilitando o planejamento de ações e a ocupação do território de forma mais adequada (LEAL; OLIVEIRA; AQUINO, 2023). Isso minimiza os problemas estruturais de natureza ambiental e/ou social, promovendo o desenvolvimento sustentável e evitando impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

Apesar de o Brasil concentrar aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de água doce e apresentar elevada diversidade aquática, a distribuição desse recurso é extremamente desigual entre as regiões. A maior parte da vazão superficial está localizada na Região Norte, que abriga uma pequena parcela da população, enquanto áreas como o Sudeste e o Nordeste, com elevada densidade populacional e atividade econômica intensa, enfrentam escassez e maior pressão sobre os mananciais. Essa assimetria territorial reforça os desafios da gestão integrada e sustentável da água, sobretudo diante dos cenários de mudanças climáticas e aumento da demanda (ANA, 2024).

Com o avanço das tecnologias agrossilvipastoris, houve uma melhoria na produtividade e no uso de recursos naturais, especialmente da água e da área plantada. Além disso, a demanda global por alimentos cresce anualmente, e o Brasil desempenha papel central nesse fornecimento (SEATH; FACHINELLO, 2018). Assim, surge a necessidade de melhorar continuamente a produção de alimentos de maneira eficiente, considerando o uso racional do solo e da água.

Os diferentes métodos de caracterização e avaliação ambiental utilizam as

bacias hidrográficas como unidade espacial para a tomada de decisões em planejamento, conservação e mitigação. Essa abordagem traduz o meio físico pela combinação de estudos cartográficos e seus aspectos quali-quantitativos (COSTA, I.; CORRÊA, 2018). Dessa forma, a gestão eficaz dos recursos hídricos requer uma abordagem integrada que considere todos os aspectos físicos, sociais e econômicos presentes numa bacia hidrográfica.

A delimitação de Unidades de Paisagem (UPs) é fundamental para fornecer informações que auxiliem no planejamento territorial, permitindo identificar maneiras mais práticas de utilizar os recursos, conciliando as atividades humanas com a preservação do meio ambiente. A identificação das UPs é um procedimento útil para analisar o meio natural e seus impactos ambientais, servindo como base para monitorar o comportamento humano em relação ao desmatamento, à agricultura e às áreas urbanas, prevenindo riscos de desastres naturais ou causados por atividades antrópicas.

De acordo com a metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), a delimitação automática de uma UP por meio das faixas de curvas de nível pode levar à generalização do resultado (MINAS GERAIS, 2020). Essa prática descreve a unidade de forma genérica, sem uma representação fiel, devido à ausência de parâmetros adequados, inviabilizando uma delimitação precisa. A metodologia empregada na caracterização das UPs envolve métodos de observação e técnicas como transectos, mapas temáticos e perfis geoecológicos até o produto final. Essas observações podem conter erros substanciais se não forem feitas por técnicos com conhecimento e experiência aprofundados, tornando os resultados subjetivos e difíceis de serem replicados em outras áreas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um método que possa reduzir a subjetividade e aumentar a replicabilidade da delimitação de UPs. Para isso, pretende-se utilizar metodologias já existentes, em conjunto com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de ponderação, no sentido de desenvolver uma abordagem alternativa que melhore os resultados da delimitação manual das áreas.

## **1.2 Revisão de literatura**

### **1.2.1 A paisagem, sua análise e delimitação**

A concepção inicial de paisagem está diretamente relacionada ao sentido da visão, sendo entendida como o conjunto de elementos perceptíveis a partir de determinado ponto de observação, ou seja, tudo aquilo que a vista alcança. Com o passar do tempo, o mundo passou por transformações significativas, impulsionando a evolução do pensamento geográfico e ampliando as abordagens voltadas ao estudo da paisagem, que passaram a considerar também aspectos culturais, históricos e ambientais (SILVA, A., 2016).

Inicialmente, entre 1880 e 1920, as primeiras ideias físico-geográficas focavam na interação entre elementos naturais. Posteriormente, nas décadas de 1920 e 1930, influências de outras ciências enriqueceram a compreensão das interações biogeomorfológicas na paisagem. Entre 1930 e 1955, os conceitos de zonalidade e regionalização ganharam destaque, promovendo uma diferenciação mais detalhada das paisagens em pequena escala (RODRIGUEZ; SILVA, E. CAVALCANTI, 2022).

Entre 1955 e 1970, o foco passou a ser a análise estrutural em níveis regionais e locais, abrangendo taxonomia e cartografia. A partir dos anos 1970, métodos sistêmicos e quantitativos deram origem à Ecologia da Paisagem, ampliando a análise funcional. Desde 1985, busca-se uma integração geoecológica, unindo aspectos estruturais e dinâmicos, com uma abordagem científica que combina perspectivas biológicas e geográficas sobre as paisagens (RODRIGUEZ; SILVA, E.; CAVALCANTI, 2022).

A paisagem é compreendida como o resultado de uma combinação dinâmica e instável de componentes físicos, biológicos e humanos, que interagem e se modificam mutuamente, formando um conjunto único e em constante evolução. Essa concepção requer uma abordagem de pesquisa que considere tanto os elementos naturais quanto as influências humanas. Assim, estudar a paisagem exige, primeiramente, uma abordagem metodológica cuidadosa para compreender essa complexa interação de fatores (BERTRAND, 1972).

O estudo da paisagem é viável quando são consideradas as interações entre seus componentes, analisando suas relações funcionais e estruturais (RODRIGUEZ; SILVA, E.; CAVALCANTI, 2022). Isso evidencia a natureza dinâmica e interdisciplinar do conceito, considerando as alterações que ocorrem na paisagem ao longo do tempo.

O conceito de análise da paisagem é amplamente difundido nas áreas das Geociências, em que são estudados elementos presentes em uma unidade territorial delimitada segundo características geomorfológicas predeterminadas. Desse modo, a

natureza é observada por suas conexões e interações, o que possibilita compreender sua dinâmica de transformação (BERTRAND, 2004).

Ab’Sáber (2003), em seu livro *Os domínios de natureza no Brasil – Potencialidades Paisagísticas*, afirma que, num primeiro olhar, pode-se dizer que as paisagens contêm vestígios de processos antigos que foram remodelados e alterados por intervenções mais recentes. Em uma avaliação mais detalhada, é crucial entender que as nações herdaram partes desse complexo conjunto paisagístico, fruto de uma extensa e complexa formação fisiográfica e ecológica. Portanto, as nações não apenas receberam territórios, mas também paisagens e ecossistemas pelos quais são ou deveriam ser responsáveis.

De acordo com Walters *et al.* (2021), o estudo da ecologia da paisagem enfoca como diferentes componentes ecológicos interagem dentro de uma paisagem e como essas interações influenciam processos e padrões ecológicos.

Para esses autores, as paisagens, nesse contexto, não são vistas apenas como áreas físicas, mas como mosaicos de diferentes habitats e elementos ecológicos que compõem um sistema complexo e interligado, com múltiplos fatores naturais e antrópicos impactando diretamente a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas (WALTERS *et al.*, 2021).

Bluwstein (2020), em seu artigo *Colonizando paisagens/colônias paisagísticas*, enfatiza que a paisagem deve ser entendida não apenas como um espaço físico, mas como uma construção social e política que reflete e perpetua relações de poder, especialmente em contextos históricos de colonialismo e imperialismo. O autor destaca a necessidade de uma compreensão holística da paisagem, que leve em conta suas implicações sociais, culturais e históricas, e que possa informar práticas de conservação mais justas e inclusivas.

### 1.2.2 Geotecnologias aplicadas à delimitação da Unidade de Paisagem

Atualmente, o uso de tecnologias geoespaciais facilita a coleta de informações sobre a paisagem, possibilitando o monitoramento constante do ambiente. Esses avanços tecnológicos abrangem o sensoriamento remoto, que permite a obtenção de dados da superfície terrestre. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são instrumentos que viabilizam o processamento e a análise de dados espaciais. Quando

combinados com outras tecnologias, constituem um conjunto denominado geotecnologias (MENESES; ALMEIDA, 2012).

As geotecnologias desempenham papel fundamental nos estudos das paisagens, oferecendo uma visão informativa que vai além da simples descrição dos componentes presentes na superfície terrestre. O uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto não substitui o trabalho de campo, mas o complementa (COSTA, I.; CORRÊA, 2018).

Conforme destacado por Câmara e Davis (2001), o termo geoprocessamento refere-se à disciplina do conhecimento que emprega técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Essa área tem exercido uma influência crescente em campos como cartografia, análise de recursos naturais, transporte, comunicações, energia, planejamento urbano e regional.

Nesse sentido, essas ferramentas fornecem subsídios para a formulação de políticas públicas, institucionalizadas em diversos programas de governo. Crepaniet *al.* (1996) descrevem uma série de aplicações do sensoriamento remoto e do geoprocessamento no zoneamento ecológico-econômico (ZEE), apontando estudos voltados ao planejamento do uso racional da área, associados a informações agrícolas relevantes.

A geotecnologia é caracterizada por dispositivos e métodos de processamento matemático e computacional, cujo principal objetivo é a análise de dados geográficos, possibilitando soluções mais específicas e precisas. Segundo Mendes (2019), o uso da geotecnologia nas ciências da Terra vem crescendo e oferece oportunidades para representar visualmente a paisagem do ambiente geológico de forma prática, muitas vezes com baixo custo, perspectivas diferenciadas e maior acessibilidade (CAYLA, 2014).

Portanto, o uso dessas ferramentas é essencial para processar e gerar informações para relatórios e mapas, bem como para fornecer e sintetizar dados para pesquisas ambientais (SOBRAL *et al.*, 2017).

As diversas tecnologias atualmente empregadas na área da tecnologia da informação incluem a evolução das geotecnologias, que permitem o gerenciamento eficiente de dados espaciais. O Big Data é utilizado para processar grandes volumes de informação, enquanto o Google Earth Engine (GEE) se destaca como uma plataforma on-line voltada ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Além disso, a automatização de processos é facilitada por linguagens de programação como Java e

Python, que possibilitam o desenvolvimento de soluções personalizadas e eficientes para a análise de dados geoespaciais. À medida que essas tecnologias são incorporadas às ciências ambientais, torna-se possível alcançar avanços significativos na avaliação de paisagens, aprimorando a compreensão e o gerenciamento do meio ambiente (GUERRA; LOUREIRO, 2022).

### 1.2.3 Bacia Hidrográfica

As bacias hidrográficas (BH) representam um sistema natural e equilibrado, em que quaisquer alterações podem afetar negativamente sua funcionalidade (REGGIANI; HASSANIZADEH, 2016). Esses complexos sistemas socioambientais vão além da simples função de coleta e distribuição de água, incorporando elementos da geomorfologia, geoquímica e geografia física. As bacias são unidades essenciais para a ecologia das paisagens, atuando como sistemas funcionais que apoiam a gestão ambiental. Assim, tornam-se fundamentais para o planejamento e a utilização sustentável do território, abordando questões não apenas ambientais, mas também socioeconômicas, culturais e demográficas, que são imprescindíveis para a elaboração de estratégias de preservação e desenvolvimento sustentável (MACHADO, 2023 apud GOU *et al.*, 2021).

Segundo Soares (2015), o Código de Águas do Brasil é uma das leis mais completas sobre gestão de recursos hídricos, servindo de modelo para legislações em outros países. Embora inicialmente focado na regulamentação do uso da água para a geração de energia, o código também inclui princípios para o uso sustentável e o acesso público às águas, apesar de as medidas de proteção e conservação só terem sido implementadas posteriormente.

O manejo das BH é de suma importância para a regularização das vazões dos cursos d'água, o controle da erosão, a prevenção de enchentes e a preservação da qualidade da água (SILVA, Gleidson; FERREIRA, 2019).

O estudo das bacias hidrográficas do Brasil é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, considerando as particularidades e os desafios de cada região. Por meio de uma abordagem integrada e multidisciplinar, é possível compreender as interações entre os elementos que compõem as bacias hidrográficas e desenvolver estratégias eficientes de conservação e uso racional da água. A aplicação de

metodologias adequadas, aliada ao engajamento da sociedade, contribuirá para a proteção desse importante patrimônio natural e para a promoção do desenvolvimento sustentável do país.

Além disso, Piroli (2013) destaca que a conservação ou remoção de matas ciliares existentes desempenha papel crucial nas atividades ao longo das margens dos rios. Essas matas atuam como filtros naturais, contribuindo significativamente para a purificação da água. Ademais, funcionam como barreiras físicas, essenciais para a estabilidade das nascentes e das margens dos rios, ajudando na manutenção e transporte de materiais.

#### 1.2.4 Zoneamento Ambiental Produtivo– ZAP

O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) se comporta como uma avaliação inicial do potencial de adequação de uma sub-bacia, sendo, portanto, o passo primordial para a elaboração de planos, pactos e ações, bem como para a delimitação exata de indicadores de alinhamento e avaliação. Dessa forma, abrange informações do meio natural e produtivo, que contribuem para as diretrizes de ordenamento do uso do solo em bacias hidrográficas (MINAS GERAIS, 2020b). Assim, o ZAP é uma ferramenta que possibilita a realização da análise integrada da bacia hidrográfica e de seus elementos, servindo de subsídio ao planejamento e à adequação do uso e ocupação do solo, segundo suas aptidões, potencialidades e vulnerabilidades.

O ZAP é uma metodologia desenvolvida pelo Estado de Minas Gerais e se inserem nesse contexto como instrumento de gestão hídrica, planejamento ambiental e territorial, aplicado a bacias hidrográficas (MINAS GERAIS, 2020b).

Segundo Costa, A. *et al.* (2022), o método ZAP define Unidades de Paisagem (UP), propondo a análise de diferentes feições localizadas na bacia, associadas às respectivas potencialidades. No entanto, essa análise é feita por meio de estudos convencionais, que avaliam de forma fragmentada os componentes da unidade espacial, sem necessariamente estabelecer uma relação de causalidade entre as informações.

A aplicação do ZAP compreende quatro grandes etapas: definição da área de estudo, avaliação da pressão hídrica, levantamento do uso e ocupação do solo e definição das Unidades de Paisagem (MINAS GERAIS, 2020b). Esta última etapa é realizada manualmente pelo técnico responsável, tendo como base a interpretação das

curvas de nível, exigindo conhecimento técnico profundo e experiência. Tal exigência pode limitar o estudo, especialmente quando não há uma equipe capacitada, o que pode resultar em interpretações subjetivas.

O Estado de Minas Gerais baseia-se na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) — a Política Nacional de Recursos Hídricos — para o desenvolvimento de diversos instrumentos voltados ao planejamento rural, sendo o ZAP um dos destaques como ferramenta importante para a análise integrada das bacias hidrográficas.

Na metodologia padrão do ZAP (Fig. 1) a definição das Unidades de Paisagem é feita manualmente. Nesse processo, o analista observa as curvas de nível e o terreno ampliado com exagero vertical, delimitando as UPs manualmente. Essa abordagem, contudo, apresenta limitações, pois os resultados podem variar de acordo com a interpretação de cada analista, comprometendo a replicabilidade da metodologia cuja base teórica foi elaborada a partir de Fernandes (2013) (Fig. 1). Nesse contexto, cada UP é caracterizada por suas aptidões, potencialidades e limitações de uso (MARTINS, 2022).

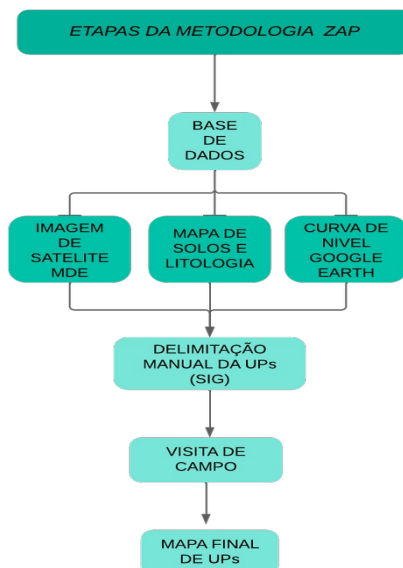


Figura 1 - Fluxograma da metodologia ZAP

Fonte: Martins (2022), tendo como base Minas Gerais (2020b).

O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) é uma ferramenta estratégica que visa a auxiliar na tomada de decisão e no gerenciamento dos recursos naturais em bacias hidrográficas, por meio de uma análise integrada dos aspectos produtivos, econômicos e ambientais do território. Consiste na organização de um conjunto de informações sobre

o meio natural e produtivo, contribuindo para o ordenamento do uso do solo e para o planejamento conservacionista. O ZAP permite identificar áreas com potencial produtivo, bem como compreender as restrições técnicas e legais do uso atual da terra, orientando a elaboração de planos, pactos, ações e a definição de indicadores para a avaliação e o monitoramento das áreas (MINAS FERAIS, 2020; MOURA *et al.*, 2024).

### 1.2.5 Potencial de uso conservacionista – PUC

De acordo com Costa, A.*et al.* (2017b), para sanar as questões referentes à subjetividade nas interpretações, foi proposta uma metodologia alternativa, denominada Potencial de Uso Conservacionista. Essa metodologia envolve a ponderação dos valores atribuídos às diferentes classes de solo, de litologia e de declividade, sendo os valores aplicados apenas a bacias mineiras, o que permite indicar o potencial de uso de uma área (Fig. 2).

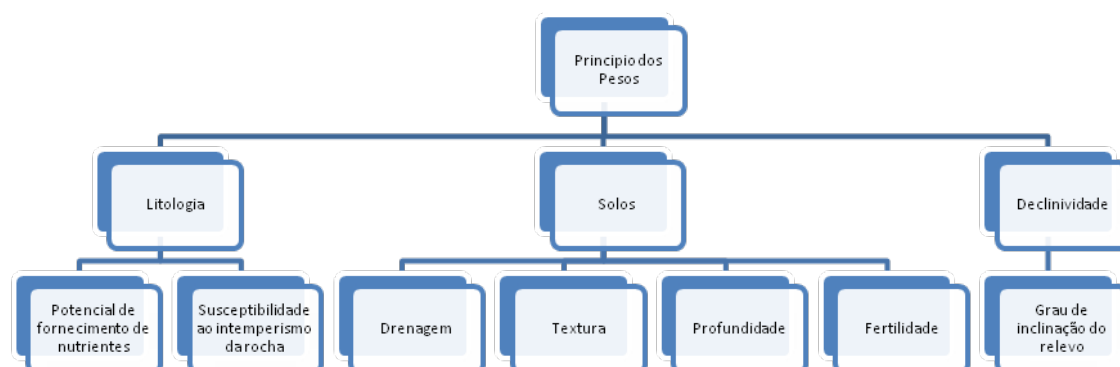


Figura 2 - Princípio dos pesos segundo Costa, A.*et al.* (2022)

Fonte: Baseado em Costa, A. *et al.* (2022).

As variáveis analisadas nesta etapa compreendem planos temáticos de informação geográfica. As variáveis solo e litologia são apresentadas no formato *shapefile*, enquanto a variável declividade é disponibilizada no formato matricial (raster de declividade) por meio de um software de geoprocessamento (COSTA, A.*et al.*, 2022).

O método PUC é aplicado de forma sequencial, ou seja, há etapas que devem ser seguidas (Fig. 3).

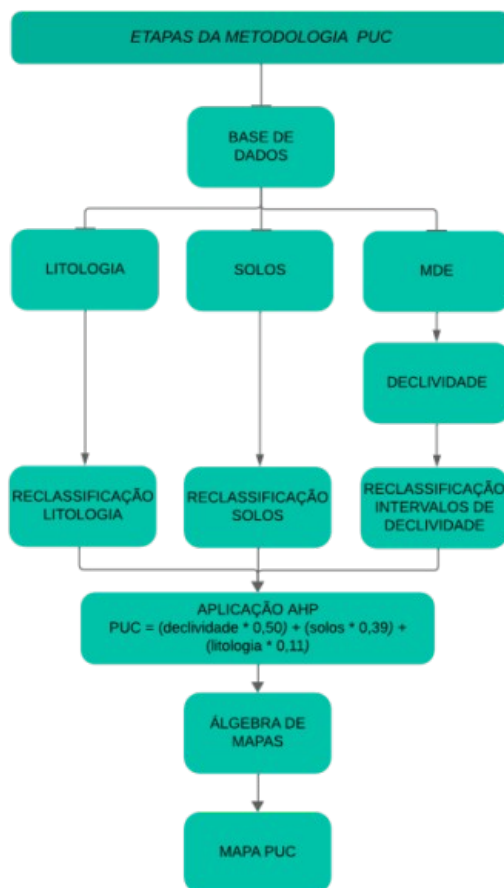


Figura 3 - Fluxograma: etapas da metodologia PUC (COSTA, A. *et al.* (2022)

Fonte: Martins (2022), tendo como base Minas Gerais (2020b).

De acordo com Costa, I. e Corrêa (2018), as classes de primeiro nível das variáveis seguem princípios específicos de ponderação. Para a variável declividade, os pesos são definidos com base no grau de inclinação do relevo: as áreas mais planas recebem os maiores valores, enquanto os relevos mais acidentados recebem os menores.

A variável litologia está diretamente relacionada ao potencial de fornecimento de nutrientes e à suscetibilidade à erosão. Rochas com maior facilidade de erosão geralmente apresentam um conjunto mais significativo de nutrientes, o que pode resultar em um maior potencial agrícola.

Já a variável solo é ponderada com base em atributos como drenagem, textura, profundidade efetiva e fertilidade. Nessa análise, os maiores pesos estão associados a solos com drenagem equilibrada, textura mais argilosa, maior profundidade e elevada fertilidade. Em contrapartida, os menores valores são atribuídos a solos mais rasos e menos férteis (Fig. 4).



Figura 4 - Sequência aplicada ao PUC

Fonte: Elaboração dos autores, tendo como base Costa, A. et al. (2017a).

### 1.2.6 Análise hierárquica de processos– AHP

O método AHP (Analytic Hierarchy Process – Análise Hierárquica de Processos) baseia-se no raciocínio cartesiano e newtoniano, abordando a complexidade pela inclusão de novos fatores e o estabelecimento de relações que permitem a condensação dos dados resultantes (Fig.5). É amplamente utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão em problemas de múltiplos critérios, integrando valores qualitativos e quantitativos (SAATY; VARGAS, 1991), possibilitando análises mais objetivas e minimizando a subjetividade nas interpretações (SENA, 2008).

Este método tem sido aplicado com frequência em problemas espaciais, como a definição de áreas de localização e a avaliação de adequabilidade de terras, por meio da atribuição de pesos que se correlacionam com os objetivos da análise.

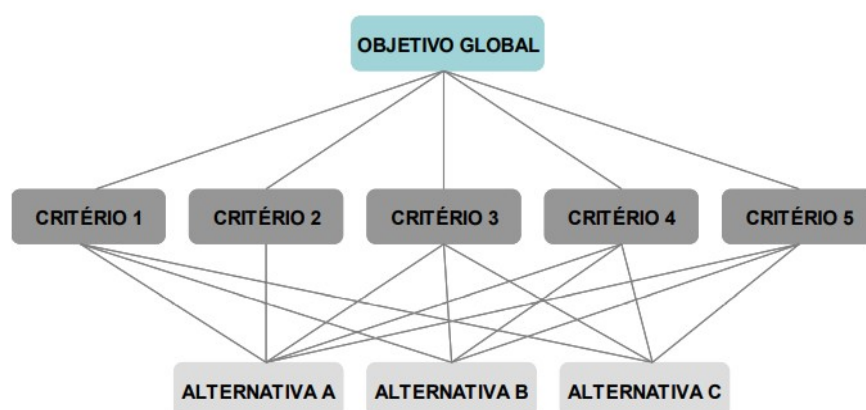


Figura 5 - Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão (SAATY; VARGAS, 1991)

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (1991).

A ponderação das variáveis ambientais é realizada pela técnica de comparação pareada (SAATY, 1977), utilizando a escala fundamentada de prioridades apresentada por Saaty (1977) (Quadro 1).

Segundo Costa, I. e Corrêa (2018), a atribuição dos valores de importância varia de 1 a 9: o valor 1 representa igual importância entre as variáveis, enquanto o valor 9 indica importância absoluta de uma variável sobre a outra, conforme proposto por Saaty (1977). Essa atribuição é feita por comparações par a par, permitindo a determinação da relevância das variáveis e o cálculo do Índice de Consistência (IC).

Quadro 1- Escala de Saaty (1977), adaptada por Coelho (2017)

| Intensidade de importância | Definição                                                                                                                                                                                                        | Explicação                                                                                          |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                          | Igual importância.                                                                                                                                                                                               | As duas atividades contribuem igualmente para o objeto.                                             |
| 3                          | Importância pequena de uma sobre a outra.                                                                                                                                                                        | A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação a outra.                                 |
| 5                          | Importância grande ou essencial.                                                                                                                                                                                 | A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação a outra.                                 |
| 7                          | Importância muito grande ou demonstrada                                                                                                                                                                          | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra, podendo ser demonstrada na prática. |
| 9                          | Importância absoluta                                                                                                                                                                                             | A evidência favorece uma atividade em relação a outra, com o mais alto grau de segurança.           |
| 2, 4, 6, e 8               | Valores intermediários.                                                                                                                                                                                          | Quando se procura uma condição do compromisso entre duas definições.                                |
| Recíprocos acima de 0      | Se a variável $i$ tiver um dos números não nulos acima atribuídos a ele quando comparado com a atividade $j$ , então $j$ tem o valor recíproco quando comparado com as razões $i$ , provenientes da escala $i$ . | Suposta lógica                                                                                      |
| Racionais                  | Razões decorrentes da escala.                                                                                                                                                                                    | Se a consistência fosse forçada obtendo $n$ valores numéricos para abanger a matriz.                |

Fonte: adaptado de Saaty (1977); Coelho (2017).

## 1.2.7 Parâmetros geomorfológicos

### 1.2.7.1 Curvatura horizontal

A curvatura horizontal está relacionada à direção dos fluxos de água. A curvatura horizontal continua sendo hoje um potente indicador hidromorfológico: encostas convergentes (curvatura positiva) agem como coletores hídricos, enquanto divergentes (curvatura negativa) funcionam como distribuidores efeito que é potencializado ou atenuado conforme as características do solo e a drenagem local (SILVA, R.; COELHO NETTO; LACERDA, 2023).

Segundo Valeriano e Albuquerque (2010, p.38), a curvatura horizontal “se baseia na mudança da orientação das vertentes em relação à distância horizontal, ao

longo das curvas de nível” (Fig.6). A variação do ângulo pode indicar divergência ou convergência das linhas de fluxo, sendo que o valor calculado apresenta, por convenção, sinais opostos: positivo e negativo.

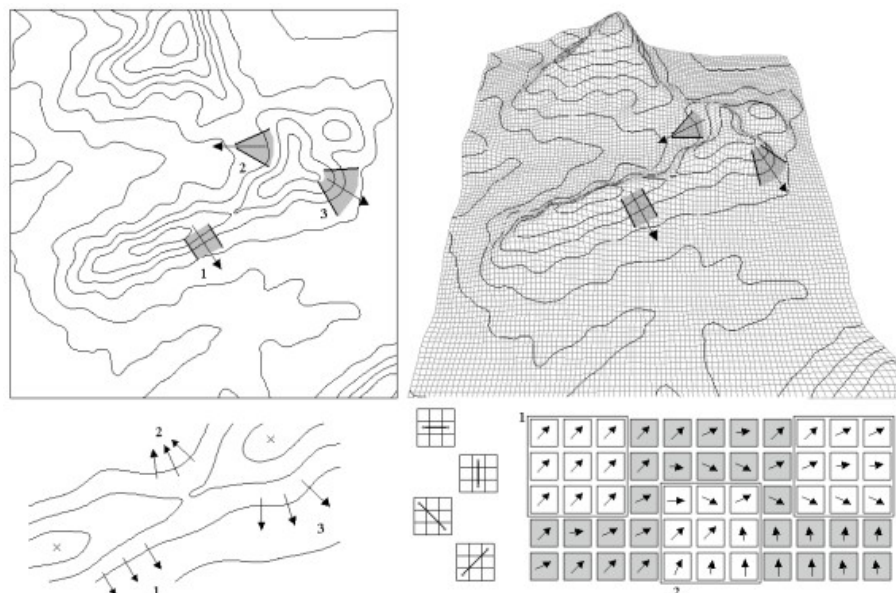


Figura 6 - CH em isolinhas (esq.) e em MDE (dir.)  
Fonte: Valeriano e Albuquerque (2010).

### 1.2.7.2 Curvatura vertical

A curvatura vertical (CV) está relacionada ao transporte e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo. As formas das vertentes, portanto, evidenciam a dinâmica erosiva da área em estudo (VALERIANO, 2008b).

De acordo com Valeriano (2008a), a determinação da curvatura vertical em mapas topográficos requer a avaliação de, no mínimo, três curvas de nível próximas. A disposição dessas curvas, que se deslocam progressivamente ao longo das inclinações, permite identificar as configurações específicas das categorias de curvatura vertical (Fig.7.)

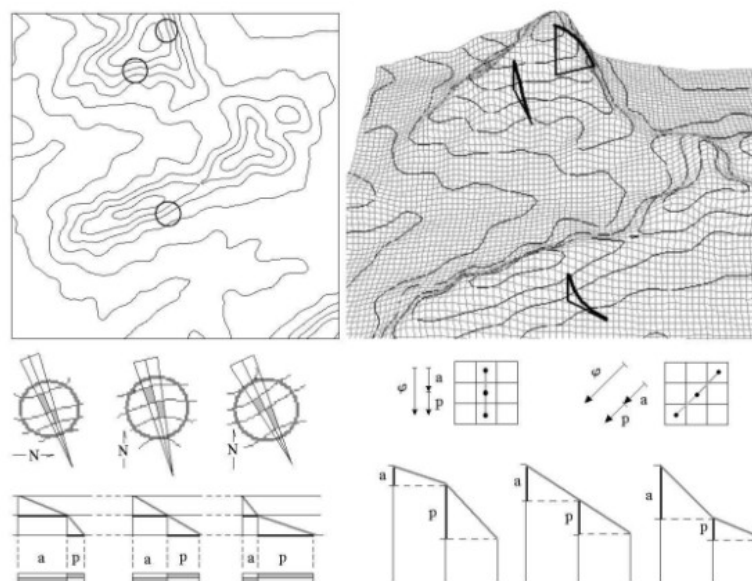


Figura 7 - CV em isolinhas (esq.) e em MDE (dir.)  
 Fonte: Valeriano e Albuquerque (2010).

Assim, a classificação da curvatura vertical baseia-se na diferença entre o ângulo de declividade e a distância horizontal correspondente. Quando essa diferença é nula, a curvatura vertical resulta em um perfil retilíneo, indicando ausência de convexidade ou concavidade. Nos perfis convexos, os valores de curvatura vertical são positivos, já nos perfis côncavos, os valores são negativos (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

A CV é um fator crucial no controle do fluxo de água superficial no solo, influenciando diretamente a profundidade do solo nas diferentes encostas. Em encostas côncavas, onde há maior convergência do fluxo hídrico, o solo tende a ser menos profundos em razão do acúmulo de água e da intensificação dos processos erosivos. Em contrapartida, em encostas convexas, onde ocorre divergência do fluxo, os solos costumam apresentar maior profundidade (CHAGAS; FERNANDES FILHO; BHERING, 2013).

Segundo Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013) há uma conexão significativa entre a curvatura do terreno e a profundidade dos solos. De modo geral, solos mais profundos e bem estruturados tendem a se desenvolver em encostas convexas, onde o escoamento superficial é mais distribuído, o que reduz a erosão e favorece o acúmulo de sedimentos. Em contrapartida, encostas côncavas, que concentram maior volume de água, costumam apresentar solos mais rasos e menos desenvolvidos, em razão da intensificação dos processos erosivos e do aumento do transporte de partículas.

### 1.2.7.3 Forma do terreno

Embora as curvaturas verticais e horizontais sejam conceitos distintos, ambas geram estatísticas que podem ser interpretadas de forma semelhante (EVANS, 1998). A CV está relacionada à convexidade ou concavidade da superfície em um plano que acompanha o declive, enquanto a CH se refere ao perfil de convergência ao longo do plano horizontal (MINÁR; EVANS; JENČO 2020).

Dessa forma, as curvaturas estão intimamente ligadas aos processos gravitacionais que regulam a migração e o acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo pela superfície (FLORENZANO, 2008).

As Formas do Terreno (FTs) são identificadas pela combinação da CH e a CV da superfície. Para cada tipo de curvatura, são atribuídos valores específicos que, quando somados, resultam em uma classificação particular da forma do terreno (Fig.8). Essa técnica permite representar sistematicamente diferentes perfis topográficos, como áreas côncavas e convexas, auxiliando na descrição da morfologia de uma região.

A sobreposição dos valores de curvatura facilita a interpretação do relevo e contribui para a análise dos processos geomorfológicos, sendo uma ferramenta importante para o planejamento ambiental e o uso do solo (VALERIANO, 2008a).

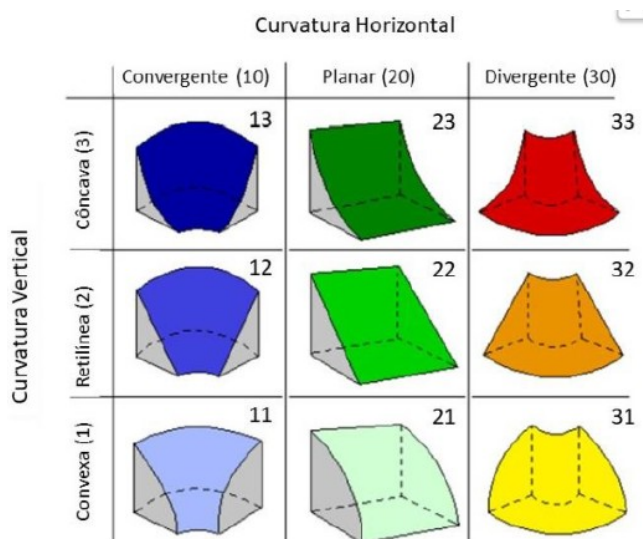


Figura 8 - Representação das nove formas de um terreno

Fonte: Adaptado de Valeriano (2008a).

Com base em dados numéricos, a classificação das formas do terreno apresenta as seguintes vantagens: velocidade, precisão, repetitividade e facilidade de combinação com outros dados temáticos (SOUZA, V., 2016; YANG *et al.*, 2023). (Fig. 9).

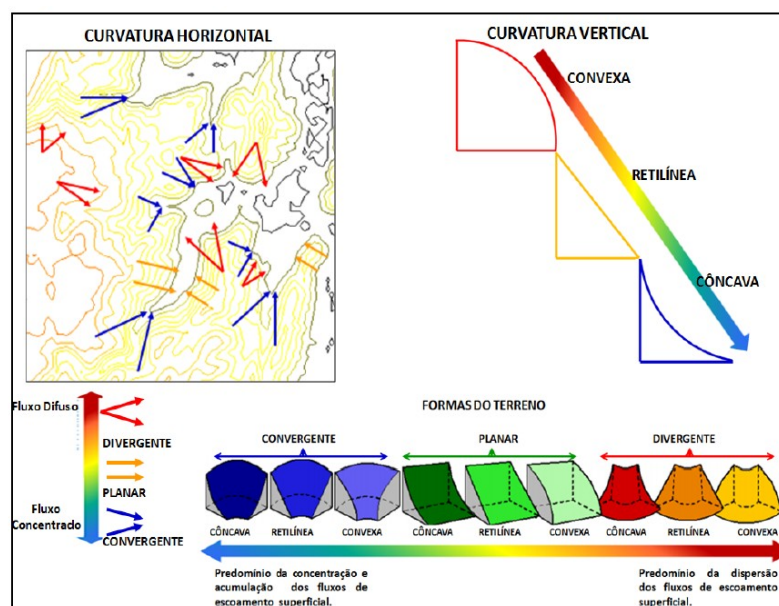


Figura9 - Variáveis geomorfométricas da altimetria  
 Fonte: Adaptado de Valeriano (2008a).

Dessa forma, com base na literatura mencionada neste trabalho, conclui-se que as configurações do relevo identificadas como côncavas e convergentes têm maior concentração de acúmulo de escoamento superficial, tornando-se, assim, mais propensas a processos erosivos severos (Fig. 9). Em contrapartida, as configurações das formas convexas e divergentes caracterizam-se pela dispersão do escoamento superficial, resultando em menor acúmulo de água e, conseqüentemente, menor suscetibilidade à erosão. Nesses locais, o escoamento superficial tende a apresentar capacidade limitada de transporte e remoção de partículas do solo, o que restringe, de maneira significativa, a perda de solos.

#### 1.2.7.4 Declividade

A declividade foi reconhecida por influenciar, tanto direta quanto indiretamente, o fluxo de água superficial e o surgimento de processos erosivos. Isso evidencia uma relação importante entre as ramificações do ciclo de materiais e a dinâmica dos processos que moldam a paisagem e formam o solo (NUNES, 2009). A declividade (primeira ordem), juntamente com a curvatura longitudinal, curvatura mínima, curvatura máxima e curvatura transversal (derivadas de segunda ordem do Modelo Digital de Elevação - MDE), constituem as características geomorfométricas mais importantes e frequentemente utilizadas (EVANS, 1972; WOOD, 1996) (Fig. 10).

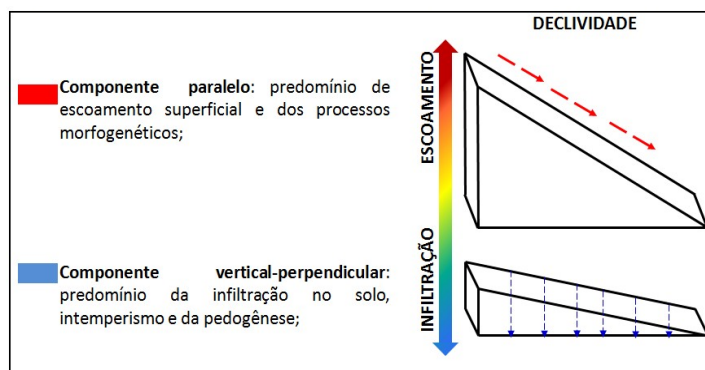


Figura 10 - Ação da declividade no escoamento e infiltração da água no solo  
Fonte: Silva Neto (2013).

A declividade, uma variável primária derivada de dados altimétricos, representa o ângulo de uma superfície em relação ao plano horizontal, podendo variar de 0° a 90° ou ser expressa em porcentagem. Essa métrica é fundamental para a avaliação ambiental, pois influencia diretamente processos gravitacionais, como o escoamento superficial, a erosão e os deslizamentos de massa. Além disso, o grau de inclinação das encostas afeta o equilíbrio entre o escoamento superficial e a infiltração de água no solo (Fig. 10) regulando a distribuição hídrica e os compartimentos dos fluxos de água na superfície (SOUZA, J.,2021).

A declividade do terreno influencia diretamente a inclinação e a velocidade do escoamento superficial da água, afetando a intensidade dos processos erosivos. Em áreas com relevo mais acentuado, como regiões onduladas ou montanhosas, o escoamento tende a ser mais rápido, o que favorece a ocorrência de erosão. Por outro lado, em locais com declividade suave ou planos, a água escoar mais lentamente, predominando o escoamento laminar, que, embora menos intenso, ainda pode contribuir para a erosão do solo (SILVA, Gabriela, 2021).

### 1.2.8 Solos nas unidades de paisagens

O Brasil tem uma grande variedade de solos em todo o seu território, resultando da variedade de pedoambientes e dos fatores de formação do solo. Esses fatores influenciam diretamente as características edáficas e se reflete nas 13 classes de solos definidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), em razão da ampla gama de propriedades químicas, físicas e morfológicas (SANZONOWICZ,2021).

Latossolos, Argissolos e Neossolos dominam cerca de 70% do território nacional. Os Latossolos e Argissolos, que ocupam, aproximadamente, 58% dessa área,

são solos profundos, bastantes desgastados (intemperizados), ácidos e de baixa fertilidade natural, ainda que, em alguns casos, apresentem maior presença e espessura. Em contrapartida, solos de média e alta fertilidade, porém geralmente menos profundos em razão de menor intemperismo, estão representados nas classes Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossols e Cambissolos (SANZONOWICZ, 2021).

Além de serem componentes essenciais da paisagem, os solos revelam detalhes sobre o seu processo de desenvolvimento ao longo do tempo. A relação entre solo e relevo está diretamente associada à interação entre os elementos da paisagem, fazendo com que os solos sejam um reflexo claro e representativo das condições ambientais naturais da região (MARCOLIN; CALEGARI, 2020).

Essa interação é interpretada de diferentes formas da área de estudo: um ecólogo enxerga o solo como elemento essencial do ecossistema; para a Agronomia, o solo é um meio constituído por fases sólida, líquida e gasosa, que sustenta o crescimento das plantas; para um antropólogo, o solo funciona como um registro histórico, contendo evidências do passado; já para o químico, ele é visto como um laboratório natural, onde ocorrem reações entre suas diferentes fases. Dada essa diversidade de perspectivas e de funções, fica evidente a importância do solo para a vida na Terra, especialmente em um contexto em que as ciências dialogam de forma cada vez mais integrada (JATOBÁ; SILVA, A., 2017).

Na bacia hidrográfica, elementos físicos como rochas, geomorfologia, solo, cobertura vegetal e intensidade das chuvas são fundamentais para compreender a vulnerabilidade da paisagem aos processos erosivos e de degradação. Segundo Crepaniet *al.* (2001), esses componentes fornecem a base para analisar a configuração dessa vulnerabilidade e sua capacidade de resistir ou de se adaptar às mudanças ambientais, auxiliando na identificação de áreas mais suscetíveis a impactos naturais ou antrópicos.

Assim as paisagens, os solos formam um mosaico com características próprias, refletindo a influência das rochas, do relevo e do clima. Essa diversidade torna essencial a classificação dos solos - uma tarefa complexa, porém indispensável para agrônomos e pedólogos, visando uma melhor compreensão e manejo do solo para espécies naturais e cultivadas (JATOBÁ; SILVA, A., 2017).

### 1.3 Referências

AB'SÁBER, A. N. *Os domínios da natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas*. 1. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 144p.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024. **Informe Anual**. Brasília: ANA, 2024. 154p.:il. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024\\_04122024.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf) Acesso em: 19 jul. 2024.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Cruz, O. (trad.). **Cadernos de Ciências da Terra**. São Paulo, USP-IGEOG, n.43, 1972. **Passei direto com acesso de compra**. Acesso em: 2 jan 2023.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v.8, 2004. <https://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3389> Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389> Acesso em: 3 nov. 2024.

BLUWSTEIN, J. Colonizing landscapes/landscaping colonies: from a global history of landscapism to the contemporary landscape approach in nature conservation. **Journal of Political Ecology**, [S.l.], v.28, n.1, p.904-927, 2020. <https://doi.org/10.2458/jpe.2850> Disponível em: <https://journals.librarypublishing.arizona.edu/jpe/article/id/2850/> Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídico. **DOU de 9.1.1997**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm) Acesso em: 4 nov. 2024.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia. INPE-10506-4PQ/249, São José dos Campos, 2001. 345p. p.2-6. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publi> Acesso em: 7 out. 2022.

CAYLA, N. An overview of new technologies applied to the management of geoheritage. **Geoheritage**, v.6, n.2, p.91-102, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0113-0> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-014-0113-0#citeas> Acesso em: 7 out. 2022.

CHAGAS, C. da S., FERNANDES FILHO, E. I. BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.25 n.1, p.147-162, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100012> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/RskKYTV4hB3M9Nqjc9zcgYN/> Acesso em: 4 nov. 2022.

COELHO, A. L. N. Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. **GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology**, [S.l.], n.20, p.183-199, 2017.

<https://doi.org/10.21138/GF.565> Disponível em:

<https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/565> Acesso em: 14 jul. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o Estado de Minas Gerais. **Geografias**, v.13, n.1,

2017a. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13439> Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439> Acesso em: 4 jan. 2022.

COSTA, A.M. da *et al.* Zoneamento do potencial do uso conservacionista como alternativa às unidades de paisagem para a confecção do ZAP. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 6., 11-15 jul. 2017b. Universidade Federal de Uberlândia. **Anais**. Disponível em:

[https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/evento/dias\\_de\\_exposicao\\_de\\_banner\\_0.pdf](https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/evento/dias_de_exposicao_de_banner_0.pdf) Acesso em: 4 jan. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o estado de Minas Gerais. **Geografias**, v.13, n.1, p.118-133,

2022. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13439> Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439> Acesso em: 6 jul. 2023.

COSTA, I. C. N. P.; CORRÊA, J. A. de J. Geotecnologias aplicadas no reconhecimento de padrões de uso e cobertura da terra a partir da escala da paisagem no município de Belterra, Pará. **Scientia Plena**, [S.l.], v.14, n.11,

2018. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.115301> Disponível em:

<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/4221> Acesso em: 4 nov. 2023.

CREPANI, E. *et al.* Curso desensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM]. In: CREPANI, E. *et al.* (org.). Sensoriamento Remoto por Radares. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 14-19 abr. 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científica. Disponível em:

<https://www.scribd.com/document/345654878/CREPANI-E-MEDEIROS-J-S-AZEVEDO-L-G-FILHO-P-H-FLORENZANO-T-G-DUARTE-V-Curso-de-Sensoriamento-Remoto-Aplicado-Ao-Zoneamento-Ec> Acesso em: 6 jul. 2023.

CREPANI, E. *et al.* **Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.04.10.54/doc/T206.pdf> Acesso em: 8 ago. 2025.

EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. (ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. Methuen&Co., London, 1972. p.17-90. Chap. 2.

EVANS, I. S. O que as estatísticas de terreno realmente significam? In: Lane, S. N.; Richards, K. S.; Chandler, J. H. (ed.), **Monitoramento, modelagem e análise de relevo**. Wiley, p.119-138, 1998. Disponível em: <https://durham-repository.worktribe.com/output/1672893> Acesso em: 10 jul. 2024.

FERNANDES, M. R. (coord.). **Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem**. Belo Horizonte, MG: EMATER-MG, 2013. 92p. il. color. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=3161&biblioteca=BRT&busca=autoria:%22FERNANDES,%20M.%22&qFacets=autoria:%22FERNANDES,%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> Acesso em: 4 nov. 2022.

FLORENZANO T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008. 318p.

GOU, M. *et*

al. Identifying and analyzing ecosystem service bundles and their socioecological drivers in the Three Gorges Reservoir Area. **Journal of Cleaner Production**, v.307, p.127208, May 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127208> Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/351283835\\_Identifying\\_and\\_analyzing\\_ecosystem\\_service\\_bundles\\_and\\_their\\_socioecological\\_drivers\\_in\\_the\\_Three\\_Gorges\\_Reservoir\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/351283835_Identifying_and_analyzing_ecosystem_service_bundles_and_their_socioecological_drivers_in_the_Three_Gorges_Reservoir_Area) Acesso em: 4 nov. 2024.

GUERRA, A. J. T.; LOUREIRO, H. A. S. (org.) **Paisagens da Geomorfologia: Temas e Conceitos do Século XXI**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2022. 376p.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F. **Estrutura e dinâmica atual de paisagens** [livro eletrônico], 1.ed. Ananindeua: Itacaiúnas, v.1, 2017. 107p. il. ISBN 978-85-9535-040-3. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1082994> Acesso em: 25 jul. 2022.

LEAL, J. M.; OLIVEIRA, I. J. de; AQUINO, C. M. S. de. Determinação de variáveis do relevo a partir da utilização de imagens topográficas da bacia hidrográfica do Rio Maratãoan, Piauí, Brasil. **Brazilian Geographical Journal**, Ituiutaba, v.14, n.1, p.87-103, 2023. <https://doi.org/10.14393/BGJ-v14n1-a2023-67951> Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/brazilangeojournal/article/view/67951> Acesso em: 19 maio 2024.

MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R. Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua relação com a paisagem no oeste do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v.39, p.48-61, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.158400> Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/158400> Acesso em: 5 nov. 2024.

MARTINS, I. C. **Análise comparativa de metodologias de mapeamento de uso conflitante da terra: estudo de caso em sub-bacias do Rio Araçuai**. 2022. 88p.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) –Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022. Disponível em:  
[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=M52IKnoAAAAJ&citation\\_for\\_view=M52IKnoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=M52IKnoAAAAJ&citation_for_view=M52IKnoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC) Acesso em: 5 nov. 2024.

MENDES, I. A. da S.O uso de geotecnologias na organização do espaço.**Cadernos do Leste**, v.19, n.19, 2019. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.  
<https://doi.org/10.29327/248949.19.19-3> Disponível em:  
<https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13157> Acesso em: 20 jul. 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012. 277p.

MINÁR, J.; EVANS, I. S.; JENČO, M. A comprehensive system of definitions of land surface (topographic) curvatures, with implications for their application in geoscience modelling and prediction. **Earth-Science Reviews**, [S.l.], v.211, p.103414, Dec. 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103414> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825220304608> Acesso em: 19 jul. 2024.

MINAS GERAIS.(Estado). **Deliberação nº 20, de 14 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre a aprovação do documento Metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo de Sub-Bacias Hidrográficas.Governo do Estado de Minas,Belo Horizonte, 3.ed.,2020b. Disponível em:  
[https://www.mg.gov.br/system/files/media/agricultura/documento\\_detalhado/2023/agricultura/deliberacao-no-20-2020-aprova\\_metodologia\\_3a\\_ed.pdf](https://www.mg.gov.br/system/files/media/agricultura/documento_detalhado/2023/agricultura/deliberacao-no-20-2020-aprova_metodologia_3a_ed.pdf) Acesso em: 20 jan. 2023.

MOURA, M. S. de *et al.*Beyond land use planning and ecosystem services assessment with the conservation use potential framework: a study in the upper Rio das Velhas basin, Brazil. **Science of the Total Environment**, v.923, p.171437, 2024. 116p.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171437> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972401578X> Acesso em: 19 dez. 2024.

NUNES, B. de A. (coord.).**Manual técnico de geomorfologia**. Manuais Técnicos em Geociências, n.5, Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2.ed., 2009. 180p. Disponível em:  
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf> Acesso em: 19 jul. 2022.

PIROLI, E. L.**Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d’água da bacia hidrográfica do Rio Pardo**. 2013. 160p. Tese (Livre-Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Campus de Ourinhos, São Paulo. 2013.  
 DOI:[10.13140/RG.2.1.1714.0329](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1714.0329) Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/279981036\\_Tese\\_de\\_Livre\\_Docencia\\_-\\_Geoprocessamento\\_aplicado\\_ao\\_estudo\\_do\\_uso\\_da\\_terra\\_das\\_areas\\_de\\_preservacao](https://www.researchgate.net/publication/279981036_Tese_de_Livre_Docencia_-_Geoprocessamento_aplicado_ao_estudo_do_uso_da_terra_das_areas_de_preservacao)

[permanente dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Pardo](#) Acesso em: 5 set. 2024.

REGGIANI, P.; HASSANIZADEH, S. M. Megascala thermodynamics in the presence of a conservative field: the watershed case. **Advances in Water Resources**, v.97, p.73-86, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.09.002> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170816304018> Acesso em: 5 nov. 2024.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. de P. B. **Geoecologia das paisagens** [livro eletrônico]: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 6.ed. E-book. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022. 12.393 kb:il. color.; PDF. ISBN: 978-65-88492-97-0. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/66152> Disponível em: <https://biblioteca.geografia.blog.br/2022/06/gpuhc2022.html> Acesso em: 2 set. 2024.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n.3, p.234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022249677900335> Acesso em: 5 ago. 2022.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, projection, and forecasting**: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports. Kluwer Academic Pub, 1991.

SANZONOWICZ, C. Embrapa Cerrados. Bioma Cerrado. **Solo**. Embrapa. 2021 Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo> Acesso em: 10 jul. 2024.

SEATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.56, n.2, p.195-212, abr.-jun. 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxby89xBDg3XCTgr/?lang=pt> Acesso em: 5 nov. 2024.

SENA, J. N. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão** 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/8a7ffc95-8a04-417b-81e1-de0c448fa509> Acesso em: 5 nov. 2024.

SILVA, A. S. de A. Trilhando a paisagem: uma abordagem de conceitos e diálogos. **Revista Eletrônica História, Natureza e Espaço**, v.5, n.2, 2016. DOI: [10.12957/hne.2016.31786](https://doi.org/10.12957/hne.2016.31786) Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/niesbf/article/download/31935/22633> Acesso em: 25 set. 2023.

SILVA, Gabriela M. da. **Geomorfologia aplicada à caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos em Rio Preto da Eva (AM)**. 2021. 114f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8470> Acesso em: 13 jun. 2024.

SILVA, Gleidson C. da; FERREIRA, V. de O. Uso e ocupação do solo e cenário tendencial de vazões na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.1, p.139-159, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p139-159> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234361> Acesso em: 30 jun. 2023.

SILVA NETO, J. C. A. da. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do Rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno [online]. **Geografia**, Londrina, v.22, n.1, 2013. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2013v22n1p05> Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/12722> Acesso: 29 ago. 2023.

SILVA, R. P. da; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. Hydro-geomorphological conditions for the classification of terrain susceptibility to shallow translational landslides: a geo-hydro ecological approach. **Soiland Rocks**, São Paulo, v.46, n.4, p.e2023005623, 2023. <https://durham-repository.worktribe.com/output/1672893> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/soiroc/a/zfPtGfxGdjYZJzS9C9sQYfF/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 19 nov. 2023.

SOARES, F. B. **Planejamento e zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do manancial Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente - São Paulo/Brasil**. 2015. 230f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Presidente Prudente: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/26-02-2016/000859052.pdf> Acesso em: 5 nov. 2024.

SOBRAL, M. do C. *et al.* Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.22, n.5, p.841-852, set.-out. 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017111054> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7dScs76qzmNqtYhyn7V6rsj/?lang=pt> Acesso em: 20 jul. 2023.

SOUZA, J. B. de. Proposta metodológica para mapeamento de fragilidade ambiental: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, MG. 2021. 218p. Tese (Doutorado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: [https://bib.pucminas.br/teses/Geografia\\_JorgeBatistaDeSouza\\_19113\\_Textocompleto.pdf](https://bib.pucminas.br/teses/Geografia_JorgeBatistaDeSouza_19113_Textocompleto.pdf) Acesso em: 20 jul. 2023.

SOUZA, V. V. de. **Classificação e Fragmentação das Formas de Terreno na análise do Relevo Tropical** 2016. 127p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22435/1/2016\\_ViniciusVasconcelosdeSouza](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22435/1/2016_ViniciusVasconcelosdeSouza).

[pdf](#) Acesso em: 20 jul. 2023.

VALERIANO, M. de M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008a. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf> Acesso em: 24 mar. 2022.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. 328p. Cap.3, p.74-103. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=TrUWDAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false> Acesso em: 24 mar. 2014.

VALERIANO, M. de M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. de. **Topodata**: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42/doc/publicacao.pdf> Acesso em: 24 mar. 2022.

WALTERS, G. *et al.* Integrando a ecologia da paisagem na prática paisagística nas florestas tropicais da África Central. **Landscape Ecol**, v.36, p.2427–2441, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01237-3> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-021-01237-3> Acesso em: 24 mar. 2023.

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of digital elevation models**. Thesis (PhD – Doctoral level in Geography) – University of Leicester, 1996. <https://hdl.handle.net/2381/34503> Disponível em: [https://figshare.le.ac.uk/articles/thesis/The\\_geomorphological\\_characterisation\\_of\\_Digital\\_Elevation\\_Models\\_/10152368?file=18296414](https://figshare.le.ac.uk/articles/thesis/The_geomorphological_characterisation_of_Digital_Elevation_Models_/10152368?file=18296414) Acesso em: 24 mar. 2014.

YANG, J. *et al.* Deep learning-based automated terrain classification using high-resolution DEM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [S.l.], v.118, p.103249, Apr. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103249> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843223000717?via%3Dihub> Acesso em: 19 jul. 2025.

## 2 OBJETIVOS

Constitui **Objetivo geral** delimitar as unidades de paisagem aplicadas a bacias hidrográficas, utilizando parâmetros geomorfométricos e edáficos.

Os **Objetivos específicos** são:

- a) obter e reclassificar dados de FT, declividade e solos para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho – GO;
- b) aplicar a análise de processo hierárquico para delimitação de unidade de paisagem para BHRV;
- c) verificar as unidades de paisagem delimitadas a partir de visita em campo;
- d) avaliar e caracterizar espacialmente as unidades de paisagens delimitadas para a BHRV; e
- e) comparar as Unidades de Paisagem com o Potencial de Uso Conservacionista na BHRV.

### **3      CAPÍTULO I**

**Delimitação de unidades de paisagem aplicada a bacias hidrográficas, utilizando  
parâmetros geomorfométricos e edáficos**

(Normas de acordo com a Revista ...)

**Resumo:** Há diversos métodos de avaliação ambiental que contribuem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, permitindo um uso mais sustentável e uma redução dos problemas ambientais. Entre esses métodos, destaca-se o de Unidade de Paisagem (UP), produto do manual oficial de Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) de Minas Gerais, uma ferramenta voltada ao desenvolvimento e monitoramento de planos de manejo econômico, social e ambiental. No entanto, a subjetividade na delimitação dessas unidades representa um desafio, podendo comprometer a precisão dos resultados e a efetividade das análises ambientais. Este estudo tem por objetivo delimitar as unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho (BHRV), localizada na microrregião de Goiás, abrangendo os municípios de Rio Verde e Santo Antônio da Barra, pela utilização de parâmetros geomorfológicos e técnicas avançadas de análise espacial. A metodologia adotada integrou dados da forma do terreno (FT), declividade e tipos de solo, os quais foram reclassificados para identificar padrões geomorfológicos e edáficos da região. A aplicação da Análise Hierárquica de Processos (AHP) permitiu a ponderação das variáveis, considerando sua importância relativa nos processos naturais da bacia. A delimitação das unidades de paisagem foi validada por visitas de campo, garantindo a precisão dos resultados obtidos. A análise espacial resultou em um mapa detalhado, identificando cinco categorias distintas de unidades de paisagem, com diferentes graus de vulnerabilidade e potencial de uso. Esse mapeamento trouxe informações essenciais para o planejamento ambiental, a gestão da bacia e a implementação de práticas agrícolas sustentáveis. A proposta mostrou-se eficaz na caracterização das dinâmicas ambientais da BHRV, oferecendo uma ferramenta relevante para o manejo e a conservação do território.

**Palavras-chave:** Análise de paisagem. Análise hierárquica de processos. Curvatura do terreno. Sistema de informação geográfica. Vulnerabilidade.

### 3 CHAPTER I

#### **Delimitation of landscape units applied to watersheds by geomorphometric and soil parameters**

(Standards according to the Magazine ...)

**Abstract:** There are many environmental assessment methods that contribute to maintain ecosystem services, enabling more sustainable use and reducing environmental problems. Landscape Unit (LU) Assessment Method stands out among different ones, which is a product of the official Environmental and Productive Zoning (ZAP, Brazilian acronym) manual from Minas Gerais State, a tool designed to develop and monitor economic, social, and environmental management plans. However, the subjectivity involved in delineating these units emerges as a challenge, potentially compromising the results accuracy and the environmental analyses effectiveness. This paper aims to delineate the landscape units of the *Verdinho* River watershed (BHRV, Brazilian acronym), located in the microregion of Goiás State, Brazil, and encompassing the municipalities of *Rio Verde* and *Santo Antônio da Barra*, by geomorphological parameters and advanced spatial analysis techniques. The adopted methodology integrated data on landform (FT, Brazilian acronym), slope, and soil types, which were reclassified to identify the region geomorphological and edaphic patterns. The Analytic Hierarchy Process (AHP, Brazilian acronym) application allowed to consider the variables as their relative importance in the watershed's natural processes. The landscape unit delineation was validated with field visits, ensuring the accuracy of the obtained results. The spatial analysis produced a detailed map identifying five distinct categories of landscape units with different vulnerability levels and land use potential. This mapping provided essential information for environmental planning, watershed management, and the implementation of sustainable agricultural practices. The

proposed approach proved to be effective in characterizing the environmental dynamics of the BHRV, offering a relevant tool for territorial management and conservation.

Keywords: Analytic hierarchy process. Geographic information system. Landscape analysis. Vulnerability. Terrain curvature.

### 3.1 Introdução

A paisagem, como um conceito acadêmico, destaca-se por sua elevada complexidade, refletindo tanto as virtudes quanto as contradições inerentes ao campo científico. Essa complexidade torna-se evidente em questões relacionadas à disciplinaridade, à especialização e à fragmentação do saber, bem como à valorização da matematização como evidência de rigor científico (SAITO, 2023).

O conceito de análise de paisagem é amplamente difundido nas Geociências, sendo aplicado à investigação dos elementos presentes em uma unidade territorial delimitada por suas características geomorfológicas (BERTAND, 2004). Nessa abordagem, a natureza é analisada por suas conexões e interações, o que permite compreender a dinâmica de transformação da paisagem. Além disso, este conceito é fundamental na geografia, especialmente em estudos ambientais. Ao longo da evolução teórica do campo, a análise de paisagem passou por diversas reformulações interpretativas, refletindo novas perspectivas e abordagens científicas (SOUZA, M., 2019).

O estudo da paisagem só é possível a partir das inter-relações entre seus componentes, os quais devem ser analisados por suas relações funcionais e estruturais (RODRIGUEZ; SILVA, E.; CAVALCANTI, 2022). Mostrando-se como um termo interdisciplinar de forma dinâmica, devido às alterações que podem ocorrer na paisagem.

Ao estabelecer a ligação entre Ecologia e Geografia, Tricart (1979) e Tricart (1982) destacam duas dimensões: a espacialidade, expressa pela paisagem, e a funcionalidade, decodificada pela análise ecológica. Oliveira, Souza, S. e Ribeiro (2022) demonstram essa dupla dimensão em seu trabalho, combinando representação cartográfica com análise dinâmica da paisagem. Esses avanços complementam a crítica de Rose (2002) sobre a necessidade de explicações estruturais robustas.

Nesse contexto, a análise de Li e Wu (2004) ressalta preocupações teóricas e metodológicas, apontando que a interpretação ecológica obtida da análise de padrões de paisagem ficou aquém do esperado. Essa limitação decorre, principalmente, de três fatores: deficiências conceituais na avaliação dos padrões de paisagem, restrições inerentes aos próprios índices de paisagem e a aplicação inadequada de métricas de paisagem. Assim, evidencia-se a necessidade de avanços nos conceitos e nas

metodologias para alcançar uma compreensão mais aprofundada da ecologia da paisagem.

Santos, L. *et al.* (2019) definem unidades de paisagem (UP) como áreas homogêneas em relação a características geomorfológicas, edáficas e de relevo. A delimitação das UPs não é uma tarefa fácil, pois envolve a complexidade da organização e a integração dos sistemas ambientais, bem como sua interação com as ações antrópicas. Nesse sentido, torna-se essencial tratar a paisagem de forma unificada, considerando suas múltiplas interações e dinâmicas.

Segundo Morin (1977) e Christoforetti (2019), a configuração da paisagem é influenciada por elementos, relações, atributos, entradas e saídas do sistema, exigindo, portanto, uma análise espaço-temporal. Khoroshev (2019) formalizam isso por meio da abordagem de geossistemas multiescalares, que inter-relacionam vegetação, solo e relevo em diferentes hierarquias espaciais. Complementarmente, Zhu, C. *et al.* (2024) aplicam essa lógica na classificação de unidades de solo-paisagem, demonstrando a eficácia de integrar variáveis temáticas para uma compreensão mais precisa das dinâmicas territoriais.

Para a delimitação das UP, Crepaniet *al.* (2001) propõem o uso do conceito de Ecodinâmica, que consiste na coleta e análise integrada de dados sobre relevo, solos, clima, vegetação e uso do solo. Esse procedimento permite avaliar a interação entre os fatores naturais e antrópicos, possibilitando a identificação das áreas superficiais e de suas fragilidades ambientais.

Na metodologia padrão do estado de Minas Gerais do Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), a definição da unidade de paisagem é feita de forma manual, tendo como base a metodologia proposta por Fernandes (2013). O processo consiste na análise de contornos e do relevo com uso do exagero vertical, sobreposição de curva de nível e posterior delimitação manual das UPs pelo responsável técnico. Esse procedimento, por depender fortemente da interpretação individual, tende a gerar diferentes resultados entre analistas, resultando em baixa reprodutibilidade da metodologia (MINAS GERAIS/SEMAD/SEAPA, 2020a).

O método proposto por Fernandes (2013) adota uma abordagem integrada, considerando a paisagem como resultado da interação entre os componentes do meio físico (geologia, relevo e solos), do meio biótico (vegetação nativa) e do meio socioeconômico (atividades antrópicas). Após a delimitação das paisagens, são

feitas interpretações das potencialidades, fragilidades e aptidões conforme sugerido por Fernandes e Bamberg (2009).

De forma semelhante, a metodologia descrita por Costa, A. *et al.* (2017a) também se baseia em um processo manual, com a interpretação de curvas de nível para a categorização das unidades de paisagem. No entanto, esse método exige amplo conhecimento técnico e experiência prévia para com a bacia analisada, o que o torna restrito a especialistas qualificados e suscetível à subjetividade, dificultando sua replicabilidade.

Costa, A. *et al.* (2017b) propuseram um método alternativo denominado Potencial de Uso Conservacionista (PUC), baseado na ponderação dos valores atribuídos a diferentes classes de solos, litologia e declividade, sendo aplicado somente a bacias hidrográficas de Minas Gerais. O objetivo era indicar o potencial de uso de uma área com respaldo em suas características físicas.

No presente estudo, propõe-se uma metodologia distinta para a delimitação das UPs, integrando múltiplas variáveis topográficas e edáficas, incluindo curvatura horizontal e vertical, declividade e tipos de solo, por meio da Análise Hierárquica de Processos (AHP) e agrupamento k-means. Esta abordagem se diferencia ao captar nuances mais sutis da morfologia do terreno, que influenciam diretamente nos processos naturais e no uso da terra, atribuindo pesos objetivos às variáveis consideradas.

A utilização da AHP permite a atribuição de pesos diferenciados a fatores como forma do terreno, declividade e solo, garantindo que o mapeamento reflita adequadamente a influência relativa de cada variável. Essa abordagem viabiliza a integração dessas informações, resultando em um delineamento mais preciso das categorias de UP, com a identificação de áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade e potencial de uso. Isso contribui diretamente para o planejamento ambiental e o uso sustentável do território.

Diante disso, este trabalho propõe uma metodologia alternativa para análise de paisagens em bacias hidrográficas com o objetivo de superar as limitações de abordagens tradicionais, que dependem fortemente da interpretação subjetiva e de conhecimentos técnicos especializados. Ao integrar diferentes dados espaciais em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando técnicas de AHP e agrupamento de dados espaciais, busca-se uma abordagem mais objetiva e replicável em diferentes contextos. Essa proposta contribui significativamente para a gestão sustentável dos

recursos hídricos, oferecendo uma ferramenta eficaz e adaptável para tomadores de decisão e gestores ambientais.

## 3.2 Material e métodos

Este estudo foi conduzido na área da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho (BHRV), localizado no estado de Goiás, com ênfase na caracterização das Unidades de Paisagem. A pesquisa envolveu o levantamento principalmente das formas do terreno, da declividade e dos tipos de solo, além da análise da cobertura e uso da terra, com o objetivo de fornecer subsídios para a compreensão do espaço geográfico a partir de um recorte específico.

### 3.2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho (BHRV) (Fig. 4.1) localizada na microrregião Sudoeste Goiano, abrangendo os municípios de Rio Verde e Santo Antônio da Barra, no estado de Goiás. A bacia tem uma área aproximada de 1.610 km<sup>2</sup>.

A BHRV está compreendida entre as coordenadas geográficas 17°29'53,33"S/50°31'34,73"O e 17°33'57,20"S/51°29'14,36"O, inserida no domínio dos chapadões centrais, predominantemente cobertos por formações de cerrado, cerradão e formação campestre, com remanescentes de vegetação em vales fluviais na forma de matas de galeria e matas ciliares (ALVES, 2019). O Rio Verdinho nasce em Rio Verde e é afluente do Rio Verdão, desaguando em sua margem direita no município de Santo Antônio da Barra. Seu principal afluente é o Ribeirão Boa Vista.

O município de Rio Verde – GO tem uma área territorial de 8.374,255 km<sup>2</sup> e uma população de, aproximadamente, 225.696 habitantes, conforme o Censo 2022 do IBGE. A topografia local apresenta declividade média de 5%, com altitude média de 748 m. A região tem dois períodos climáticos bem definidos: uma estação seca, que vai de maio a outubro, e uma estação chuvosa, de novembro a abril. As temperaturas variam entre 20°C e 35°C, apresentando condições favoráveis às atividades agrícolas, especialmente para soja, milho e feijão (BRAGA *et al.*, 2023; IBGE, 2022).

O município de Santo Antônio da Barra tem uma área de 450,336 km<sup>2</sup> e uma

população de, aproximadamente, 4.267 habitantes, conforme IBGE. Para atender a essa demanda, está em andamento um projeto na BHRV, especificamente no ponto  $12^{\circ}36'21,1''\text{S}$  e  $50^{\circ}41'24,2''\text{S}$  (Fig. 3.1).

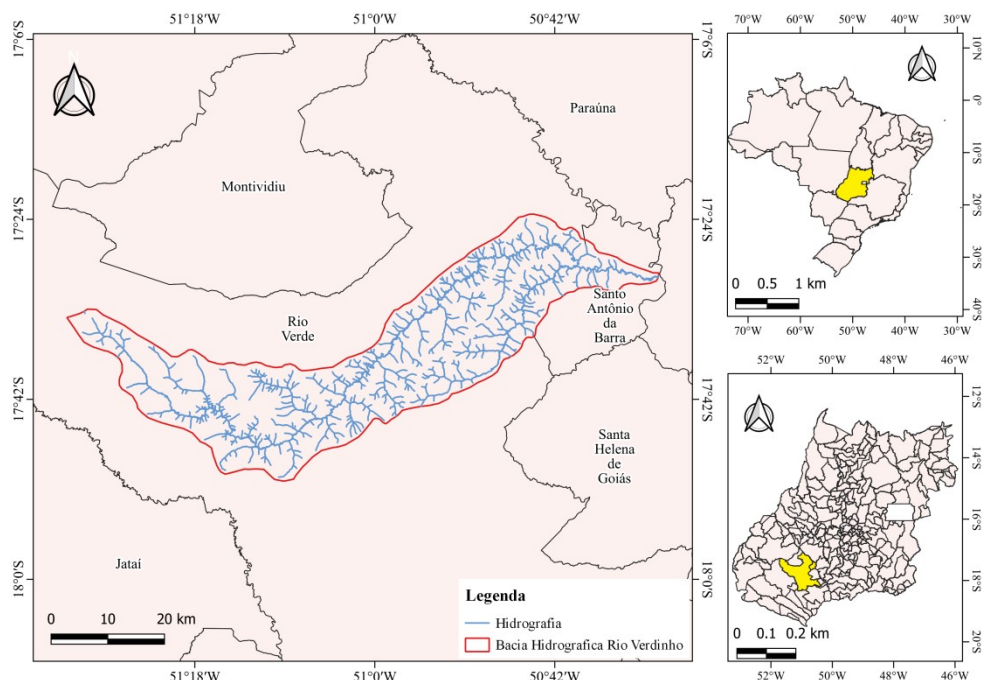


Figura 3.1 - Localização da bacia hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, Goiás, Brasil

Fonte: Elaborada pela autora (2024), tendo como base dados geográficos disponibilizados pelo Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás (SIGA) (GOIÁS/SIGA, 2022) e organizados no Sistema de Coordenadas Geográficas - Datum Sirgas (2000).

### 3.2.2 Aquisição dos dados

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados os dados de elevação, curvatura horizontal e vertical do terreno, além de informações sobre os tipos de solos. Os dados de elevação foram obtidos na plataforma TOPODATA – INPE (VALERIANO, 2008a), que disponibiliza dados refinados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esses dados têm resolução espacial de 30 metros e são derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), ajustados para minimizar erros comuns, como aqueles causados por interferências atmosféricas e limitações dos sensores de radar.

O processamento dos dados foi feito manualmente, conforme orientação do manual TOPODATA, que recomenda a aplicação de filtros específicos para suavização e correção de ruídos, bem como o uso de algoritmos de interpolação para aprimorar a precisão da representação do relevo. Esse processamento possibilitou ajuste às

características topográficas específicas da área de estudo, assegurando maior precisão do relevo e na delimitação das Unidades de Paisagem (VALERIANO, 2008a).

Os dados de curvatura horizontal e vertical do terreno, fornecidos pela plataforma TOPODATA, consistem em derivações de segunda ordem da altitude e das curvas de nível, respectivamente. As curvaturas foram classificadas em três classes por meio de reclassificação. Para a curvatura vertical, os valores variam entre -0,010 e +0,010 graus por metro. Já na curvatura horizontal, os dados apresentam variação entre -0,038 e +0,051 graus por metro (VALERIANO, 2008a).

Para o levantamento de dados sobre os solos, foram utilizados arquivos no formato SHP, obtidos no portal de dados do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG) (GOIÁS/SIEG, 2025). Esse portal disponibiliza informações georreferenciadas sobre diversas características ambientais, incluindo a distribuição e a classificação dos solos.

A organização e a elaboração dos produtos cartográficos foram feitas por meio do software QGIS, versão 3.28.15. Os mapas temáticos resultantes foram elaborados no Sistema de Coordenadas Planas: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22S. (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Bases cartográficas

| Forma Matricial                  |                |        |            |
|----------------------------------|----------------|--------|------------|
| Produto                          | Orbita/ponto   | DATUM  | Fonte      |
| Modelo Digital de Elevação (30m) | 20S435SN       | WGS 84 | TOPODATA   |
| Curvatura Horizontal             | 20S435H3       | WGS 84 | TOPODATA   |
| Curvatura Vertical               | 20S435V3       | WGS 84 | TOPODATA   |
| Forma Vetorial                   |                |        |            |
| Produto                          | Armazenamento  | DATUM  | Fonte      |
| Mapa de Solos                    | ESRI Shapefile | WGS 84 | GOIÁS/SIEG |

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

### 3.2.3 Delimitação da unidade de paisagem

A delimitação das Unidades de Paisagem proposta neste estudo foi feita pela combinação dos dados de elevação, curvatura horizontal e vertical do terreno e dados de solos, utilizando a técnica de AHP e, posteriormente, o agrupamento k-means. Os dados de elevação foram utilizados para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), enquanto as curvaturas horizontal e vertical permitiram a obtenção da forma do

terreno (FT).

A metodologia integra essas variáveis por meio de técnicas de reclassificação e álgebra de mapas. O processo é iniciado com a aquisição dos dados de elevação, curvatura horizontal, curvatura vertical e tipo de solo, que compõem a base da metodologia proposta.

A declividade do terreno foi calculada a partir do MDE, sendo, posteriormente, reclassificada. Os dados das classes de solo foram reclassificados em categorias representativas de suas características edáficas. Em seguida, a forma do terreno também foi reclassificada para identificar padrões específicos do relevo (Fig.3.2).

Para integrar as variáveis reclassificadas, incluindo forma do terreno e declividade do solo, foi aplicada a técnica de AHP. Nessa etapa, cada variável recebe um peso conforme sua importância relativa: forma do terreno (0,696), declividade (0,225) e solo (0,079).

A FT foi considerada o fator mais relevante, por refletir a estrutura geológica e geomorfológica da paisagem. Essa variável influencia o modo como a água e os sedimentos escoam e se acumulam na superfície, determinando áreas mais suscetíveis à erosão ou à deposição. Dessa forma, constitui a base física que condiciona a adequação do uso do solo e as estratégias de gestão ambiental (TUROWSKI *et al.*, 2023).

A declividade representa o grau de inclinação da superfície, afetando o potencial de erosivo do terreno. Em áreas com forte inclinação, há maior risco de processos erosivos, o que demanda técnicas de manejo conservacionista. Já em regiões com declividade suave, o risco de erosão é reduzido, favorecendo práticas como a mecanização agrícola (MACÁK *et al.*, 2023).

Apesar de ter menor peso na análise, o solo desempenha papel essencial, pois influencia a capacidade de retenção de água, a fertilidade natural e a resposta ao manejo agrícola. Características como textura e composição condicionam o escoamento superficial e a infiltração, sendo determinantes para atividades como cultivo, reflorestamento e conservação da vegetação nativa (TABOADA *et al.*, 2021).

Essa ponderação balanceada, feita por meio da AHP, permite que os fatores interajam de forma a representar a paisagem. Em conjunto, essas variáveis auxiliam na identificação de áreas com diferentes aptidões e necessidades de manejo, além de indicar onde a intervenção humana pode ser mais ou menos sustentável.

A combinação das camadas reclassificadas foi feita utilizando álgebra de

mapas, aplicandoos pesos estabelecidos pela AHP. Essa abordagem possibilitou a sobreposição e a integração das diferentes informações geoespaciais, resultando em um produto que considera de forma conjunta todas as variáveis analisadas, incluindo forma do terreno, declividade e tipos de solo.

Após gerar o dado raster da aplicação da AHP, foi aplicada a técnica de agrupamento *K-means* (não supervisionado), com o objetivo identificar padrões e distribuições espaciais com características semelhantes. Como resultado, a aplicação do K-means gerou cinco classes distintas.

O produto final desse processo é um mapa detalhado das Unidades de Paisagem da área de estudo, identificando zonas homogêneas quanto às características topográficas, edáficas e de declividade. Esse mapa representa uma base valiosa para o planejamento e a gestão ambiental, permitindo uma visão holística e precisa das dinâmicas naturais da região (Fig. 3.2).

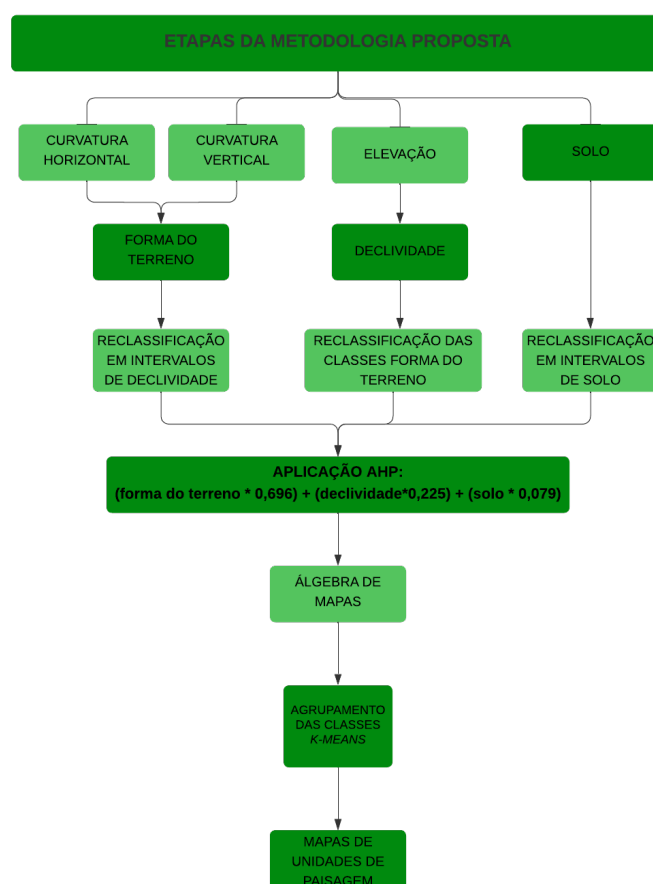


Figura3.2- Etapas da metodologia proposta, associada à forma do terreno, elevação e solo  
Fonte: A autora(2024).

### 3.2.4 Processamento dos dados de elevação

Tendo como base os dados de elevação, foi calculada a declividade do terreno, expressa em porcentagem. O cálculo de declividade foi feito utilizando a ferramenta Gdal, disponível no plugin "*Raster Terrain Analysis*", no software QGis. Posteriormente, os dados de declividade foram reclassificados em cinco classes (Tabela 3.1) seguindo a metodologia proposta por Costa, A. *et al.* (2017a).

Tabela 3.1 - Classes de Declividade e pesos PUC (COSTA, A. *et al.* 2017a)

| Declividade (%) | Fases de relevo                   | Peso PUC |
|-----------------|-----------------------------------|----------|
| 0 a 3           | Plano                             | 5        |
| 3 a 8           | Suave Ondulado                    | 4        |
| 8 a 20          | Moderadamente Ondulado a Ondulado | 3        |
| 20 a 45         | Forte Ondulado                    | 2        |
| > 45            | Montanhoso a Escarpado            | 1        |

Fonte: Costa, A. *et al.* (2017a).

### 3.2.5 Processamento dos dados da curvatura do terreno

Os dados de curvatura horizontal (CH) e vertical (CV) foram utilizados para calcular a forma do terreno (FT)[Equação (1)]. A aplicação dessa equação resultou na classificação do relevo em nove classes distintas da forma de terreno (Fig. 3.3) (VALERIANO, 2008a).

$$FT = (CV \times 10) + CH \quad (1)$$

A CH representa as formas convergentes, planares e divergentes em relação ao contorno do terreno, enquanto a CV expressa as formas côncavas, retilíneas e convexas. Embora distintas conceitualmente, ambas fornecem informações morfométricas equivalentes e complementares sobre a superfície terrestre (EVANS, 1998).

É possível reagrupar as classes de CH e CV em razão da sua similaridade, compondo formas integradas do relevo, como côncavo-convergente – caracterizada por máxima concentração e acúmulo de escoamento – e convexo-divergente – associada à máxima dispersão do escoamento superficial. Essas formas (Fig. 3.3) representam os extremos nas formas de modificação de curvatura do relevo, sendo fundamentais para a compreensão dos processos hidrológicos e geomorfológicos (VALERIANO, 2008a).

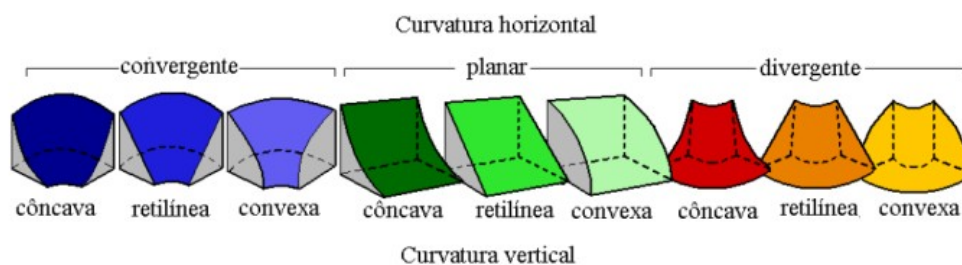


Figura 3.3 - Representação das Formas do Terreno

Fonte: Valeriano(2008a).

Posteriormente, os dados de FT (Fig.3.3) foram reclassificados em nove classes (Tabela 3.2). A reclassificação considerou uma escala de valores entre 0,6 e 5, sendo que os valores mais próximos de 0,6 indicam maior vulnerabilidade a processos erosivos, associados principalmente às formas do terreno côncavo–convergentes. Essa atribuição de pesos foi adaptada com base no trabalho de Carvalho *et al.* (2019), visando a refletir o potencial de acúmulo de água e sedimentos em diferentes formas do relevo.

Tabela 3.2–Valor de Vulnerabilidade para Forma do Terreno

| CURVATURA HORIZONTAL | CURVATURA VERTICAL | FORMA DO TERRENO      | VALOR NUMÉRICO | PESOS |
|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------|-------|
| CONVERGENTE          | Côncavo            | Côncavo-Convergente   | 11             | 0,6   |
|                      | Retilíneo          | Retilíneo-Convergente | 12             | 1,15  |
|                      | Convexo            | Convexo-Convergente   | 13             | 1,7   |
| PLANAR               | Côncavo            | Côncavo - Planar      | 21             | 2,25  |
|                      | Retilíneo          | Retilíneo-Planar      | 22             | 2,8   |
|                      | Convexo            | Convexo-Planar        | 23             | 3,35  |
| DIVERGENTE           | Côncavo            | Côncavo-Divergente    | 31             | 3,9   |
|                      | Retilíneo          | Retilíneo-Divergente  | 32             | 4,45  |
|                      | Convexo            | Convexo-Divergente    | 33             | 5,0   |

Fonte: Adaptado de Silva Neto (2013).

#### 4.2.6 Processamento dos dados de solo

Os dados referentes às classes de solos foram reclassificados com valores entre 1 e 5, com base em critérios como textura, drenagem, profundidade efetiva, fertilidade e, principalmente, nas características que favorecem a infiltração e a percolação da água – fatores que receberam maior peso no presente estudo (COSTA, A.*et al.*, 2017a). Foram identificadas cinco classes de solo na área de estudo (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Pesos atribuídos ao fator Solo

| Solo | Pesos |
|------|-------|
|------|-------|

|            |     |
|------------|-----|
| Argissolo  | 4,0 |
| Cambissolo | 2,6 |
| Gleissolo  | 2,0 |
| Latossolo  | 4,7 |
| Neossolo   | 1,2 |

Fonte: Costa, A.*et al.* (2017a).

#### 4.2.7 Aplicação da análise de processo hierárquico (AHP)

Inicialmente, foram definidas as ordens de importância dos parâmetros dentro do modelo, incluindo forma do terreno com maior relevância, declividade de relevância intermediária e solo de menor relevância. Posteriormente, foi construída a matriz de comparação pareada, na qual foram inseridos os valores de importância relativa (Tabela 3.4), conforme metodologia de Saaty e Sodenkamp (2010) e Coelho (2017).

Tabela 3.4 - Matriz de comparação pareada com critérios globais e pesos

|                  | FORMA DO TERRENO | DECLIVIDADE | SOLO |
|------------------|------------------|-------------|------|
| FORMA DO TERRENO | 1,00             | 5,00        | 7,00 |
| DECLIVIDADE      | 0,20             | 1,00        | 3,00 |
| SOLO             | 0,14             | 0,33        | 1,00 |

Fonte: Autora(2024).

Após o preenchimento da matriz de comparação pareada, foi feita a estimativa dos pesos (*autovalores*). Esse processo foi executado nas seguintes etapas: (a) soma dos valores de cada linha da matriz de comparação pareada; (b) cálculo da média das somas das linhas da matriz; e (c) divisão das somas das linhas pela média obtida.

Para verificação da consistência do modelo (valores e pesos), foi aplicada a Razão de consistência (RC) [Equação (2)].

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

em que:

IC é o Índice de Consistência; e

IR é o Índice Randômico, extraído da Equação (2) em que, para dimensão,  $IR = 0,58$ .

O Índice de Consistência (IC) é calculado pela Equação (3).

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (3)$$

em que:

$\lambda_{max}$  é o auto vetor máximo; e

$n$  é o número de dimensões (parâmetros) da matriz, sendo, neste caso,  $n = 3$ .

O autovalor máximo  $\lambda_{max}$  é determinado pela Equação (4)

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{W_i} \quad (4)$$

em que:

$[Aw]_i$  é a matriz resultante da multiplicação entre a matriz comparação pareada e a matriz de pesos.

O valor recomendado da RC deve ser inferior a 10%. Caso esse limite seja ultrapassado, pode haver inconsistências nos julgamentos realizados. Nessa situação, são recomendadas uma revisão e uma reestruturação da matriz de comparação pareada para adequar a RC (SAATY, 1980).

### 3.2.8 Caracterização das unidades de paisagem

As unidades de paisagem resultantes foram analisadas quanto às suas convexidades, considerando os seguintes parâmetros: forma do terreno, declividade, solos e potenciais de uso humano, com base em fatores como aptidão agrícola e vulnerabilidade à erosão. Após a aplicação do julgamento da matriz, foram obtidos os pesos para cada critério (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Pesos da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada

| CRITÉRIOS     | PESOS |
|---------------|-------|
| FORMA TERRENO | 0,696 |
| DECLIVIDADE   | 0,225 |
| SOLO          | 0,079 |

Fonte: Autora (2024).

Para o mapeamento das UPs, as variáveis adotadas foram comparadas em uma matriz par a par de ordem 3, seguindo a metodologia AHP. Foram obtidos pesos variando de 0,00 a 1,00, ponderando a influência de cada condicionante na ocorrência dos eventos analisados (Tabela 3.5). Como resultando, estabeleceu-se a Equação (5) para a caracterização das unidades de paisagem na sub-bacia (Tabela 3.6).

$$Unidade = (FT * 0,696) + (Declividade * 0,225) + (Solo * 0,079) \quad (5)$$

Tabela 3.6 - Fator ambiental e respectivos valores de ponderação para álgebra Unidade (continua...)

| Fator Ambiental  | Valor ponderado | Explicação                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forma do Terreno | 0,696           | O valor de aproximadamente 70% indica um padrão de concentração ou dispersão do escoamento, acúmulo de fluxo superficial, vulnerabilidade a processos erosivos e capacidade de transporte e remoção das partículas do solo. |

Tabela 3.6 - Fator ambiental e respectivos valores de ponderação para álgebra Unidade (conclusão)

|             |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Declividade | 0, 225 | O valor de aproximadamente 22% está associado a este fator, o qual mantém relação direta com processos de dinâmica de escoamento superficial, desenvolvimento de processos erosivos e ocorrência de escorregamento de massa, constituindo um parâmetro essencial para análises ambientais. |
| Solo        | 0, 079 | O valor de aproximadamente 8% está relacionado a duas características: a capacidade de aptidão agrícola e a resistência aos processos erosivos.                                                                                                                                            |

Fonte: Autora(2024).

Posteriormente à aplicação da Equação (5), foi feito o agrupamento por meio do algoritmo de agrupamento *k-means* (não supervisionado) no QGIS, sendo esse o agrupamento baseado no centróide da feição. Esse processo organiza os dados em grupos (clusters) com características semelhantes, utilizando a proximidade espacial e/ou a semelhança entre variáveis (FOLINI; LENZI; BIRAGHI, 2022).

Por fim, foram feitas a vetorização do raster e a delimitação das áreas de cada unidade, evidenciando sua distribuição espacial, o que forneceu uma visão estruturada e objetiva das áreas, facilitando a interpretação e a aplicação dos resultados para a gestão territorial.

### 3.2.9 Potencial de Uso Conservacionista

De acordo com Costa, A. *et al.* (2017b, 2019), para sanar as questões referentes à subjetividade nas interpretações, foi proposta uma metodologia alternativa denominada Potencial de Uso Conservacionista. Essa metodologia envolve a ponderação dos valores atribuídos às diferentes classes de solo, de litologia e de declividade, sendo os valores aplicados apenas a bacias mineiras, o que permite indicar o potencial de uso de uma área.

As variáveis analisadas nesta etapa compreendem planos temáticos de informação geográfica. As variáveis solo e litologia são apresentadas no formato *shapefile*, enquanto a variável declividade é disponibilizada no formato matricial (raster de declividade), por meio de um software de geoprocessamento (COSTA, A. *et al.*, 2022).

O método PUC é aplicado de forma sequencial, ou seja, há etapas que devem ser seguidas (Fig.3.4).

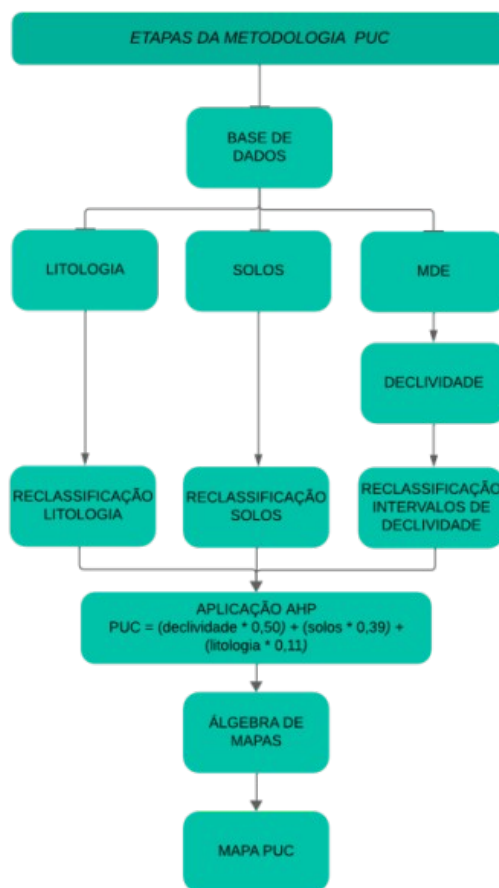


Figura 3.4 - Fluxograma: Etapas da metodologia PUC (COSTA, A. *et al.* 2019)  
 Fonte: Martins (2022), tendo comobaseMinas Gerais/SEMAD/SEAPA (2016,2020a).

De acordo com Costa, A.*et al.* (2019), as classes de primeiro nível das variáveis seguem princípios específicos de ponderação. Para a variável declividade, os pesos são definidos com base no grau de inclinação do relevo: as áreas mais planas recebem os maiores valores, enquanto os relevos mais acidentados recebem os menores.

A variável litologia está diretamente relacionada ao potencial de fornecimento de nutrientes e à suscetibilidade à erosão. Rochas com maior facilidade de erosão geralmente apresentam um conjunto mais significativo de nutrientes, o que pode resultar em um maior potencial agrícola.

Já a variável solo é ponderada com base em atributos como drenagem, textura, profundidade efetiva e fertilidade. Nessa análise, os maiores pesos estão associados a solos com drenagem equilibrada, textura mais argilosa, maior profundidade e elevada fertilidade. Em contrapartida, os menores valores são atribuídos a solos mais rasos e menos férteis.

### 3.3 Resultados e discussões

### 3.3.1 Análise dos parâmetros geomorfológicos e edáficos

Tendo como referência a metodologia aplicada, foi possível identificar cada unidade com suas principais características, incluindo declividade, relevo, tipos de solos predominantes, forma do terreno, características de uso da terra e vulnerabilidade.

Os resultados da reclassificação dos fatores geomorfológicos e edáficos (declividade, forma do terreno e solos) na Bacia do Rio Verdinho apresentaram informações relevantes acerca da atribuição de cada fator analisado (Fig.3.5).

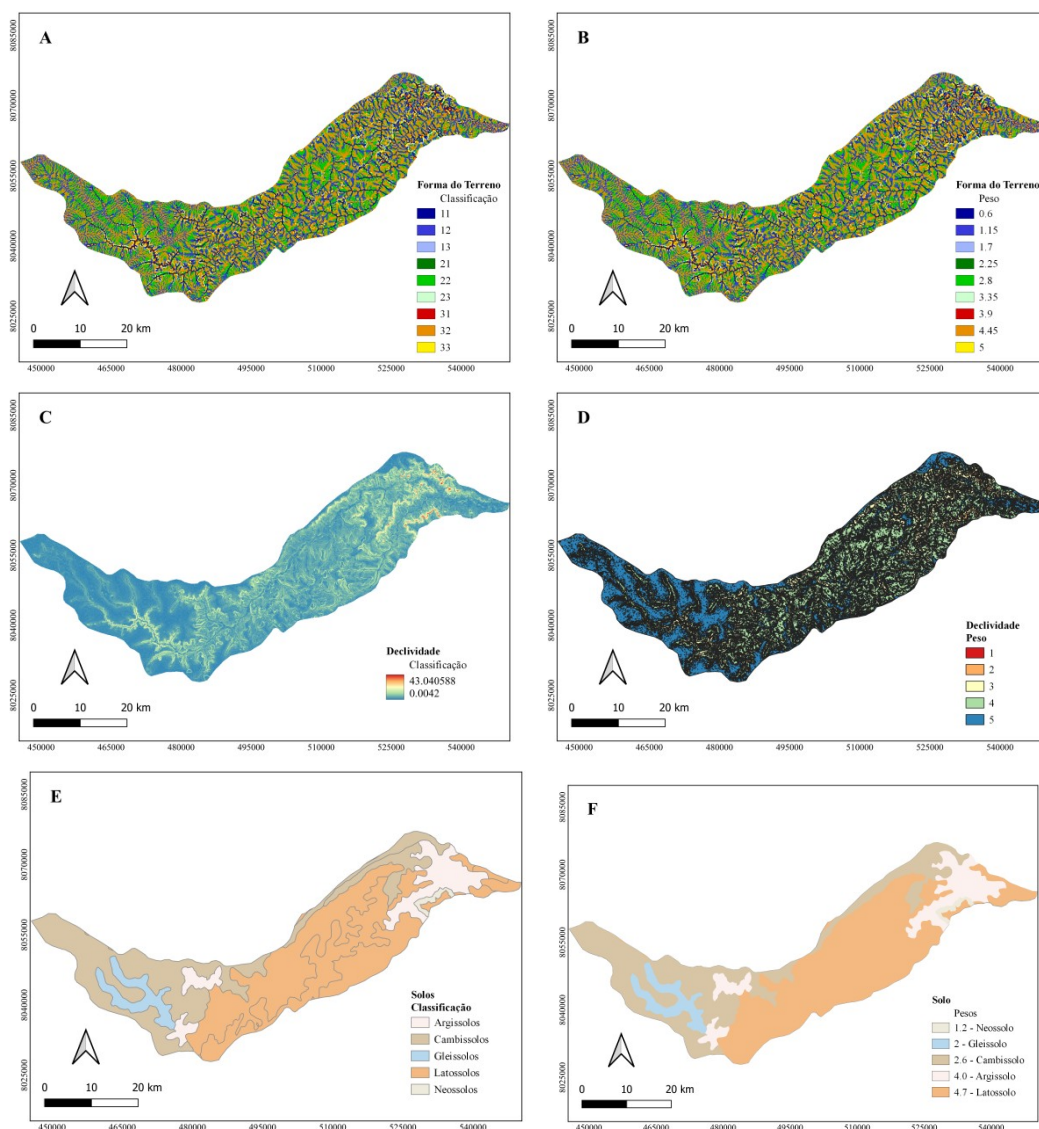


Figura 3.5- Classes dos fatores ambientais e suas classificações, em que a e b são formas do terreno e sua reclassificação, c e d são a declividade e sua reclassificação e “e” e “f” são a classe de solos e reclassificação

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o fator declividade, a classe suavemente ondulada (3% a 8%) foi a mais

predominante, com 48,39% da área total da BHRV. Por outro lado, a classe com declividade superior a 45% corresponde às áreas montanhosas a escarpadas e apresentou a menor extensão, representando apenas 0,01% da área da BHRV (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Classes dos fatores ambientais e suas classificações para BHRV, Goiás, Brasil

| Declividade (%) | Fases do Relevo        | Pesos | Área (ha)  | %      |
|-----------------|------------------------|-------|------------|--------|
| 0 a 3           | Plano                  | 5     | 56.228,029 | 34,60% |
| 3 a 8           | Suave Ondulado         | 4     | 78.629,292 | 48,39% |
| 8 a 20          | Moderamente Ondulado   | 3     | 25.829,728 | 15,90% |
| 20 a 45         | Forte Ondulado         | 2     | 1.802,3869 | 1,11%  |
| > 45            | Montanhoso a Escarpado | 1     | 10,4314    | 0,01%  |

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Na BHRV, a classe de forma do terreno (FT) de maior abrangência foi a Divergente-Retilíneo (4,45), caracterizada pelo predomínio da dispersão dos fluxos de escoamento, baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo, ocorrendo em 34,28% da área da BHRV. A classe de FT de menor abrangência foi a Convergente-Convexo (1,70), que apresenta maior acúmulo e concentração de escoamento superficial, correspondendo a 0,81% da BHRV (Tabela 3.7).

A classificação baseada na forma do terreno (curvatura horizontal e vertical) indicou diferentes comportamentos do escoamento superficial e a capacidade do terreno de reter ou dispersar água, influenciando diretamente o risco de erosão (VALERIANO, 2008b). As três classes mais representativas -convergente-retilíneo, planar-retilíneo e divergente-retilíneo -correspondem à maior parte da BHRV.

Considerando a ponderação da suscetibilidade à perda de solo como indicativo da vulnerabilidade aos processos erosivos, adotou-se uma escala de valores variando de 5,0 a 0,6 para a classificação das diferentes classes de vertentes. Nessa escala, o valor 5,0 corresponde às classes com alta vulnerabilidade à erosão, enquanto valores próximos de 0,6 indicam áreas menos suscetíveis a tais processos. Essa abordagem foi utilizada por Carvalho *et al.* (2019), porém com valores variando entre 1,0 e 0. Essa metodologia permite correlacionar os graus de vulnerabilidade com a distribuição percentual das classes de feições geomorfológicas, possibilitando a identificação de áreas prioritárias para o manejo e conservação do solo (Tabela 3.8).

Tabela 3.8—Distribuição dos valores da forma do terreno calculados para a BHRV, Goiás, Brasil

| Curvatura Horizontal | Curvatura Vertical | Forma do Terreno      | Pesos | Porcentagem individual | Somatório | Vulnerabilidade (erosão) |
|----------------------|--------------------|-----------------------|-------|------------------------|-----------|--------------------------|
| Convergente          | Côncavo            | Convergente-Côncavo   | 0,60  | 5,89%                  | 30,41%    | ALTA                     |
|                      | Retilíneo          | Convergente-Retilíneo | 1,15  | 24,12%                 |           |                          |
|                      | Convexo            | Convergente-Convexo   | 1,70  | 0,81%                  |           |                          |
| Planar               | Côncavo            | Planar- Côncavo       | 2,25  | 1,75%                  | 29,74%    | MODERADA                 |
|                      | Retilíneo          | Planar- Retilíneo     | 2,80  | 26,69%                 |           |                          |
|                      | Convexo            | Planar- Convexo       | 3,35  | 1,21%                  |           |                          |
| Divergente           | Côncavo            | Divergente-Côncavo    | 3,90  | 1,64%                  | 39,85%    | BAIXA                    |
|                      | Retilíneo          | Divergente-Retilíneo  | 4,45  | 34,28%                 |           |                          |
|                      | Convexo            | Divergente-Convexo    | 5,00  | 3,71%                  |           |                          |

Fonte: Autora (2024)

Em relação ao solo, foram identificadas cinco diferentes classes, sendo os Latossolos as classes de maior abrangência, correspondendo a 49,93% da área total. Esses solos apresentam boas condições físicas, profundidade, estrutura e drenagem (UFV, 2010). O Neossolo foi o solo de menor abrangência, com 0,85%. Essa classe ocorre, em geral, em áreas mais declivosas e apresenta fortes limitações para atividade agrícolas, exigindo abordagens cuidadosas e conservacionistas para minimizar os impactos ambientais e preservar a funcionalidade do solo, uma vez que se trata de solos rasos e altamente suscetíveis à erosão (SANZONOWICZ, 2021) (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 - Pesos atribuídos ao fator de Solos para BHRV, Goiás, Brasil

| Solo       | Pesos | Área (ha)   | %      |
|------------|-------|-------------|--------|
| Argissolo  | 4,0   | 17.993,4694 | 11,16% |
| Cambissolo | 2,6   | 53.359,495  | 33,11% |
| Gleissolos | 2,0   | 7.972,4054  | 4,95%  |
| Latossolo  | 4,7   | 80.475,9564 | 49,93% |
| Neossolo   | 1,2   | 1.364,134   | 0,85%  |

Fonte: Costa, A. et al. (2017a).

Na BHRV, Os Latossolos apresentam características físico-morfológicas que os tornam amplamente aptos ao uso agrícola, sendo utilizados com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. De modo geral, eles ocorrem em áreas com relevo plano a suave-ondulado, com declividade inferior a 7%, condição que favorece a mecanização das atividades agropecuárias. São solos profundos, porosos, bem drenados e altamente permeáveis, mesmo em condições de elevada argilosidade, além de apresentarem estrutura friável e facilidade de preparo. Essas propriedades conferem elevado potencial produtivo, especialmente em regiões com boa disponibilidade hídrica, e adequada correção e manejo da fertilidade. No entanto, apesar de seu expressivo valor para o uso agrícola, é fundamental que parte dessas áreas seja preservada com cobertura

vegetal nativa, a fim de garantir a conservação da biodiversidade, a manutenção dos serviços ecossistêmicos e o equilíbrio ambiental das paisagens em que esses solos ocorrem (SANTOS, H.; ZARONI, 2021a; SOUSA, D.; LOBATO, 2021).

Os Cambissolos (33,11%) são solos de formação mais recente, caracterizados por um horizonte B incipiente e variabilidade em sua fertilidade natural. Sua profundidade limitada reduz a capacidade de armazenamento de água e nutrientes, o que impõe restrições ao uso agrícola, especialmente em cultivos exigentes ou em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Em áreas planas, os Cambissolos mais profundos e férteis podem ser utilizados com maior segurança, desde que manejados com correção da acidez, controle do alumínio e adubação adequada. Já em relevo mais acentuado, a suscetibilidade à erosão exige a adoção de práticas conservacionistas para evitar a degradação do solo e garantir sua sustentabilidade produtiva (SANTOS, H.; ZARONI, 2021d). Essa classe é especialmente indicada para a preservação da mata ciliar e de galeria, sendo, portanto, de grande importância para a ecologia de paisagem.

Os Argissolos são solos ácidos com horizonte B textural, que acumula argila em profundidade, caracterizados por baixa fertilidade natural e, em alguns casos, altos teores de alumínio. Sua textura média causa diferenças na infiltração entre os horizontes, tornando-os mais suscetíveis à erosão, especialmente porque ocorrem predominantemente em paisagens de relevo acidentado e dissecado, com superfícies menos suaves. Embora menos férteis que os Latossolos, esses solos exigem manejo adequado, incluindo correção da acidez e práticas conservacionistas, para garantir o uso agrícola sustentável (SANTOS, H.; ZARONI, 2021c).

Os Gleissolos (4,95%) ocorrem próximo aos cursos hídricos. Os Gleissolos são solos hidromórficos, saturados por água por longos períodos, com forte gleização, o que gera cores acinzentadas ou azuladas em razão da redução do ferro. Eles são formados em áreas próximas a cursos d'água, terrenos planos e depressões, geralmente sob vegetação hidrófila. Apresentam baixa fertilidade natural, acidez elevada e possíveis teores tóxicos de alumínio, sódio e enxofre, o que limita seu uso agrícola. O manejo exige drenagem adequada, correção da acidez e adubação específica para mitigar essas restrições (SANTOS, H.; ZARONI, 2021b).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos, caracterizados pela ausência de horizonte diagnóstico e predominância de atributos herdados do material de origem. Podem ocorrer em diversos ambientes, desde áreas planas até terrenos montanhosos, com variação de textura e fertilidade. Nas áreas planas e mais profundas, especialmente

os eutróficos, podem ter uso agrícola mediante correções químicas. Já em encostas, apresentam alta suscetibilidade à erosão, exigindo práticas conservacionistas e limitações à mecanização. Destacam-se por sua baixa retenção de umidade quando arenosos, o que restringe seu uso (SANTOS, H.; ZARONI, 2021c).

### 3.3.2 Distribuição espacial das unidades de paisagens na BHRV

A Unidade de Paisagem 5 foi a classe de maior ocorrência na BHRV, representando 28,13% do total. Essa predominância se deve, principalmente, às suas características de declividade suave ondulado (entre 3% e 8%) e à presença de Latossolos, que são solos geralmente ácidos e de baixa fertilidade natural, porém comuns em áreas de cultivo extensivo. Na UP 5, a forma do terreno predominante é retilíneo-planar, o que favorece a mecanização e o cultivo em grandes extensões (Fig.3.6).

A unidade que apresentou a menor área foi a Unidade de Paisagem 2, com 11,33% da área total (Tabela 3.10). Essa UP apresenta características de declividade que variam de plano (0% – 3%) a suave ondulado (3% a 8%). O solo predominante é o Latossolo, com baixa fertilidade natural e suscetibilidade à erosão. A forma do terreno é retilíneo-convergente, o que implica a convergência de fluxos hídricos, favorecendo o acúmulo de água, aumentando o risco de processos erosivos (Fig.3.6).

Tabela 3.10 - Unidades de paisagem proposta para BHRV, Goiás, Brasil

| UNIDADES DE PAISAGEM | ÁREA (ha)   | %      |
|----------------------|-------------|--------|
| 1                    | 3.4015,635  | 21,48% |
| 2                    | 17.946,5566 | 11,33% |
| 3                    | 4.0178,8689 | 25,37% |
| 4                    | 2.1687,7399 | 13,69% |
| 5                    | 4.4561,2968 | 28,13% |

Fonte: Autora(2024).

As classificações das UP evidenciam uma distribuição espacial heterogênea, refletindo diferentes graus de vulnerabilidade e potencial de uso. Essas informações são cruciais para a formulação de estratégias de planejamento e gestão ambiental na BHRV, orientando ações voltadas à conservação dos recursos naturais e ao uso sustentável do solo (Fig.3.6).

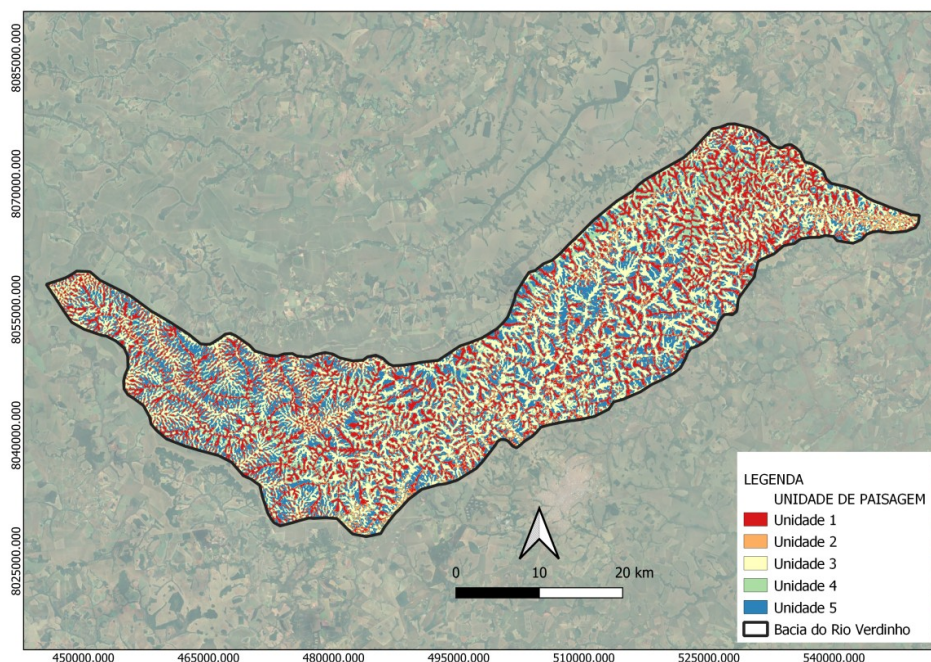


Figura 3.6- Proposta de unidade de paisagem da bacia do Rio Verdinho, GO, Brasil  
Fonte: Autora (2024).

### 3.3.3 Caracterização das unidades de paisagem em campo

#### 3.3.3.1 Unidade de paisagem 1 - vale fechado com vertente coletora

A Unidade de Paisagem 1 ocupa 21,48% da BHRV, sendo caracterizada por vales fechados e drenagem superficial com elevado gradiente de canal. O fluxo de água nessas áreas é convergente, marcando o início da canalização da rede de drenagem, com a vertente coletora definindo o direcionamento do escoamento (Fig.3.8 e 3.9).

Os solos predominantes nessa unidade são Latossolos e Cambissolos, cada um com características e exigências específicas em relação ao uso agrícola. Os Latossolos destacam-se por serem profundos, porosos, bem drenados e altamente permeáveis, com textura variando de argilosa a média. Normalmente ocorrem em relevo plano a suavemente ondulado, com declividade inferior a 7%, o que favorece a mecanização. Apesar da baixa fertilidade natural, apresentam alto potencial para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento, desde que sejam feitas correções relacionadas à acidez, saturação por alumínio e reposição de nutrientes (SOUSA, D., 2021).

Já os Cambissolos, menos desenvolvidos, apresentam horizonte B incipiente, profundidade limitada e fertilidade variável. Em áreas planas, os Cambissolos mais profundos, com maior fertilidade natural e baixa atividade da argila, têm potencial

agrícola. Contudo, em relevo mais declivoso, os Cambissolos rasos enfrentam limitações severas, principalmente quanto à mecanização e à alta suscetibilidade à erosão. O manejo desses solos deve incluir a correção da acidez e do alumínio, além da adubação conforme a exigência da cultura. Em áreas de encosta, práticas conservacionistas são indispensáveis para reduzir os riscos de perdas por erosão e garantir a sustentabilidade do uso agrícola (ZARONI; SANTOS, H., 2021).

A declividade dessas áreas é geralmente inferior a 8%, com um plano de curvatura da vertente convergente. Essa conformação proporciona certa estabilidade para a adoção de práticas de conservação e gestão hídrica. No entanto, a convergência do escoamento superficial nas vertentes coletoras (Fig. 3.7 e 3.8) aumenta a suscetibilidade à erosão, o que demanda atenção especial no manejo do solo para evitar processos degradativos (GOMES, 2017).

Dada a sua relevância ecológica, as áreas de vale devem ser consideradas de preservação permanente, com foco na proteção de nascentes e na conservação ambiental, visando à manutenção da qualidade da água e do equilíbrio ecológico. A conservação da paisagem e o manejo adequado do solo nessas áreas são fundamentais para garantir a regularidade do lençol freático e a integridade dos recursos hídricos (SILVA, M. *et al.*, 2024).

Dessa forma, é essencial adotar práticas de manejo sustentável nessas áreas, como a manutenção da cobertura vegetal, o controle do uso do solo e a implementação de técnicas conservacionistas que reduzam a erosão e promovam a infiltração de água. Tais medidas são imprescindíveis para assegurar a preservação dos recursos hídricos e mitigar a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica.

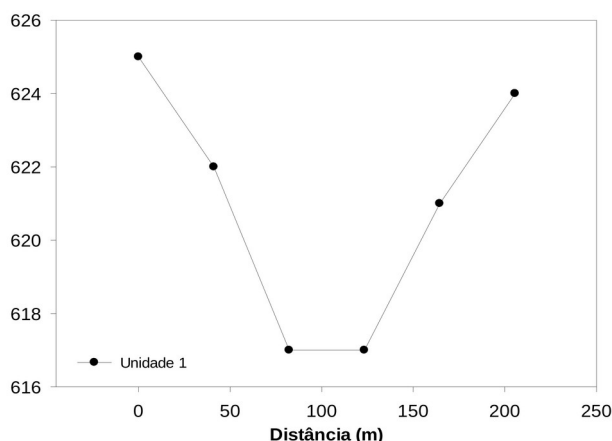


Figura 3.7 - Perfil Altimétrico da Unidade 1 para BHRV, Goiás, Brasil  
Fonte: Autora(2024).



Figura 3.8 - Unidade 1

Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

### *3.3.1.2 Unidade de Paisagem 2- Faixa de Amortecimento da Planície de Convergência do Vale Fechado*

A Unidade de Paisagem 2 ocupa 11,33% da BHRV e se caracteriza como uma faixa que atua como zona de amortecimento da área de vale fechado, situado na base da região convergente, em uma posição predominantemente horizontal (Fig.3.10). Essa unidade é composta majoritariamente por Latossolos, que são solos profundos, bem drenados e altamente permeáveis, comuns em relevo suave. Apresentam baixa fertilidade natural e acidez, que precisam ser corrigidas para uso agrícola. O manejo conservacionista, com cobertura do solo e plantio direto, é fundamental para conservar sua qualidade, especialmente em cultivos intensivos e irrigados (SOUSA, D., 2021).

O relevo é plano a suave ondulado (Fig.3.9) (perfil altimétrico), proporcionando estabilidade para a implementação de práticas agrícolas, considerando que essa configuração também apresenta elevada suscetibilidade à erosão, exigindo cuidados específicos em relação ao manejo do solo. Os solos, em razão das suas características de boa drenagem e alta permeabilidade, oferecem condições favoráveis à atividade agrícola, tanto pela facilidade de manejo quanto pelo suporte natural ao escoamento de água. Por serem áreas de contorno de Áreas de Preservação Permanente (APP), seu uso deve ser cuidadosamente planejado, respeitando as limitações legais e ambientais impostas para evitar impactos negativos sobre os ecossistemas protegidos.

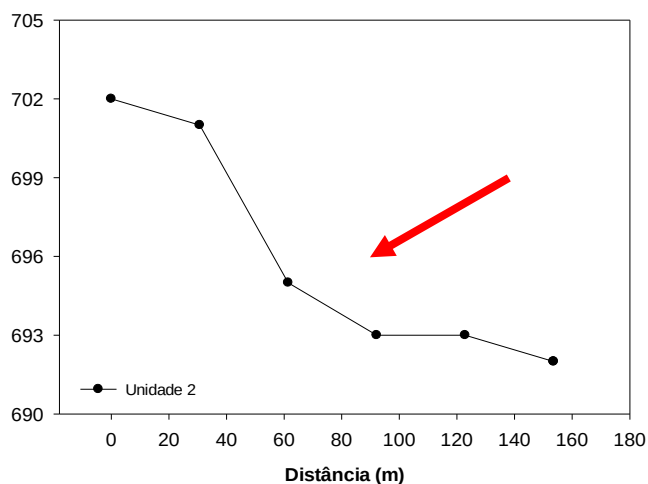


Figura 3.9 - Perfil Altimétrico da Unidade 2 para BHRV, Goiás, Brasil  
Fonte: Autora(2024).



Figura 3.10 - Unidade 2  
Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

### 3.3.1.3 Unidade de paisagem 3 – planície de topo

Essa Unidade de Paisagem ocupa 25,37% da BHRV, apresentando os topos de morros da região, compreendendo áreas predominantemente planas eonduladas. Nessas áreas, o Latossoloé umtipo de solo caracterizado por sua profundidade e boa drenagem, típicodeas regiões tropicais.

Essa unidade temrelevo plano a suavemente plano, o que contribui para uma baixa suscetibilidade à erosão, tornando-a estável e menos propensa a processos erosivos, mesmo sob uso agrícola (Fig. 3.11 e 3.12). Essas características conferem à planície de topo uma grande abrangência para a agricultura mecanizada, facilitando o uso de máquinas agrícolas,permitindo cultivos em larga escala com menor risco de manipulação ambiental. Ou seja, configura-se uma área com elevado potencial agrícola e baixa fragilidade ambiental, especialmente frente a terrenos mais inclinados e

suscetíveis à erosão. Estudos demonstram que, mesmo após décadas de uso agrícola intensivo, sistemas de manejo conservacionistas adotados em áreas com relevo plano — como o plantio direto — são capazes de manter ou até aumentar os estoques de carbono no solo, contribuindo para a estabilidade estrutural e a redução da degradação (THOMAZ; KURASZ, 2023). A unidade é propícia à agricultura ou à pastagem.

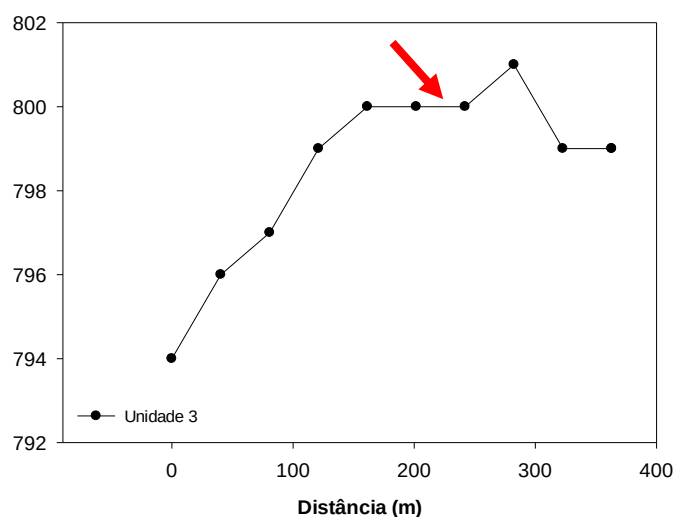


Figura 3.11 - Perfil altimétrico da Unidade 3 para BHRV, Goiás, Brasil  
Fonte: Autora(2024).



Figura 3.12 - Unidade 3  
Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

#### 3.3.1.4 Unidade de paisagem 4 – ondulado de meia encosta

A área ocupa 13.69% e apresenta uma uniformidade de relevo que possibilita uma distribuição uniforme do escoamento das águas. Está localizada em área de meia encosta, caracterizada por um relevo suave a moderadamente inclinado, o que favorece um fluxo de água mais estável e limita a ocorrência de erosão em áreas menos perigosas

(Fig.3.13e 3.14).Os solos predominantes são os Latossolos e Cambissolos,comuns em regiões de relevo suave a moderadamente ondulado.

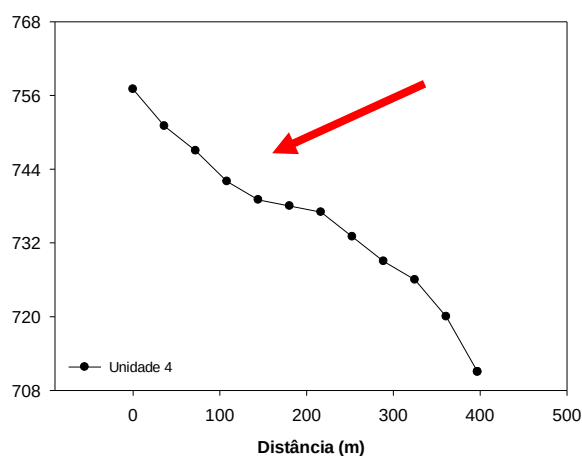


Figura 3.13 - Perfil altimétrico Unidade 4 para BHRV, Goiás, Brasil  
Fonte: Autora (2024).



Figura 3.14 - Unidade 4  
Fonte: Pesquisa de Campo (out 2024).

### 3.3.1.5 Unidade de Paisagem 5 – Planície Ondulada

A paisagem ocupa 28,13% e apresenta relevo predominantemente suave ondulado a plano, com declividade inferior a 3%, e um terreno com características retilíneas e planas, resultando em um terreno que se estende de maneira uniforme, não havendo curvas acentuadas, dificultando o escoamento da água da chuva (Fig.3.15e3.16).

Latossolos e Cambissolos são solos com ampla ocorrência no território brasileiro, cada um com características específicas que influenciam seu uso agrícola. Os Latossolos destacam-se pela profundidade, boa drenagem e alta permeabilidade, sendo indicados para diversas culturas após correções de acidez e nutrientes. Já os

Cambissolos, menos evoluídos e com menor profundidade, apresentam limitações em relação à retenção de água e à estabilidade em áreas inclinadas, exigindo maior atenção ao manejo. Ambos requerem práticas conservacionistas para manter a produtividade e prevenir processos erosivos, especialmente em regiões com relevo acidentado ou de uso intensivo do solo (SANTOS, H.; ZARONI, 2021a, 2021d).

A potencialidade desta unidade é elevada para práticas agrícolas mecanizadas, pois o relevo suave a plano facilita a utilização de máquinas agrícolas de grande porte, o que permite uma produção em larga escala.

No entanto, essa área tem moderada suscetibilidade à erosão, especialmente onde os solos são expostos ou manejados sem práticas conservacionistas. Embora a erosão não seja extremamente severa, o uso inadequado do solo e o desmatamento podem agravar esse processo ao longo do tempo.

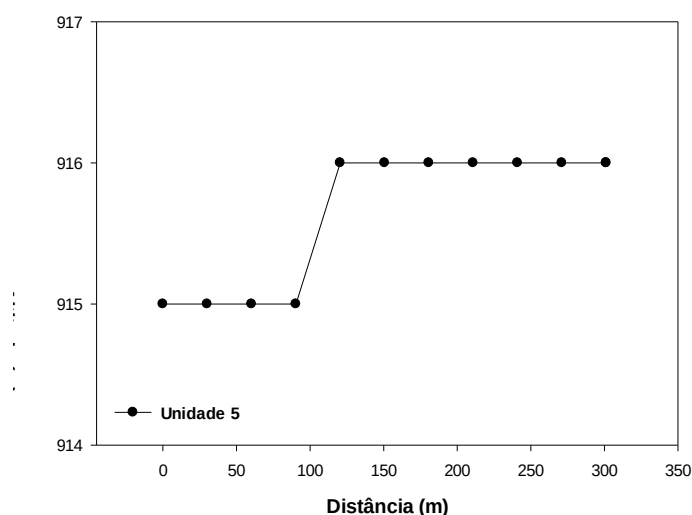


Figura 3.15 - Perfil altimétrico da Unidade 5 para BHRV, Goiás, Brasil  
Fonte: Autora(2024).



Figura 3.16 - Unidade 5  
Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

A Tabela 3.11 apresenta uma análise das Unidades de Paisagem e suas aptidões agrícolas. A unidade 1, que corresponde a 21,48% da BHRV, é considerada inadequada para a atividade agrícola, apresentando restrições de uso por se tratar de Área de Preservação Permanente (APP), conforme estabelece a Lei nº 12.651, de 2012, principal legislação que regulamenta as APPs (BRASIL, 2012).

As UPs 2 e 4 são classificadas como aptas ao uso agrícola, desde que submetidas a práticas adequadas de manejo. Por estarem localizadas em zonas de transição, essas áreas requerem estratégias de conservação do solo para mitigação de riscos, como a erosão.

As UPs 3 e 5 são identificadas como aptas ao uso agrícola, mesmo em condições de solo que eventualmente demandem intervenções específicas para o cultivo. Ainda assim, recomenda-se o manejo sustentável para garantir a conservação dos recursos naturais e a manutenção da produtividade em longo prazo.

Tabela 3.11 - Intervalos de classificação das unidades da bacia do Rio Verdinho, GO, Brasil

| UNIDADE DE PAISAGEM | APTIDÃO PARA USO AGRÍCOLA | ÁREA        |        |
|---------------------|---------------------------|-------------|--------|
|                     |                           | (ha)        | (%)    |
| 1                   | Inapta                    | 3.4015,635  | 21,48% |
| 2                   | Apta*                     | 17.946,5566 | 11,33% |
| 3                   | Apta                      | 40.178,8689 | 25,37% |
| 4                   | Apta*                     | 21.687,7399 | 13,69% |
| 5                   | Apta                      | 44.561,2968 | 28,13% |

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Nota: \*Dependendo de Controle de Manejo.

A análise do perfil altimétrico ao longo de um trecho de 2500m, com variação na elevação em função da distância percorrida, evidencia as diferentes Unidades de Paisagem de forma contínua e unidirecional. Esse perfil ilustra as mudanças topográficas ao longo do percurso e demonstra como as unidades se diferenciam em termos de altitude e relevância geomorfológica (Fig.3.17).

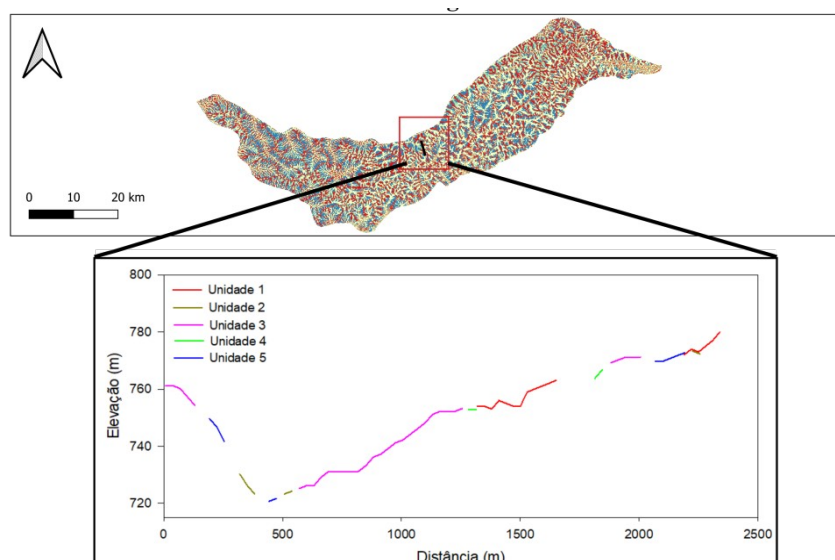


Figura 3.17- Perfil das unidades de paisagem na bacia do Rio Verdinho, GO, Brasil  
Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

#### 4.3.1 6 Comparativo PUC versus Unidades de Paisagem

A comparação entre as Unidades de Paisagem e a classificação do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) para a BHRV evidencia como as características de solo, relevo e drenagem influenciam diretamente o uso agrícola e a necessidade de práticas de manejo conservacionista em cada unidade (Fig. 3.18).

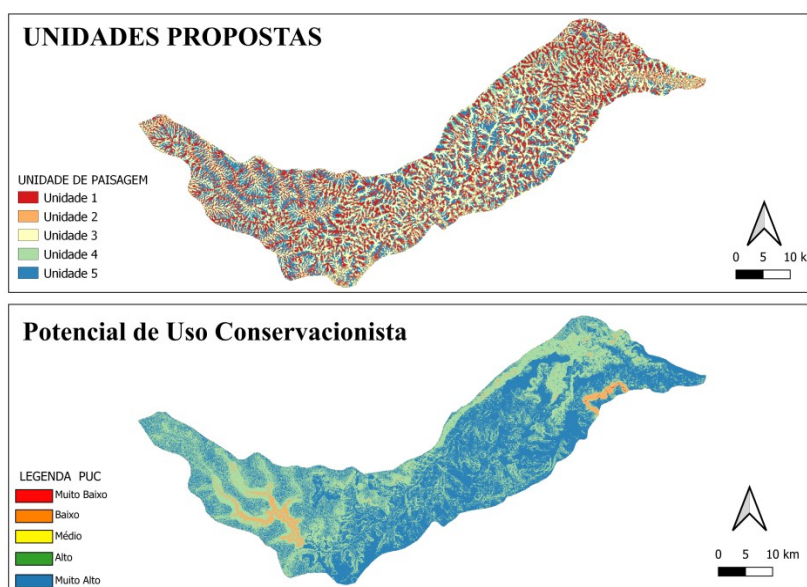


Figura 3.18 - Comparativo unidades, proposta e PUC  
Fonte: Pesquisa de Campo (out. 2024).

Na análise comparativa entre as Unidades de Paisagem proposta nesse estudo e

a classificação do Potencial de Uso Conservacionista (PUC), observa-se que todas as UPs têm áreas predominantemente com PUC Alto, refletindo o elevado potencial conservacionista da bacia. Contudo, o estudo das Unidades de Paisagens propostas proporciona uma abordagem mais detalhada que a classificação do PUC, ao permitir a diferenciação de características específicas de uso e limitações (Fig. 3.18).

A Unidade de Paisagem 1 destaca-se por ocupar 21,48% da BHRV e foi classificada como inadequada para a agricultura na metodologia proposta, principalmente por abranger áreas de Preservação Permanente (APP), mas foi classificada como PUC alto. Essas áreas são destinadas à proteção de nascentes e à conservação hídrica, conforme estabelecido pela legislação ambiental brasileira). Sendo assim, a aplicação das Unidades de Paisagem proposta permitiu identificar condições específicas dessa área não identificadas pelo PUC.

As Unidades de Paisagem Proposta (2 e 4), localizadas em áreas de transição e meia encosta, foram classificadas como aptas à agricultura, desde que sejam adotadas práticas adequadas de manejo, considerando sua suscetibilidade à erosão. Essas unidades também apresentaram PUC classificado como Alto.

Essa comparação evidencia que, embora o PUC classifique amplamente a área com base em atributos como solo, litologia e declividade, a proposta das Unidades de Paisagem nesse estudo oferece uma compreensão mais aprofundada e contextualizada das condições locais. Este estudo das Unidades permite identificar aspectos essenciais, como a presença de áreas de preservação e a necessidade de práticas conservacionistas em zonas vulneráveis, proporcionando um diagnóstico mais preciso e eficaz para a gestão sustentável da BHRV.

### **3.4 Conclusão**

Este estudo atingiu o objetivo de delimitar as unidades de paisagem para a BHRV, aplicando parâmetros geomorfológicos e edáficos que fornecem uma análise detalhada da complexidade ambiental da região. A reclassificação dos dados em relação à forma do terreno (FT), à declividade e aos solos permitiu a identificação de padrões geomorfológicos e edáficos, o que é essencial para entender as dinâmicas de uso e conservação do solo na bacia.

A aplicação da Análise de Processo Hierárquico (AHP) mostrou-se eficaz para

ponderar as variáveis de acordo com sua relevância nos processos naturais locais, possibilitando uma delimitação precisa das unidades de paisagem. Oferecendo um método reprodutível e adaptável para delimitação de UP, agrega valor ao método, permitindo uma estrutura coerente e organizada. Esse processo foi validado com visitas de campo, confirmando a coerência das categorias identificadas com as características observadas.

Cada unidade foi avaliada e detalhada espacialmente, o que possibilitou uma análise abrangente de seu potencial ecológico e de conservação. Além disso, a análise comparativa com o PUC provou que o método do estudo fornece maior detalhamento na identificação de zonas de preservação, indo além das categorias do PUC, o que amplia sua aplicabilidade, oferecendo uma visão mais aprofundada no manejo e planejamento ambiental.

Em conclusão, este estudo apresenta uma metodologia para a delimitação de unidade de paisagem baseada em parâmetros geomorfológicos, evidenciando seu potencial para aprimorar a gestão de uso dos solos e esforços de conservação na bacia. Os resultados obtidos servem como modelo para futuras pesquisas na delimitação das unidades de paisagem em outras regiões.

### 3.5 Referências

ALVES, W. dos S. **Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho – sudoeste de Goiás – Brasil**. 2019. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Jataí, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1046/4/Tese\\_Wellmo.pdf](https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1046/4/Tese_Wellmo.pdf). Acesso em: 3/fev/2023

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v.8, 2004. <https://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3389> Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389> Acesso em: 2 nov. 2022.

BRAGA, M. B. *et al.* Zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para a cultura do grão-de-bico (*Cicerarietinum* L.): sequeiro e irrigado. Brasília, DF, Embrapa **Hortaliças**, 2023.PDF, 18p.:il.color. (Documentos/Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312, 199). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1156338/1/CNPH-DOC199-01072024.pdf> Acesso em: 9 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação

nativa; altera as Leis [...]. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **DOU de 28.5.2012**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm) Acesso em: 23 fev. 2024.

CARVALHO, T. C. de *et al.* Análise das classes de vertentes e sua relação com o processo erosivo: uma visão integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.12, n.4, p.1619-1634, nov. 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1619-1634> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/240572> Acesso em: 1 ago. 2024.

COELHO, A. L. N. Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. **International Review of Geographical Information Science and Technology**, [S.l.], n.20, p.183-199, 2017. ISSN:1578-5157. <https://doi.org/10.21138/GF.565> Disponível em: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/565/448> Acesso em: 14 jul. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o Estado de Minas Gerais. **Geografias**, v.1, n.1, 2017a. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13439> Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439> Acesso em: 4 jan. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Zoneamento do potencial do uso conservacionista como alternativa às unidades de paisagem para a confecção do ZAP. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 6., 11-15 jul. 2017b. Universidade Federal de Uberlândia. **Anais**. Disponível em: [https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/evento/dias\\_de\\_exposicao\\_de\\_banner\\_0.pdf](https://eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/evento/dias_de_exposicao_de_banner_0.pdf) Acesso em: 4 jan. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte – MG. **Revista GEOgrafias**, Belo Horizonte, v.15, n.2, p.45-66, jul./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19891/30128> Acesso em: 4 jan. 2022.

COSTA, A. M. da *et al.* Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o estado de Minas Gerais. **Geografias**, v.13, n.1, p.118-133, 2022. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13439> Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439> Acesso em: 6 jul. 2023.

COSTA, I. C. N. P.; CORRÊA, J. A. de J. Geotecnologias aplicadas no reconhecimento de padrões de uso e cobertura da terra a partir da escala da paisagem no município de Belterra, Pará. **Scientia Plena**, [S.l.], v.14, n.11,

2018. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.115301> Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/4221> Acesso em: 4 nov. 2023.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, jun. 2001. 124 p. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf> Acesso em: 6 jul. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979. 106p.

EVANS, I. S. O que as estatísticas de terreno realmente significam? *In*: LANE, S. N.; RICHARDS, K. S.; CHANDLER, J. H. (ed.), **Monitoramento, modelagem e análise de relevo.** Wiley, p.119-138, 1998. Disponível em: <https://durham-repository.worktribe.com/output/1672893> Acesso em: 10 jul. 2024.

FERNANDES, M. R.; BAMBERG, S. M. Estratificação de ambientes para gestão ambiental. **Informe Agropecuário, Gestão Ambiental na Agricultura,** Belo Horizonte, v.30, n.252, p.24-33, set./out. 2009. Disponível em: [http://187.72.210.67:8080/consulta/busca?b=pc&id=2118&biblioteca=vazio&busca=\(autoria:%22BAMBERG,%20Soraya%20Marx.%22\)&qFacets=\(autoria:%22BAMBERG,%20Soraya%20Marx.%22\)&sort=ano-publicacao&paginacao=t&paginaAtual=1](http://187.72.210.67:8080/consulta/busca?b=pc&id=2118&biblioteca=vazio&busca=(autoria:%22BAMBERG,%20Soraya%20Marx.%22)&qFacets=(autoria:%22BAMBERG,%20Soraya%20Marx.%22)&sort=ano-publicacao&paginacao=t&paginaAtual=1) Acesso em: 4 nov. 2022

FERNANDES, M. R. (coord.). **Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem.** Belo Horizonte, MG: EMATER-MG, 2013. 92p. il. color. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=3161&biblioteca=BRT&busca=autoria:%22FERNANDES,%20M.%22&qFacets=autoria:%22FERNANDES,%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> Acesso em: 4 nov. 2022.

FOLINI, A.; LENZI, E.; BIRAGHI, C. A. Cluster analysis: a comprehensive and versatile QGIS plugin for pattern recognition in geospatial data. *In. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, v. XLVIII-4/W1-2022, p.151-157, 2022. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-151-2022>, 2022 Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-4-W1-2022/151/2022/>. Acesso em: 1 jul. 2024.

GOIÁS/SIEG (Estado). Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). **Mapa de Solos.** ESRI Shapefile. 2025. Disponível em: <http://www.go.gov.br/siegdownloads/> Acesso em: 12 nov. 2022.

GOIÁS/SIGA (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). SIGA-GO. Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás. 2022. Disponível em: <https://siga.meioambiente.go.gov.br/> - /Acesso em: 12 nov. 2022.

GOMES, J. H. G. **Caracterização morfométrica da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, RJ e atributos edáficos condicionantes no processo erosivo em pedoformas côncava e convexa.** 2017. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2017. <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/13319> Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/13319> Acesso em: 1 fev. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html> Acesso em: 23 fev. 2024.

KHOROSHEV, A. V. Analyzing vegetation-soil-topography relationships of landscapes: a multiscale geosystem approach and its application. In: MUELLER, L.; EULENSTEIN, F. (ed.). **Current Trends in Landscape Research**. Innovations in Landscape Research, Springer Cham., p.233-251, 2019. XX, 680p. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2_9) Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30069-2\\_9#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30069-2_9#citeas) Acesso em: 7 jul. 2024

LI, H.; WU, J. Use and misuse of landscape indices. **Landscape Ecology**, v.19, n.4, p.389-399, May 2004. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000030441.15628.d6> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:LAND.0000030441.15628.d6#citeas> Acesso em: 23 fev. 2024.

MACÁK, M. *et al.* Reduction in water erosion and soil loss on steep land managed by controlled traffic farming. **Land**, Basel, v.12, n.1, p.239, 2023. <https://doi.org/10.3390/land12010239> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/1/239> Acesso em: 2 jul. 2025.

MARTINS, I. C. **Análise comparativa de metodologias de mapeamento de uso conflitante da terra: estudo de caso em sub-bacias do Rio Araçuaí**. 2022. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022. Disponível em: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=M52IKnoAAAAJ&citation\\_for\\_view=M52IKnoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=M52IKnoAAAAJ&citation_for_view=M52IKnoAAAAJ:UeHWp8X0CEIC) Acesso em: 23 fev. 2024.

MINAS GERAIS/SEMAD/SEAPA (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo**: ZAP de sub-bacias hidrográficas. Minas Gerais. 2016. Disponível em: <https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/web/semad/w/zoneamento-ambiental-produtivo-zap-> Acesso em: 4 nov. 2022.

MINAS GERAIS/SEMAD/SEAPA (Estado). Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP). **Metodologia para elaboração do zoneamento ambiental produtivo de sub-bacias hidrográficas**. 3.ed. Belo Horizonte, 2020a. Disponível em: [https://www.meioambiente.mg.gov.br/w/zoneamento-ambiental-produtivo-zap-?p\\_l\\_back\\_url=%2Fbusca%3Fq%3DMetodologia%2Bpara%2Belabora%25C3%25A7%25](https://www.meioambiente.mg.gov.br/w/zoneamento-ambiental-produtivo-zap-?p_l_back_url=%2Fbusca%3Fq%3DMetodologia%2Bpara%2Belabora%25C3%25A7%25)

[25C3%25A3o%2Bdo%2BZoneamento%2BAmbiental%2BProdutivo%253A%2BZAP%2Bde%2Bsub-bacias%2Bhidrogr%25C3%25A1ficas](#) Acesso em: 5 out. 2024.

MORIN, E. **O método I** - A natureza da natureza. 2.ed. Lisboa: Editora Seuil, 1977. Disponível em: <https://www.scribd.com/doc/75004564/Edgar-Morin-O-Metodo-I-A-natureza-da-natureza> Acesso em: 23 fev. 2024.

OLIVEIRA, R. C. de; SOUZA, S. O.; RIBEIRO, A. dos S. Geoeecologia da paisagem: aspectos teórico-metodológicos e a representação dos sistemas ambientais na região da Costa das Baleia (Bahia-Brasil): **Espaço em Revista**, Catalão, v.24, n.1, p.122-143, 2022. <https://doi.org/10.70261/er.v24i1.70066> Disponível em: <https://periodicos.ufcat.edu.br/index.php/espaco/article/view/70066> Acesso em: 9 jul. 2025.

RODRIGUES, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. de P. B. **Geoeecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 6.ed. Ebook. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/66152> Acesso em: 21 set. 2024.

ROSE, M. Landscape and labyrinths. **Geoforum**, v.33, n.4, p.455-467, Nov. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(02\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00030-1) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718502000301?via%3Dihub> Acesso em: 23 fev. 2024.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. McGraw Hill International, New York, 1980. 287p.

SAATY, T.L., SODENKAMP, M. The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: the measurement of intangibles. In: ZOPOUNIDIS, C.; PARDALOS, P. (ed.) **Handbook of Multicriteria Analysis**. Applied Optimization, Springer, Berlin, Heidelberg, v.103, 01 Jan.2010. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-92828-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92828-7_4) Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-92828-7\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-92828-7_4) Acesso em: 5 jan. 2024.

SAITO, C. H. Ecologia da paisagem e geografia. 2023. In: STEINKE, V. A.; SILVA, C. A. da; FIALHO, E. **Geografia da Paisagem**: Múltiplas Abordagens, v.1. Jan. 2023. ISBN: 978-85-93776-01-4. [DOI:10.26512/9788593776014](https://doi.org/10.26512/9788593776014) Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/367453182\\_Geografia\\_da\\_Paisagem\\_Multiplas\\_Abordagens](https://www.researchgate.net/publication/367453182_Geografia_da_Paisagem_Multiplas_Abordagens) Acesso em: 5 jan. 2024.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Latossolos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec)– Solos Tropicais. Embrapa Solos, 9 dez. 2021a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos>. Acesso em: 7 jul. 2024.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Gleissolos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). Solos Tropicais. Embrapa Solos, 9 dez. 2021b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos> Acesso em: 7 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Neossolos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). Solos Tropicais. Embrapa Solos, 9 dez. 2021c. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos> Acesso em: 7 jul. 2024.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Cambissolos**. Árvore do Conhecimento. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). Solos Tropicais. Chave do SiBCS, 9 dez. 2021d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos>. Acesso em: 7 jul. 2024.

SANTOS, L. S. *et al.* Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v.12, n.7, p.2694-2715, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2694-2715> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/242041> Acesso em: 5 out. 2024.

SANZONOWICZ, C. Bioma Cerrado. **Solo**. Árvore do Conhecimento. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo> Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, M. A. P. da *et al.* Diagnóstico e estratégias para a conservação ou restauração de nascentes em ambientes com ações antrópicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.34, n.3, e71553, p.1-24, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/71553/64152> Acesso em: 1 fev. 2024.

SILVA NETO, J. C. A. da. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do Rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno** [on-line], **Geografia**, Londrina, v.22, n.1, p.5-25, 2014. 2013. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2013v22n1p05> Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/12722> Acesso em: 29 ago. 2023.

SOUSA, D. M. G. de. **Latossolos**. Portal Embrapa, Agência de Informação Tecnológica — Bioma Cerrado. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos> Acesso em: 7 jul. 2024.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Latossolos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Bioma Cerrado. 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos> Acesso em: 23 maio 2024.

SOUZA, M. L. de. **Ambientes e territórios**: uma introdução à ecologia política. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019. 352p.

TABOADA, M. Á. *et al.* Climate change adaptation and the agricultural sector in South American countries: risk, vulnerabilities and opportunities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.45, p.e0210072, 2021.

<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210072> Disponível em:  
[https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/1806-9657-rbcs-45-e0210072/1806-9657-rbcs-45-e0210072.x30062.pdf](https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/1806-9657-rbcs-45-e0210072/1806-9657-rbcs-45-e0210072.x30062.pdf) Acesso em: 2 jul. 2024.

THOMAZ, E. L.; KURASZ, J. P. Long term of soil carbon stock in no-till system affected by a rolling landscape in Southern Brazil. **Soil Systems**, Basel, v.7, n.2, p.60, 2023. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020060> Disponível em:  
<https://www.mdpi.com/2571-8789/7/2/60> Acesso em: 19 jul. 2024.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Modelo Digital de Elevação (30m). Curvatura Horizontal. Curvatura Vertical, [2020?]. Disponível em:  
<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> Acesso em: 1 jul. 2022.

TRICART, J. L'analyse de système et l'étude intégrée du Milieu Naturel. **Annales de Géographie**, v.88, n.490, p.705-714. Novembre-Décembre 1979, JSTOR. Published by: Armand Colin. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/23449453> Acesso em: 1 jul. 2023.

TRICART, J. Ecologie et aménagement: Park (C.C.), Ecology and environmental management. A geographical perspective, [compte-rendu], (Ecologia e paisagem: Parque (C.C.), ecologia e gestão ambiental. Uma perspectiva geográfica [relato]), Longman, London & New York, **Coll. Studies in Physical Geography**, 1980. 272p. **Annales de Géographie**, v.91, n.508, p.743-749, 1982. Disponível em: [https://www.persee.fr/doc/geo\\_0003-4010\\_1982\\_num\\_91\\_508\\_20159\\_t1\\_0743\\_0000\\_2](https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1982_num_91_508_20159_t1_0743_0000_2) Acesso em: 1 jul. 2023.

TUROWSKI, J. M. *et al.* Controles geotécnicos da erodibilidade na erosão por impacto fluvial. **Earth Surface Dynamics**, Göttingen, v.11, p.979-994, 2023. <https://doi.org/10.5194/esurf-11-979-2023> Disponível em:  
<https://esurf.copernicus.org/articles/11/979/2023/> Acesso em: 1 jul. 2024.

UFV. Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Departamento de Solos. Centro de Ciências Agrárias (DPS). **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais** (1:650.000). Projeção Policônica, 2010. Disponível em: [http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742) Acesso em: 5 mar. 2022.

VALERIANO, M. de M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008a. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf> Acesso em: 24 mar. 2022.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. 328p. Cap.3, p.74-103.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. dos. **Cambissolos**. Portal Embrapa, Agência de Informação Tecnológica — Solos Tropicais. 2021. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos> Acesso em: 7 jul. 2024.

ZHU, C.*et al.*Constructing soil–landscape units basedon slope position and land use toimprove soil predictionzccuracy. **Remote Sensing**, [S.l.], v.16, n.21, p.4090, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/21/4090>Acesso em: 7 jul. 2024