

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geografia**  
**Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos**

Kássio Samay Ribeiro Tavares

**EROSÃO HÍDRICA LINEAR NO ESTADO DO MATO GROSSO (BRASIL):  
análise espacial e identificação de Áreas Críticas**

Belo Horizonte  
2025

Kássio Samay Ribeiro Tavares

**EROSÃO HÍDRICA LINEAR NO ESTADO DO MATO GROSSO (BRASIL):  
análise espacial e identificação de Áreas Críticas**

Monografia de especialização apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial á obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, Levantamento e Intepretação de Solos.

Orientador(a): Profa. Dra. Grace Bungenstab Alves

Belo Horizonte  
2025

T231e  
2025

Tavares, Kássio Samay Ribeiro.

Erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso (Brasil) [recurso eletrônico] : análise espacial e identificação de áreas críticas / Kássio Samay Ribeiro Tavares. – 2025.

1 recurso online (56 f.: il., color.) : pdf.

Orientadora: Grace Bungenstab Alves.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 52-56.

1. Erosão – Mato Grosso – Teses. 2. Análise de componentes principais – Teses. 3. Análise espacial (Estatística) – Teses. 4. Sensoriamento remoto – Teses. 5. Mapeamento do solo – Teses. I. Alves, Grace Bungenstab. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 631.4:528(817.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

## FOLHA DE APROVAÇÃO

NOME: **KÁSSIO SAMAY RIBEIRO TAVARES, Nº. DE REGISTRO: 2024653051**

TRABALHO FINAL: **EROSÃO HÍDRICA LINEAR NO ESTADO DO MATO GROSSO (BRASIL): ANÁLISE ESPACIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS**

Trabalho de Conclusão da Especialização apresentado ao Curso de Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, do Programa de Pós-graduação em Geografia, da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos.

**APROVADO** em 09 de julho de 2025, pela Orientação e Banca Examinadora constituída pelos Membros:

GRACE BUNGENSTAB ALVES - Orientadora

MEMBROS DA BANCA:

Fernanda Mara Coelho Pizani(UFMG);

Grace Bungenstab Alves(UFBA);

Kairo da Silva Santos(UFMG).



Documento assinado eletronicamente por **Grace Bungenstab Alves, Usuário Externo**, em 28/07/2025, às 20:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Mara Coelho Pizani, Usuária Externa**, em 30/07/2025, às 18:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Kairo da Silva Santos, Usuário Externo**, em 26/08/2025, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4416081** e o código CRC **540D7565**.

## RESUMO

A erosão hídrica linear é um dos principais agentes de degradação dos solos no Brasil, especialmente em regiões de expansão agropecuária sobre solos frágeis, como o estado do Mato Grosso. Este estudo teve como objetivo identificar áreas críticas de erosão linear no estado, integrando técnicas de sensoriamento remoto, análises geoestatísticas e modelagem. Foram mapeados 61.005 focos erosivos lineares de médio e grande porte por meio da interpretação visual de imagens de alta resolução, com posterior análise de densidade de focos e classificação por criticidade. Ao todo, foram identificadas 15 áreas críticas, distribuídas entre Moderadamente Críticas (AMC), Críticas (AC) e Extremamente Críticas (AEC), com densidades entre 0,29 e 0,61 focos por km<sup>2</sup>. A Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu identificar os principais condicionantes ambientais da erosão, com destaque para os compartimentos do relevo e a incompatibilidade entre uso da terra e potencial agrícola dos solos. A análise local confirmou que a combinação entre solos arenosos, uso agropecuário intensivo e relevo levemente ondulado favorece a intensificação dos processos erosivos. Os resultados oferecem uma base científica consistente para compreender a distribuição espacial e fatores condicionantes da erosão hídrica linear no Cerrado mato-grossense, contribuindo para diagnósticos ambientais multiescalares e estratégias de conservação do solo.

Palavras-chave: ravinas e voçorocas; isodensidade de focos; Análise de Componentes Principais; Análise Multiescalar.

## ABSTRACT

Linear water erosion is one of Brazil's main drivers of soil degradation, especially in regions of agricultural expansion over fragile soils, such as the state of Mato Grosso. This study aimed to identify the state's critical areas of linear erosion by integrating remote sensing techniques, geostatistical analyses, and environmental modeling. 61,005 medium- and large-scale linear erosion features were mapped through visual interpretation of high-resolution satellite imagery, followed by density analysis and classification of erosion hotspots. In total, 15 critical areas were identified and categorized as Moderately Critical (AMC), Critical (AC), and Extremely Critical (AEC), with densities ranging from 0.29 to 0.61 erosion features per km<sup>2</sup>. Principal Component Analysis (PCA) was applied to identify the main environmental conditioning factors, highlighting the role of landform compartments and the mismatch between land use and agricultural suitability of soils. The local-scale analysis confirmed that the combination of sandy soils, intensive agricultural use, and gently undulating relief contributes to the intensification of erosive processes. The results provide a robust scientific basis for understanding the spatial distribution and conditioning factors of linear water erosion in the Cerrado biome of Mato Grosso, supporting multiscale environmental diagnoses and soil conservation strategies.

Keywords: gullies; isodensity of erosion focuses; Principal Component Analysis; multiscale analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Localização do estado do Mato Grosso, Brasil. ....	11
<b>Figura 2.</b> Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
<b>Figura 3.</b> Esboço da graticula para área de identificação e mapeamento de erosões. ....	16
<b>Figura 4.</b> Exemplo do sistema de identificação para as variáveis. ....	19
<b>Figura 5.</b> Distribuição Litológica no estado do Mato Grosso. ....	24
<b>Figura 6.</b> Distribuição do Relevo no estado do Mato Grosso. ....	26
<b>Figura 7.</b> Distribuição dos solos no estado do Mato Grosso. ....	28
<b>Figura 8.</b> Distribuição dos Usos e cobertura no estado do Mato Grosso.....	30
<b>Figura 9.</b> A) Focos erosivos lineares; B) Densidade de focos (km <sup>2</sup> ) do Mato Grosso. ....	32
<b>Figura 10.</b> Áreas críticas de erosão hídrica linear do estado do Mato Grosso. ....	33
<b>Figura 11.</b> Localização e distribuição da densidade de focos erosivos da AEC -1...	37
<b>Figura 12.</b> Características ambientais e Compartimentos Morfopedológicos da AEC - 1. ....	39
<b>Figura 13.</b> Declividade AEC -1. ....	41
<b>Figura 14.</b> Rugosidade da AEC - 1.....	42
<b>Figura 15.</b> Potencial de fluxo hídrico da AEC - 1.....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Geologia do estado do Mato Grosso.....	22
<b>Tabela 2.</b> Relevo do estado do Mato Grosso.....	25
<b>Tabela 3.</b> Solos do estado do Mato Grosso.....	27
<b>Tabela 4.</b> Uso e cobertura no estado do Mato Grosso (2023). ....	29
<b>Tabela 5.</b> Cargas fatoriais das variáveis ambientais.....	34
<b>Tabela 6.</b> Cargas fatoriais das classes das variáveis ambientais. ....	35
<b>Tabela 7.</b> Declividade, Área e Quantidade de focos da AEC - 1.....	41
<b>Tabela 8.</b> Rugosidade, Área e Quantidade de focos da AEC - 1.....	42
<b>Tabela 9.</b> Potencial de fluxo hídrico, Área e Quantidade de focos da AEC - 1 .....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de estudo .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Procedimentos Metodológicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização do estado do Mato Grosso.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Focos erosivos, Densidade de focos e Áreas críticas .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Erosão hídrica linear: Síntese estatística dos fatores ambientais.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>Compartimentação morfopedológica e identificação dos atributos morfométricos do relevo .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um dos principais processos de degradação do solo no mundo. Trata-se da remoção das partículas do solo, e por vezes de fragmentos rochosos, causada pelo impacto da chuva e pelo subsequente escoamento pluvial superficial, seguida do transporte e deposição de sedimentos em áreas mais baixas do relevo. Quando ocorre de forma intensa no tempo, especialmente em ambientes modificados pelo ser humano, é chamada de erosão antrópica ou acelerada.

A erosão hídrica, principalmente em ambientes agrícolas ou rurais, é reconhecida como apresentando dois tipos, a laminar, resultante do escoamento superficial difuso, e a linear, na forma de sulcos, ravinas e voçorocas (*gully/gullies* no singular/plural em inglês), correspondentes a incisões alongadas por escavação hídrica dos terrenos ao longo de linhas de fluxos concentrados, superficial e/ou subsuperficialmente (IPT, 1986; Almeida Filho; Residente Jr, 2001; Morgan, 2005; FAO, 2015; Lal, 2010, Salomão, 2010).

Estima-se que cerca de 33% dos solos do planeta estejam degradados e que aproximadamente 40 bilhões de toneladas de solo sejam perdidas anualmente por erosão (Lal, 2010; FAO, 2015). Essa perda é de 10 a 40 vezes mais rápida do que formação natural do solo, colocando em risco a produção agrícola, a qualidade da água, o sequestro de carbono e a biodiversidade (Pennock, 2019). No Brasil, país de destaque na produção de alimentos, fibras e bioenergia, esse problema é especialmente crítico nas regiões de expansão agrícola, como no bioma Cerrado (Caldeira; Parré, 2020).

A área, antes ocupada pelo Cerrado, responde por cerca de 70% da produção agrícola nacional (Wickramasinghe, 2012), com destaque para os estados do Mato Grosso e Goiás, onde as condições naturais, como relevo suave e clima tropical úmido e subúmido, além das socioeconômicas, como infraestrutura rodoviária e ferroviária, sistema de ensilagem e áreas urbanas que centralizam bancos, população e serviços, favorecem a expansão da agropecuária. No entanto, a conversão do uso do solo, principalmente após desmatamento intensivo e muitas vezes indiscriminado, para conversão em pastagens e monoculturas de soja, milho e cana-de-açúcar, intensificou os processos erosivos hídricos.

Mato Grosso, situado nessa região, um dos maiores produtores de grãos do país, é também uma das regiões mais suscetíveis à degradação do solo devido

ocorrência de solos arenosos e de textura média, relevos suaves e altos índices pluviométricos. Diversos estudos realizados, como os de Salomão et al. (2001, 2003), Faria et al. (2013), Grecchi et al. (2016), Ribeiro, Tocantins e Salomão (2023) e Tavares e Castro (2024), para esse estado, destacam a interação entre a suscetibilidade dos solos e as práticas inadequadas de uso e manejo, como manejo de pastos e de gado e ausência ou inadequação de práticas conservacionistas dos solos, e suas consequências, como a intensificação do processo erosivo.

Embora os efeitos da erosão hídrica linear sejam amplamente reconhecidos, sobretudo em escala local, ainda são escassos os estudos que adotam uma abordagem sistêmica e multiescalar para regiões extensas e economicamente relevantes, como o estado do Mato Grosso. A maioria das pesquisas permanece concentrada em escalas locais ou regionais reduzidas, sem considerar de forma integrada a interação entre fatores condicionantes como precipitação, relevo, tipo de solo e uso e cobertura da terra (Tavares; Castro, 2024). Essa lacuna limita o planejamento de políticas públicas e a adoção de estratégias eficazes de manejo e conservação do solo.

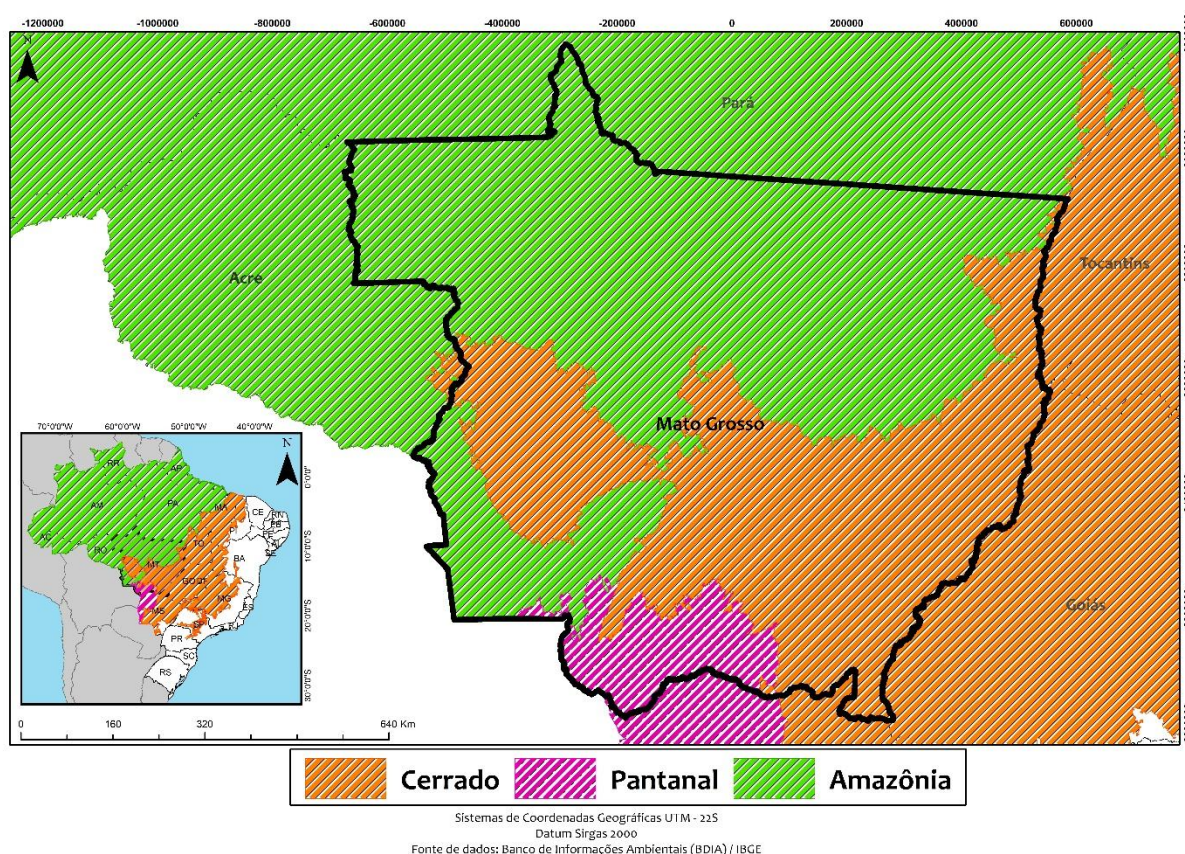
Convém ressaltar que o impacto da erosão em qualquer escala e ambiente é uma questão de interesse tanto social como científico (FAO, 2015), o que justifica a necessidade de compreender o fenômeno, seja de distribuição espacial, seja de caracterização ou de processos, que se valem, principalmente, das variáveis que o condicionam, e considerando modelos já elaborados e testados ao longo da história (Nunes, 2015).

Ao aplicar uma abordagem integrada e multiescalar, este estudo busca aprofundar a compreensão da erosão hídrica linear em uma das regiões mais suscetíveis à degradação dos solos no Brasil, o Cerrado. Assim, o objetivo é identificar áreas críticas à erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso, por meio do uso de geotecnologias, análises estatísticas e modelagens geoespaciais.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O estado do Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui uma área de aproximadamente 903.357,908 km<sup>2</sup>, sendo o terceiro maior estado do país em extensão territorial. Conhecido por sua rica biodiversidade, Mato Grosso abriga três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal (Nunes; Silva; Ferraz, 2017) (Figura 1). Além dessa diversidade ecológica, o estado é cortado por uma complexa rede hidrográfica, que inclui partes de três das maiores bacias do país: a Bacia Amazônica, a Bacia Platina (Paraguai/Paraná) e a Bacia do Tocantins (Trivelli; Pierosni; Ruiz, 2017).



**Figura 1.** Localização do estado do Mato Grosso, Brasil.

O clima predominante no Estado é tropical (subúmido) e equatorial (úmido), caracterizado por temperaturas elevadas durante todo o ano. No tropical, Cerrado e Pantanal, o regime pluviométrico é marcado por duas estações bem definidas: um período seco, que se estende de maio a setembro, e outro chuvoso, de outubro a abril

(Souza *et al.*, 2016; Nunes; Silva; Ferraz, 2017). A temperatura média anual no estado varia entre 21 °C e 26 °C, com os menores valores ocorrendo nos topos elevados das chapadas e os maiores nas áreas mais baixas como o Pantanal e depressões centrais. Quanto à precipitação, os totais médios anuais oscilam entre 1.100 mm e 2.347 mm, com maior concentração nos meses de dezembro a fevereiro, que concentram até 50% do total anual de chuva (Santos, 2000). Na Amazônia, predomina o clima equatorial úmido, com precipitação bem distribuída ao longo do ano e ausência de uma estação seca bem definida, embora ocorra uma leve diminuição das chuvas entre julho e setembro. As médias pluviométricas nessa região superam os 2.000 mm anuais, com elevada umidade relativa do ar e temperaturas médias elevadas e pouco variáveis, geralmente entre 24 °C e 27 °C (Souza *et al.*, 2016).

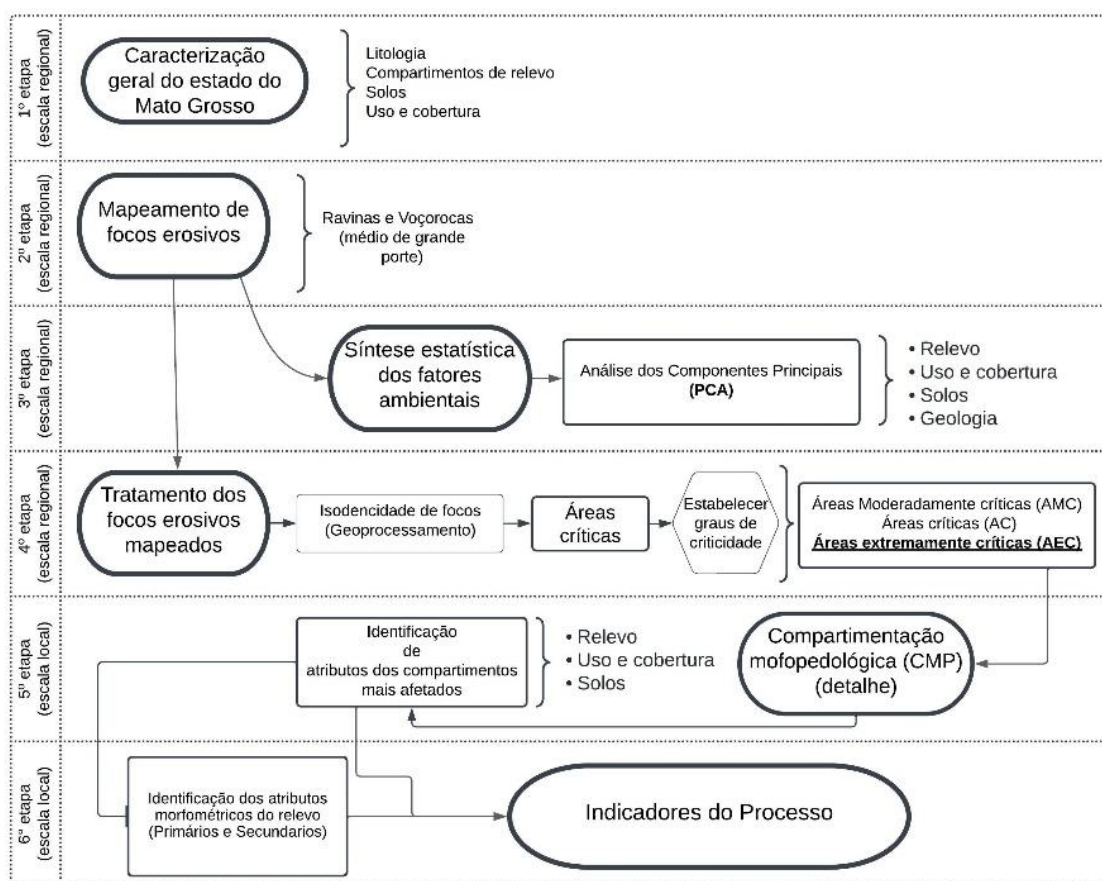
Em termos de relevo, Mato Grosso é composto por três regiões fisiográficas distintas. Ao centro-norte predominam os chapadões sedimentares e os planaltos cristalinos, com altitudes variando entre 400 e 800 metros, integrando a Amazônia e o Planalto Central Brasileiro. Ao sul, encontra-se o Planalto Arenito-Basáltico, uma extensão do Planalto Meridional. Já na porção centro-ocidental está o Pantanal Mato-Grossense, uma vasta planície alagável que representa uma das maiores áreas úmidas do mundo (Silveira, 2023).

A ocupação do Mato Grosso está diretamente relacionada ao processo de interiorização econômica do território brasileiro, inicialmente impulsionado pela exploração de metais preciosos, como ouro e diamantes e com o passar do tempo, pelo fomento à agricultura, que elevaram o Estado a se destacar internacionalmente como um dos principais polos agropecuários do país, com uma economia fortemente alicerçada na produção agrícola e pecuária (Leandro; Rocha, 2019).

## 2.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia se desenvolveu em etapas operacionais sucessivas correspondentes a escalas crescentes de aproximação cartográfica, da escala regional para a local, como proposto por Veldcamp *et al.* (2001). A Figura 2 apresenta as etapas e suas interrelações.

**Figura 2.** Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Como mostra a Figura 2, a metodologia foi organizada em seis etapas sucessivas, articuladas depois em duas escalas de análise, a regional e a local, com foco na identificação dos focos erosivos, no tratamento espacial do fenômeno e na análise de seus condicionantes físicos e antrópicos. A 1ª etapa correspondeu à caracterização ambiental do estado do Mato Grosso, utilizando compilação de mapas e memoriais explicativos disponíveis em bancos de dados oficiais, da litologia, dos solos, do relevo e do uso e cobertura. A 2ª etapa correspondeu ao mapeamento dos focos erosivos lineares (ravinas e voçorocas de médio e grande porte), representados por pontos, sobre imagens de satélite. A 3ª etapa refere-se à síntese estatística dos dados ambientais e suas relações espaciais com os focos da erosão hídrica linear, com base em uma Análise de Componentes Principais (ACP). A 4ª etapa correspondeu ao tratamento estatístico da densidade dos focos erosivos com auxílio da ferramenta Kernel do Programa ArcGis. A 5ª etapa foi relativa à compartimentação morfopedológica de áreas de maior criticidade (extremamente crítica). Os resultados obtidos nessas cinco etapas permitiram selecionar uma área de compartimentação morfopedológica representativa correspondente à de maior índice de criticidade. Por

fim, a 6º etapa refere-se à identificação dos atributos morfométricos do relevo, através de fatores topográficos (Nunes; Castro, 2020), relacionados aos focos erosivos lineares das áreas críticas selecionadas. As metodologias específicas das etapas foram:

Caracterização geral: Para realizar a caracterização geral do estado do Mato Grosso, foram utilizadas diferentes variáveis ambientais e de diferentes bases de dados. Os dados de relevo foram obtidos a partir do mapeamento de Ross *et al.* (2022), desenvolvido em sua pesquisa sobre o ordenamento territorial brasileiro, em escala de 1:1.000.000. Já os dados de solos foram extraídos do Banco de Informações Ambientais (BDIA) do IBGE, em escala de 1:250.000, correspondendo a uma reamostragem do mapeamento original realizado pelo Projeto Radam Brasil. Para das diferentes unidades geológicas, foram utilizados os dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala de 1:1.000.000. Por fim, os dados de uso e cobertura foram fornecidos pela plataforma MapBiomas (Coleção 9, 2023), que apresenta uma classificação atualizada e detalhada para o ano de 2023.

Mapeamento da distribuição de focos erosivos e tratamento estatístico: O mapeamento das feições erosivas lineares seguiu o proposto por Nunes (2015) e adaptado por Rodrigues (2020), consistindo na identificação e localização dos focos erosivos lineares por meio de varredura de imagens de satélite *GeoEye -1* coloridas (resolução espacial de 1,65 m), disponíveis no sítio *Google Earth*. O *Software* utilizado foi o *ArcGIS/Esri* com as ferramentas *Bing*, da extensão *ArcBruTile 7.0* para visualização das imagens que cobrem toda a área mapeada.

Para a identificação e mapeamento das ravinas e voçorocas, a escala de interpretação adotada foi de 1:15.000, permitindo a visualização das feições erosivas lineares e 1:8.000, quando necessária a confirmação. A identificação dos focos erosivos foi realizada por meio de observação visual, marcadas individualmente por ponto em sua cabeceira, única ou principal, considerando principalmente os conectados aos canais de drenagem, localizados em áreas de pastagem, associados a trilheiros de gado, fragmentos de vegetação remanescente e zonas de intensa interação antrópica, como proximidades de áreas urbanas e rodovias, além de áreas de solo exposto. Esses critérios, adaptados dos estudos anteriores (Nunes, 2015; Nunes; Castro, 2023; Rodrigues, 2020 e Rodrigues; Castro, 2023), permitiram garantir consistência e comparabilidade nos resultados, facilitando a interpretação objetiva das imagens.

Além dos critérios para a identificação visual de focos erosivos lineares, também foram utilizados parâmetros de identificação levando em consideração a textura, tons, formas, padrões e aspectos geográficos associados, conforme exemplificados no Quadro 1.

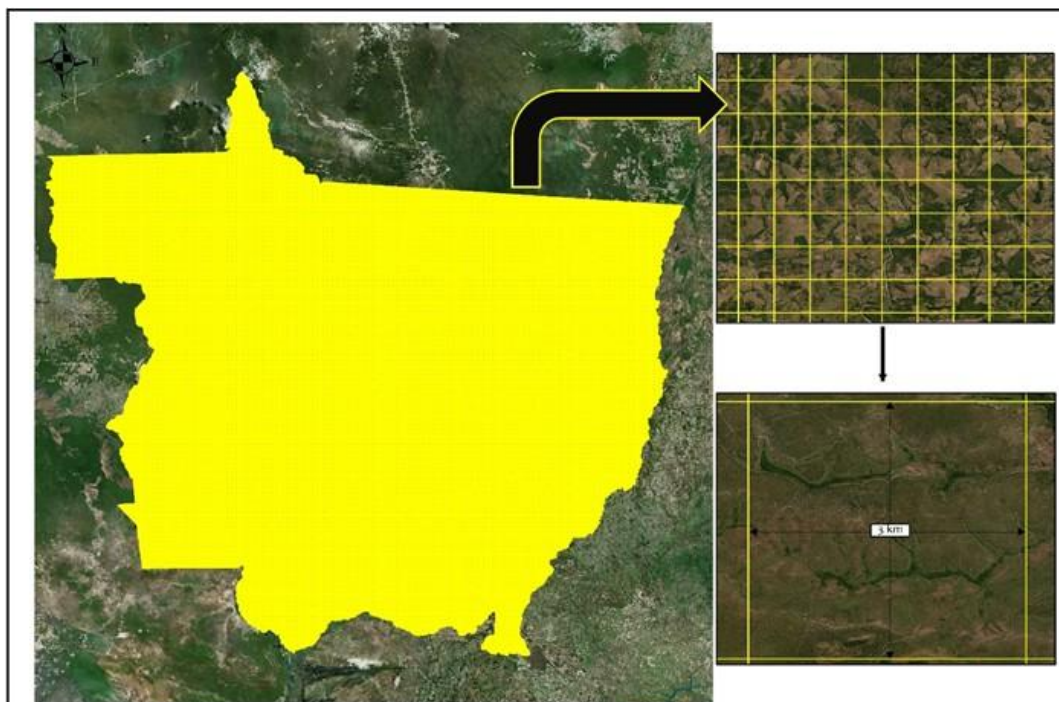
**Quadro 1.** Chave de interpretação para identificação e mapeamento de focos de erosões

<b>Tonalidade</b>	<b>Textura</b>	<b>Forma</b>	<b>Aspectos Associados</b>
Clara (semelhante a solo exposto) / Possibilidade de tonalidade escura quando atinge lençol freático.	Lisa	Alongada (extensa)	Próximo ou conectado à canal de drenagem/ Área de uso para agricultura ou pastagem.
Clara (semelhante a solo exposto).	Lisa/ aveludada	Linear	Estrada/ Canal de drenagem/ Trilheiros em áreas de pastagem / Declividade suave e rampa longa.

Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2020.

Para se estabelecer uma padronização do processo de identificação, o mapeamento respeitou uma malha de retângulos com dimensões de 3x3 km (Figura 3), criada a partir da ferramenta “fishnet”, no software *ArcGis 10.8*. A criação dessa malha de retângulos permitiu que todas as regiões fossem interpretadas com a mesma escala visual e nível de detalhamento. Tendo em vista a extensão da área mapeada, as feições erosivas identificadas por pontos em suas cabeceiras, não foram diferenciadas, se Ravinas ou se Voçorocas.

**Figura 3.** Esboço da graticula para área de identificação e mapeamento de erosões.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após a elaboração do mapa de focos erosivos foi realizada a análise espacial dos dados que consistiu em avaliar a dispersão ou concentração desses pontos no espaço, utilizando a ferramenta *Kernel* do *ArcGIS* para estimar a densidade de pontos. Esta ferramenta calcula a magnitude por unidade de área a partir dos recursos pontuais, fornecendo informações sobre a distribuição dos pontos na paisagem em uma superfície contínua. Na utilização dessa ferramenta, a escolha do tamanho da célula é uma opção que está relacionada ao conjunto de dados raster de saída. Assim, foi selecionado o valor de 30m, correspondente ao tamanho de uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Modelo Digital de Elevação do terreno).

Na etapa seguinte foi realizado o ajuste do raio de busca, levando em consideração a unidade linear da projeção de referência utilizada para a saída dos dados. Diversos raios foram testados e decidiu-se aplicar um valor em  $\text{km}^2$  que, dada a extensão da área de estudo, proporcionou uma melhor visualização das regiões de concentração e facilitou a interpretação dos padrões de distribuição espacial dos focos erosivos. O intervalo de classes foi definido conforme adaptação de parâmetros e execução de Rodrigues (2020) e Rodrigues e Castro (2023). As classes, em um total de quatro: 0 – 0,18; 0,18 – 0,28; 0,28 – 0,38 e 0,38 – 0,61, representam a quantidade

de focos, por km<sup>2</sup>. Esses intervalos de classes permitiram a identificação e hierarquização de diferentes áreas críticas na escala regional.

Para a definição das classes de áreas críticas na escala local, utilizou-se os resultados obtidos com a ferramenta *Kernel*. A partir desses dados, foi possível converter o arquivo anteriormente em formato *Raster* para o tipo vetor, em formato de polígono. Optou-se pela extração das áreas com intervalos que variavam de 0,28 a 0,61 focos por quilômetro quadrado, que compreendem as maiores densidades para a identificação do nível de criticidade. Posteriormente, foi realizada a sobreposição dos polígonos com os pontos representantes dos focos erosivos, o que possibilitou a classificação das áreas conforme a concentração de focos por km<sup>2</sup> e, conseqüentemente, seu nível de criticidade.

Essa classificação de criticidade foi baseada em um cálculo definido pelo número de focos dentro de cada polígono dividido pela área em km<sup>2</sup> do polígono (concentração de focos = número de focos erosivos lineares / área em km<sup>2</sup> do polígono), conforme sugerido por Santana *et al.* (2007); Barbalho *et al.* (2013); Rodrigues (2020) e Rodrigues e Castro (2023), que também trabalharam em áreas de Cerrado.

A partir do cálculo, as áreas foram classificadas como áreas extremamente críticas (AEC), áreas críticas (AC) e áreas moderadamente críticas (AMC), conforme sugerido Rodrigues e Castro (2023) e adaptado para este trabalho, em que: AMC's possuem intervalo de 0,06 e 0,29; AC's entre 0,30 e 0,38 e AEC's 0,39 e >.

*Síntese estatística dos fatores ambientais da erosão hídrica linear*: Com base no mapeamento de focos erosivos lineares foi possível realizar a Análise de Componentes Principais (ACP). A aplicação dessa técnica estatística teve por objetivo identificar quais variáveis ambientais mais influenciaram na ocorrência dos focos erosivos hídricos lineares. Essa técnica estatística possui ampla aplicação em análises de dados multivariados, sendo particularmente eficaz na redução de grandes conjuntos de dados em componentes que mantêm a variabilidade essencial. A aplicação dessa análise identificou os principais fatores dominantes entre as variáveis ambientais analisadas que influenciam a ocorrência dos focos de erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso.

Foram ainda considerados dados sobre uso e cobertura disponíveis no Mapbiomas (Coleção 9, 2023), Litologia (Ross *et al.*, 2022), solos (primeiro nível categórico) e relevo (compartimentos de relevo) do Banco de Dados de Informações

Ambientais (BDIA) (escala 1:250.000). Além da variável de incompatibilidades de uso, construída por meio da sobreposição do mapa de potencialidade agrícola do IBGE com a camada de uso e cobertura (Mapbiomas, 2023). A seleção dessas variáveis fundamenta-se em suas relações diretas e indiretas com a ocorrência e a intensificação dos processos erosivos, conforme já evidenciado por Tavares e Castro (2024).

Ressalta-se que para a construção da variável de incompatibilidades de uso, cada classe de uso e cobertura foi comparada com a classe correspondente de potencialidade agrícola do solo, como sugerido por Carneiro (2012). O critério adotado baseou-se em uma matriz de adequação, onde cada combinação de uso e potencialidade foi avaliada como: Adequado: Quando o uso atual está em conformidade com a aptidão agrícola do solo (por exemplo, áreas de agricultura intensiva em solos com alta aptidão agrícola); Moderadamente Adequado: Quando o uso é possível, mas com restrições (por exemplo, pastagens em solos de aptidão moderada); Inadequado: Quando o uso é incompatível com a capacidade natural do solo, caracterizando áreas de incompatibilidade (por exemplo, agricultura em solos com baixa aptidão ou em áreas destinadas à conservação).

Essa matriz de adequação permitiu a classificação das incompatibilidades de uso em cinco níveis, a saber: 1) Muito Baixo: Uso totalmente compatível com a capacidade agrícola do solo; 2) Baixo: Uso predominantemente compatível, com poucas áreas em desacordo; 3) Moderado: Uso com presença de áreas em desacordo, mas não predominantes; 4) Alto: Uso majoritariamente incompatível com a capacidade agrícola do solo; e 5) Muito Alto: Uso totalmente inadequado às condições naturais do solo.

Partindo para a manipulação dos dados das variáveis, como todas as informações das variáveis não estavam originalmente em formato numérico, mas em dados categóricos, foi necessário transformá-las. Isso se deve ao fato de o método matemático-estatístico aplicado na análise de agrupamento necessitar que todas as variáveis sejam expressas numericamente. A figura 4 exemplifica o sistema de atribuição numérica para diferenciar as variáveis, sem distinção de peso entre elas.

**Figura 4.** Exemplo do sistema de identificação para as variáveis.

<b>Imcompatibilidades</b>				
<b>Relevo</b>	<b>Solos</b>	<b>Uso e cobertura</b>	<b>de uso</b>	<b>Litologia</b>
1 = Chapadas 2 = Patamares 3 = Planícies 4 = Depressões 5 = Planaltos 6 = Serras	1 = Latossolos 2 = Neossolos 3 = Cambissolos 4 = Plintossolos 5 = Argissolos 6 = Gleissolos 7 = Nitossolos 8 = Chernossolos 9 = Planossolos 10 = Organossolos 11 = Vertissolos	1 = Pastagem 2 = Savana 3 = Agricultura 4 = Florestas 5 = Ecótonos	1 = Muito baixo 2 = Baixo 3 = Moderado 4 = Alto 5 = Muito alto	1 = Arenitos e argilas 2 = Gnáisses e migmatitos 3 = Argilas e arenitos 4 = Arenitos e fílitos 5 = Aluviões arenoso 6 = Arenitos e granitos 7 = Arenitos 8 = Micaxistos e gnáisses 9 = Aluviões 10 = Arenitos e calcários

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Uma vez que todas as informações foram convertidas para valores numéricos, prosseguiu-se com a aplicação da ACP. Para essa operação, optou-se pelo uso do *software GEODA*, uma plataforma de código aberto utilizada para análises espaciais e estatísticas. O *GEODA* foi escolhido por seu sistema operacional simples, de fácil manuseio, e por ser capaz de lidar com grandes volumes de dados geoespaciais de forma eficiente além de ser bastante utilizado para processamentos estatísticos na temática geográfica e ambiental (Zhang; Cai; Xia, 2018; Yuan *et al.*, 2023).

O primeiro passo para a ACP foi o cálculo da matriz de correlação de *Pearson*, com o objetivo de verificar a existência de correlação linear significativa entre as variáveis quantitativas. A presença de correlação validou a aplicação da ACP, que gera novas variáveis (as componentes principais) formadas por combinações lineares das variáveis originais. Cada componente principal possui uma variância associada, sendo que o primeiro componente retém a maior parcela da variabilidade dos dados, seguido pelos componentes subsequentes, em ordem decrescente de explicação (Santos, 2018).

Após calcular a matriz de correlação e verificar correlação positiva entre as variáveis, o conjunto de dados foi então qualificado para a aplicação da ACP. A partir daí, foram gerados os componentes principais, que consistem em combinações lineares das variáveis originais. Cada componente principal possui uma variância própria, e as variáveis contribuem de forma diferenciada para a composição de cada componente. A seguir procedeu-se à seleção dos componentes mais influentes e realizou-se novamente as etapas de análise, com o objetivo de identificar quais as classes das variáveis eram mais representativas em áreas com focos erosivos mais

concentrados, estabelecendo assim a conexão entre os fatores dominantes e a ocorrência da erosão hídrica linear.

Compartimentação morfopedológica e identificação dos atributos morfométricos do relevo: A compartimentação morfopedológica, que consiste na interrelação substrato, solos e relevo, realizada com base na metodologia proposta por Tricart e Kilian (1978) e adaptada por Castro e Salomão (2000). Inicialmente, foram analisados os aspectos geológicos e a distribuição das principais litologias, as quais apresentam diferentes resistências aos processos de intemperismo e influenciam na dissecação do relevo. Em seguida, os aspectos do relevo foram identificados, considerando os compartimentos dominantes, os declives e as altitudes, que foram correlacionados com as litologias. Finalmente, foram analisados os solos, correlacionando-os às litologias e ao relevo, e, posteriormente, com os focos erosivos, a fim de construir chaves de correlação.

A compartimentação morfopedológica foi realizada com o auxílio do software *ArcGIS 10.8/ESRI*, utilizando as ferramentas geoespaciais para o processo de delimitação. Inicialmente, foi considerada a escala 1:250.000, devido à disponibilidade da base cartográfica do BDIA. No entanto, para obter uma interpretação mais precisa dos compartimentos e sua correlação com os processos erosivos, tornou-se necessário refinar os limites. Tal refinamento foi realizado com base no *Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model* (COP DEM\_GLO 30m), oriundo dos satélites *TerraSAR-X* e *TandDEM-X*, que possibilitou uma análise mais detalhada em escala compatível com 1:100.000. O uso do Modelo Digital de Elevação (MDE) permitiu uma representação topográfica mais precisa, garantindo maior acurácia na delimitação dos compartimentos e suas interações com os processos erosivos.

Os dados geológicos foram refinados cartograficamente com auxílio do MDE, ajustando os limites de cada classe litológica em processo supervisionado de edição e exportação em *shapefile*. O mapa geomorfológico e o de solos passaram por tratamento similar, com sobreposição de dados de hipsometria e declividade, oriundos do processamento do MDE, permitindo a identificação de cabeceiras de drenagem e regiões homogêneas em termos de relevo, conforme sugerido por Nunes e Castro (2023).

Após essa etapa preparatória, os CMP's foram delimitados e correlacionados espacialmente com o mapa dos focos erosivos lineares, de uso e cobertura (Coleção 9 Mapbiomas). A partir dessas correlações, foi construída uma matriz de correlação

espacial, permitindo a identificação dos CMP's mais afetados pelos processos erosivos, bem como suas variáveis condicionantes: solos, litologia, uso e cobertura, e declividade.

Após a delimitação dos compartimentos morfopedológicos, foram calculados os principais atributos morfométricos do relevo com base em índices topográficos primários e secundários. Esses índices foram gerados a partir do *Copernicus DEM*, por meio do plugin *Next SAGA Gen* no ambiente *QGIS 3.4*. Essa extensão permite a extração automatizada de diversos parâmetros morfométricos a partir de modelos de elevação, integrando funções do *SAGA GIS* à interface do *QGIS* de forma simplificada e eficiente para análises geomorfológicas.

Foram selecionados três índices topográficos: 1) Declividade, que influencia diretamente o escoamento superficial e a energia do fluxo; 2) Rugosidade do terreno, que expressa a variação altimétrica local e sua relação com a fragmentação do relevo e 3) O Potencial de fluxo hídrico que fornece uma correlação entre os caminhos de fluxo de água, as acumulações de fluxo e o ângulo de encosta que, juntos, definem o potencial de energia que a superfície da água tem para a erosão.

Esses atributos foram espacializados e correlacionados com os compartimentos morfopedológicos e os focos erosivos, permitindo avaliar os padrões topográficos associados à ocorrência e intensidade dos processos erosivos lineares.

### 3 RESULTADOS

Como resultados principais, é apresentada abaixo inicialmente uma caracterização geral do estado do Mato Grosso a partir da análise integrada das variáveis ambientais (geologia, relevo, solos e uso e cobertura da terra), fundamentais para compreender contextos físicos associados à erosão hídrica. Em seguida, são apresentados os dados referentes à distribuição espacial dos focos erosivos lineares, à densidade desses focos e à identificação das áreas críticas. Em seguida são expostos os resultados da análise estatística multivariada dos fatores ambientais, por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), destacando os condicionantes predominantes dos processos erosivos. Por fim, são abordados os resultados da compartimentação morfopedológica em uma das áreas críticas mais representativas, com base nos atributos ambientais e indicadores topográficos, permitindo uma análise mais detalhada da ocorrência de feições erosivas em escala local.

#### 3.1 Caracterização do estado do Mato Grosso

Devido à sua localização na região Centro-Oeste do Brasil e à abrangência de diversos biomas (Cerrado, Amazônia e Pantanal), o estado do Mato Grosso apresenta uma grande diversidade de características ambientais refletidas principalmente na sua distribuição geológica, de relevo, dos solos e de uso e cobertura.

Do ponto de vista geológico, o estado do Mato Grosso apresenta diversas unidades litológicas, ajudando a entender sua complexa evolução geotectônica. As unidades variam desde terrenos cristalinos antigos até coberturas sedimentares mais recentes. A Tabela 1 e a Figura 5 sintetizam essa diversidade, com destaque para a predominância de formações sedimentares, intrusivas e metamórficas.

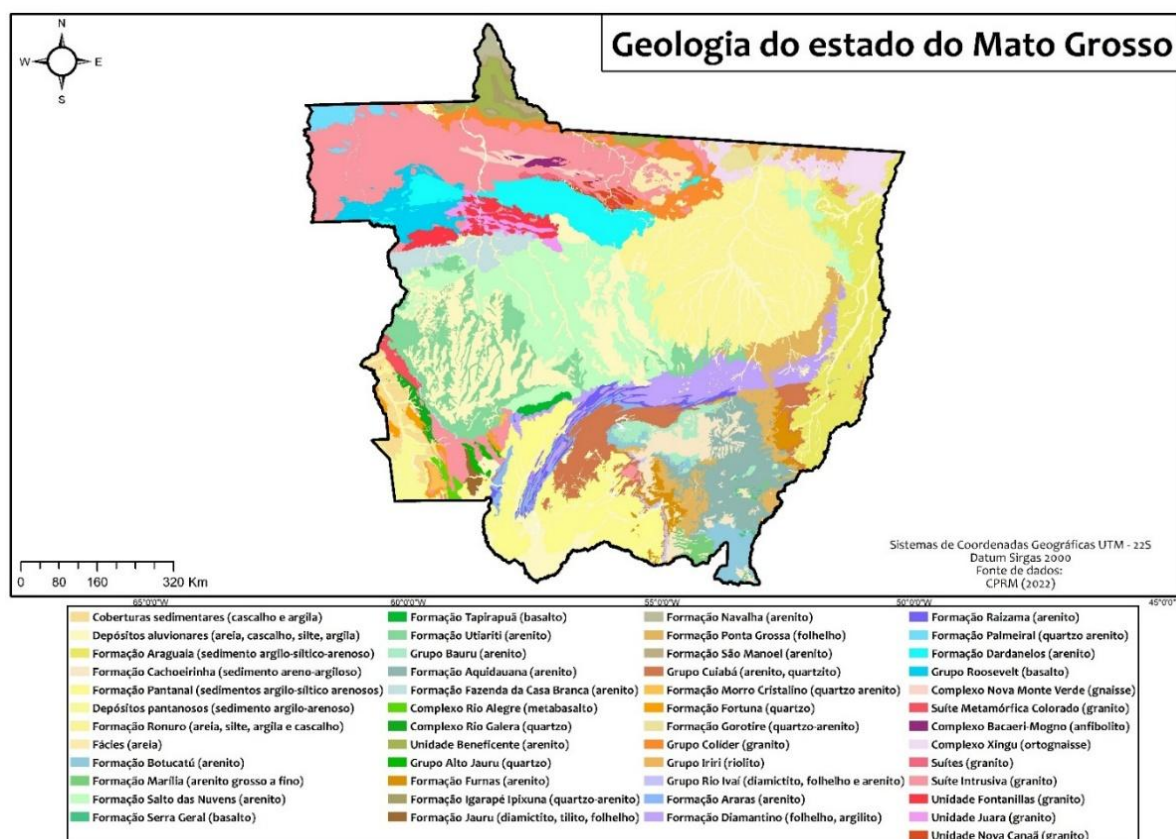
**Tabela 1.** Geologia do estado do Mato Grosso.

Litologias	Área		Litologias	Área	
	Km <sup>2</sup>	%		Km <sup>2</sup>	%
Depósitos aluvionares	123.837,50	<b>13,7%</b>	Formação Araras	5.771,07	<b>0,6%</b>
Formação Ronuro	98.138,84	<b>10,8%</b>	Formação Palmeiral	5.746,79	<b>0,6%</b>
Suíte Intrusiva	94.378,50	<b>10,4%</b>	Unidade Juara	5.626,56	<b>0,6%</b>
Formação Salto das Nuvens	73.619,23	<b>8,1%</b>	Fácies	5.521,77	<b>0,6%</b>
Formação Pantanal	51.677,12	<b>5,7%</b>	Grupo Iriri	5.193,05	<b>0,6%</b>

Formação Araguaia	45.737,54	<b>5,0%</b>	Formação Gorotire	5.147,52	<b>0,6%</b>
Formação Utiariti	41.437,46	<b>4,6%</b>	Formação Fortuna	3.767,57	<b>0,4%</b>
Formação Aquidauana	30.899,71	<b>3,4%</b>	Formação Marília	3.722,79	<b>0,4%</b>
Formação Dardanelos	29.222,30	<b>3,2%</b>	Comp. Nova Monte Verde	3.490,12	<b>0,4%</b>
Formação Diamantino	28.164,16	<b>3,1%</b>	Formação Igarapé Ipixuna	3.477,14	<b>0,4%</b>
Formação Ponta Grossa	26.942,10	<b>3,0%</b>	Suíte Metamórfica Colorado	2.638,28	<b>0,3%</b>
Grupo Cuiabá	25.771,95	<b>2,8%</b>	Unidade Nova Canaã	2.368,39	<b>0,3%</b>
Grupo Colíder	18.083,65	<b>2,0%</b>	Complexo Rio Galera	2.366,65	<b>0,3%</b>
Complexo Xingu	17.856,13	<b>2,0%</b>	Formação São Manoel	2.166,30	<b>0,2%</b>
Formação Cachoeirinha	17.812,44	<b>2,0%</b>	Formação Navalha	2.083,01	<b>0,2%</b>
Grupo Roosevelt	15.861,45	<b>1,8%</b>	Formação Tapirapuã	1.888,45	<b>0,2%</b>
Formação Fazenda da Casa Branca	13.325,96	<b>1,5%</b>	Complexo Rio Alegre	1.770,82	<b>0,2%</b>
Unidade Fontanillas	10.960,55	<b>1,2%</b>	Grupo Alto Jauru	1.604,13	<b>0,2%</b>
Formação Botucatu	10.582,99	<b>1,2%</b>	Formação Jauru	1.579,98	<b>0,2%</b>
Unidade Beneficente	9.858,05	<b>1,1%</b>	Grupo Rio Ivaí	1.571,72	<b>0,2%</b>
Coberturas sedimentares	9.600,39	<b>1,1%</b>	Suíte	1.476,31	<b>0,2%</b>
Unidade Depósitos pantanosos	8.826,75	<b>1,0%</b>	Complexo Bacaeri-Mogno	1.470,40	<b>0,2%</b>
Formação Furnas	8.301,60	<b>0,9%</b>	Formação Morro Cristalino	1.399,90	<b>0,2%</b>
Formação Raizama	7.032,96	<b>0,8%</b>	Formação Serra Geral	684,23	<b>0,1%</b>
Grupo Bauru	7.400,10	<b>0,8%</b>			
Total				903.325,4	100%

Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Figura 5. Distribuição Litológica no estado do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As unidades de maior destaque em área evidenciam diferentes condições de formação predominantes: os depósitos aluvionares (13,7%) estão associados a áreas de baixa altitude e dinâmica deposicional recente, e localizam-se em porções abrangentes do estado, centro-oeste e extremos norte e sul. A Formação Ronuro (10,8%) compreende rochas vulcânicas e sedimentares retrabalhadas, concentradas a nordeste do estado. Já a Suíte Intrusiva (10,4%) é composta por rochas ígneas consolidadas e mais antigas, encontradas em maior quantidade de fragmentos na porção norte. Outras unidades litológicas de destaque incluem a Formação Salto das Nuvens (8,1%), a Formação Pantanal (5,7%), e as formações Araguaia, Utiariti e Aquidauana, com coberturas superiores a 3% da área estadual. As demais litologias estão distribuídas em proporções menores, muitas com caráter localizado, como o Grupo Cuiabá, o Complexo Xingu, o Grupo Roosevelt, entre outras. Entretanto, cerca de 57% da área é composta por formações predominantemente sedimentares, como as formações Botucatu, Araguaia e Aquidauana. Além disso, existem também formações de origem vulcânica e mista, tais como a Formação Ronuro e a Serra Geral.

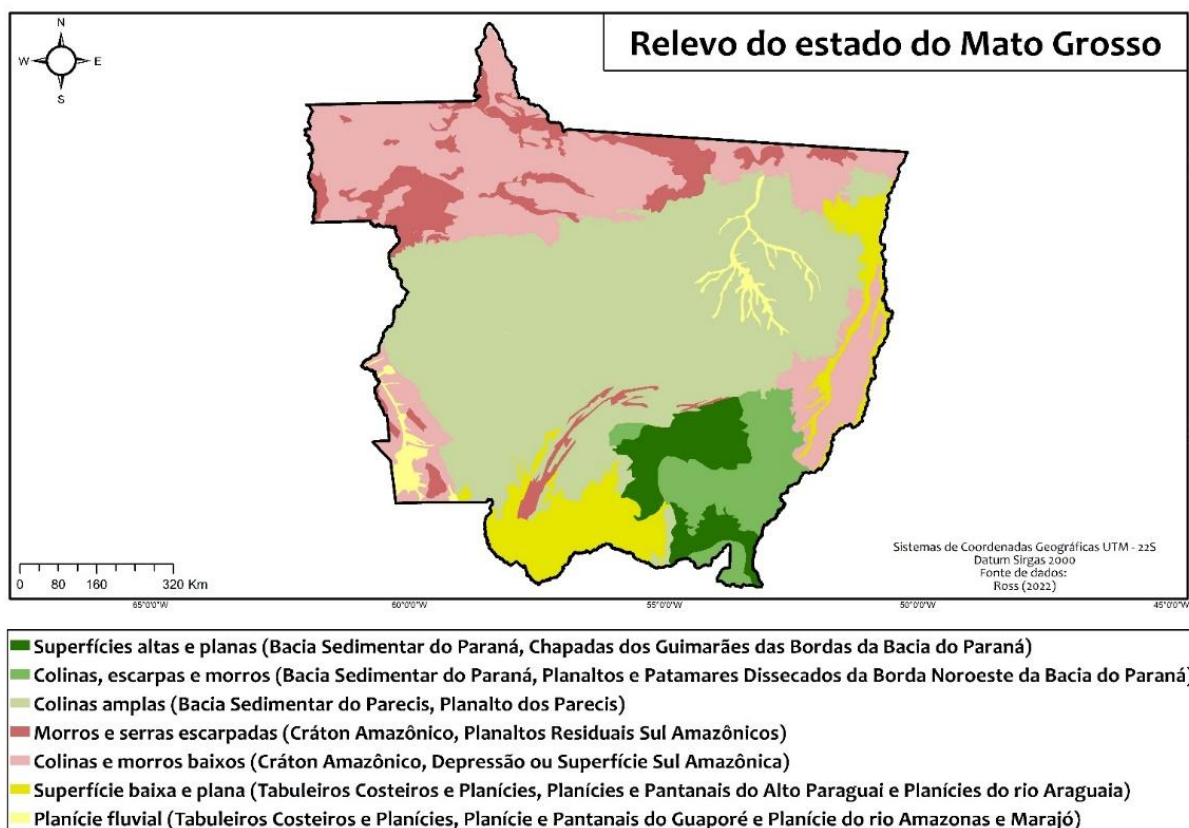
Em termos de relevo, Mato Grosso é caracterizado por sete diferentes compartimentos: Colinas amplas; Colinas e morros baixos; Superfície baixa e plana; Morros e serras escarpadas; Colinas, escarpas e morros; Superfícies altas e planas; e Planície fluvial (Tabela 2 e Figura 6). As colinas amplas predominam, ocupando 419.916,59 km<sup>2</sup> (46,19%) da área estadual, e se concentram principalmente na porção centro-oeste do Estado. Associadas à Bacia Sedimentar do Parecis e ao Planalto dos Parecis, essas colinas estão inseridas em terrenos do Grupo Parecis, compostos por sedimentos do Cretáceo, com recobrimento descontínuo de detritos argilosos (Ross *et al.*, 2022).

**Tabela 2.** Relevo do estado do Mato Grosso.

Relevo	Área	
	Km <sup>2</sup>	%
Colinas amplas (Bacia Sedimentar do Parecis, Planalto dos Parecis)	419.916,59	46,19%
Colinas e morros baixos (Cráton Amazônico, Depressão ou Superfície Sul Amazônica)	224.559,77	24,70%
Superfície baixa e plana (Tabuleiros Costeiros e Planícies, Planícies e Pantanais do Alto Paraguai e Planícies do rio Araguaia)	74.243,38	8,17%
Morros e serras escarpadas (Cráton Amazônico, Planaltos Residuais Sul Amazônicos)	72.800,98	8,01%
Colinas, escarpas e morros (Bacia Sedimentar do Paraná, Planaltos e Patamares Dissecados da Borda Noroeste da Bacia do Paraná)	55.218,76	6,07%
Superfícies altas e planas (Bacia Sedimentar do Paraná, Chapadas dos Guimarães das Bordas da Bacia do Paraná)	45.198,62	4,97%
Planície fluvial (Tabuleiros Costeiros e Planícies, Planície e Pantanais do Guaporé e Planície do rio Amazonas e Marajó)	17.255,46	1,90%
Total	903.325,41	100%

Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

**Figura 6.** Distribuição do Relevo no estado do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As colinas e morros baixos, que somam 24,70% da área (224.559,77 km<sup>2</sup>), estão localizadas predominantemente na região norte do Estado e fazem parte da chamada Depressão ou Superfície Sul Amazônica, associada ao Cráton Amazônico. Essa unidade apresenta altitudes que variam entre 100 e 400 metros, com elevações crescentes no sentido norte-sul. O relevo é caracterizado por topos levemente convexos e colinas arredondadas, configurando um modelado suavemente ondulado, interrompido ocasionalmente por relevos residuais isolados, resultantes de intrusões graníticas ou remanescentes de antigas coberturas sedimentares (Ross *et al.*, 2022).

Em seguida, destacam-se as superfícies baixas e planas (8,17%) e os compartimentos de Morros e serras escarpadas (8,01%). As Superfícies baixas e planas correspondem às Planícies e Pantanaís do Alto Paraguai e às Planícies do rio Araguaia, localizadas majoritariamente na porção sul do Estado. As Planícies e Pantanaís do Alto Paraguai caracterizam-se por altitudes entre 100 e 150 metros, configurando regiões de deposição de sedimentos aluviais recentes. A Planície do rio Araguaia apresenta topografia bastante nivelada, com elevações suaves em torno de 200 metros, recobertas por vegetação de Cerrado, que varia de aberta à campos

limpos (Ross *et al.*, 2022; Ross; Cunico; Lohmann, 2022). Já os compartimentos de Morros e Serras escarpadas estão associados aos Planaltos Residuais Sul Amazônicos, formados predominantemente por intrusões graníticas do Pré-Cambriano. Essas intrusões determinam formas de relevo com topos convexos e distribuição descontínua. Nessas regiões também ocorrem coberturas sedimentares antigas, que, em determinados pontos, originam relevos residuais de topos planos ou nivelados (Ross *et al.*, 2022).

Os demais compartimentos possuem menor participação. As Colinas, escarpas e morros, típicas da borda noroeste da Bacia do Paraná, representam 6,07% da área, enquanto as Superfícies altas e planas, associadas às Chapadas dos Guimarães e à Bacia Sedimentar do Paraná, totalizam 4,97%. Já as Planícies fluviais representam apenas 1,90% da área, ocorrendo de forma mais expressiva nas regiões associadas aos rios Guaporé, Araguaia e Amazonas.

No que se refere aos solos, a classe dos Latossolos é a predominante, cobrindo 367.851,57 km<sup>2</sup> (40,64%) da área, conforme apresentado na Tabela 3 e Figura 7. São solos profundos, bem drenados e estruturalmente estáveis, características que favorecem o uso agrícola, sobretudo no Cerrado. Apesar da baixa fertilidade natural, são intensamente utilizados pela possibilidade de correções químicas e manejo. No entanto, quando manejados de maneira inadequada, tornam-se suscetíveis à erosão, especialmente em áreas com relevo mais dissecado.

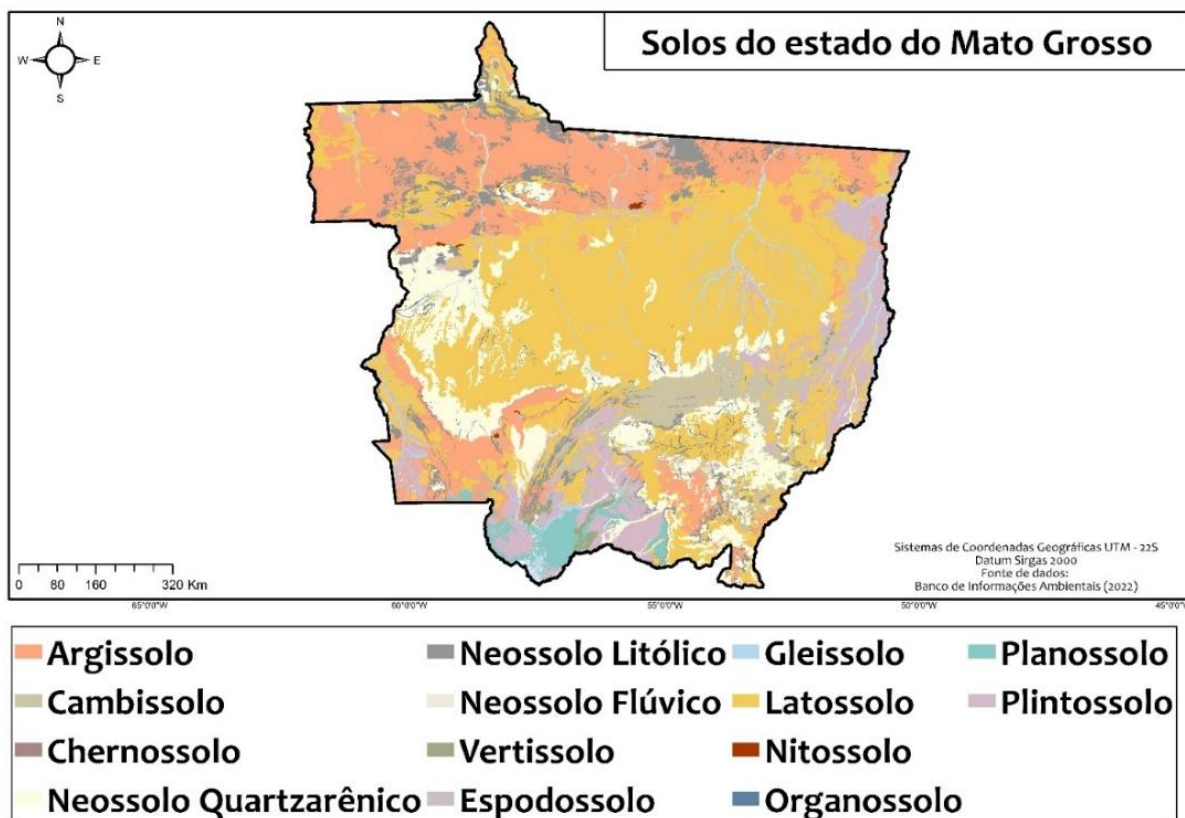
**Tabela 3.** Solos do estado do Mato Grosso.

Solos	Área	
	Km <sup>2</sup>	%
Latossolo	367.851,57	40,64%
Argissolo	195.373,79	21,58%
Neossolo Quartzarênico	109.098,95	12,05%
Plintossolo	84.159,70	9,30%
Neossolo Litólico	53.201,87	5,88%
Cambissolo	42.813,43	4,73%
Gleissolo	26.095,88	2,88%
Planossolo	17.387,44	1,92%
Vertissolo	3.139,81	0,35%
Organossolo	2.854,67	0,32%
Neossolo Flúvico	1.985,73	0,22%
Nitossolo	783,44	0,09%

Chernossolo	398,87	0,04%
Espodossolo	27,46	0,00%
Total	903.325,41	100%

Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

**Figura 7.** Distribuição dos solos no estado do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Além dos Latossolos, destacam-se os Argissolos, que ocupam 21,58% do estado (195.373,79 km<sup>2</sup>). Esses solos são moderadamente profundos, de baixa fertilidade natural, porém apresentam boa capacidade de retenção de água e como os Latossolos, são amplamente utilizados para pastagens e cultivos agrícolas. No entanto, esses solos apresentam alto gradiente textural entre os horizontes A, E e B, além de baixa coesão estrutural o, que frente a um relevo mais acidentado, os torna mais suscetíveis ao fenômeno erosivo hídrico.

Os Neossolos Quartzarênicos, com elevada representatividade no Estado, correspondem a 12% da área do Mato Grosso (164.286,55 km<sup>2</sup>). Sua distribuição se concentra principalmente em áreas de relevo plano a suavemente ondulado, muitas vezes associadas a formações areníticas. Esses solos ocorrem de forma contínua em

porções a oeste e sudeste do estado. Embora tradicionalmente associados a materiais inconsolidados e de baixa evolução pedogenética, estudos indicam que nem todos os Neossolos Quartzarênicos são solos jovens, podendo incluir perfis mais antigos e estabilizados, dependendo do contexto geomorfológico e da dinâmica de formação local (Nakashima, 1999).

Os demais tipos de solos, como Plintossolos (9,3%), Neossolo Litólico (5,8%), Cambissolos (4,7%), Gleissolos (2,8%), Planossolos (1,92%), Vertissolos (0,35%), Organossolos (0,32%), Nitossolos (0,09%), Chernossolos (0,04%), Neossolo Flúvico (0,2%) e Espodossolos (0,00%), representam os solos com menor distribuição no estado.

Em relação ao uso e cobertura, o estado do Mato Grosso evidencia duas classes principais: as áreas de vegetação natural e as áreas de uso antrópico, com destaque para as atividades agropecuárias (Tabela 4). As áreas de vegetação natural representam uma parcela significativa, onde se destaca a formação florestal, que cobre 323.132,26 km<sup>2</sup> (35,8%), localizada principalmente na porção norte do estado, em áreas associadas ao bioma Amazônia. Além dessa, a formação savânica, típica do bioma Cerrado, ocupa 117.650,64 km<sup>2</sup> (13,1%), enquanto as formações campestres somam 27.304,47 km<sup>2</sup> (3,0%). As florestas alagáveis (33.763,40 km<sup>2</sup>, 3,7%) e os campos alagados (40.044,81 km<sup>2</sup>, 4,4%) representam baixa cobertura, e são comuns em regiões de planície e áreas sujeitas a inundações, como o Pantanal.

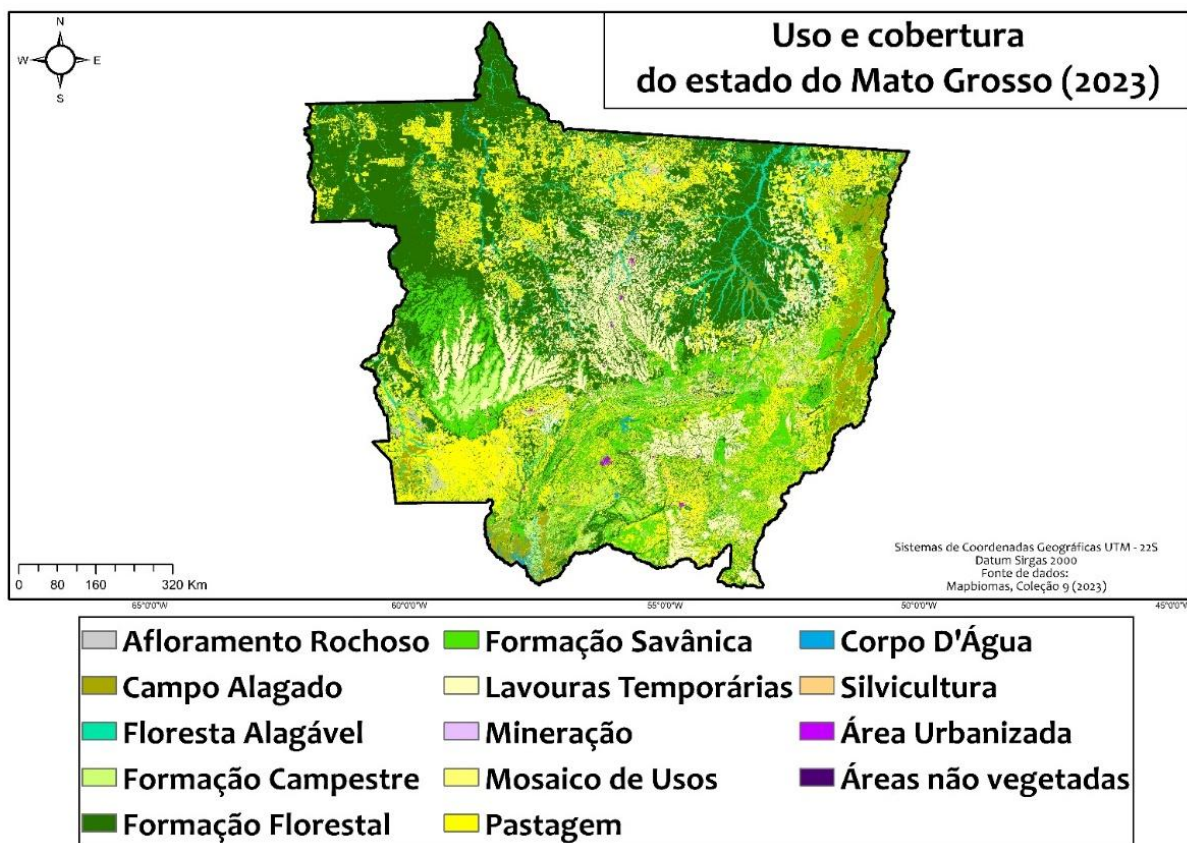
**Tabela 4.** Uso e cobertura no estado do Mato Grosso (2023).

Uso e Cobertura	Área	
	Km <sup>2</sup>	%
Formação Florestal	323.132,26	35,8%
Pastagem	213.559,16	23,7%
Formação Savânica	117.650,64	13,1%
Lavouras Temporárias	117.263,32	13%
Campo Alagado	40.044,81	4,4%
Floresta Alagável	33.763,40	3,7%
Formação Campestre	27.304,47	3,0%
Mosaico de Usos	10.968,41	1,2%
Rio, Lago e Oceano	7.145,28	0,8%
Áreas não vegetadas	3.701,55	0,4%
Afloramento Rochoso	3.268,77	0,4%
Silvicultura	1.551,62	0,2%

Área Urbanizada	1.380,09	0,2%
Mineração	727,75	0,1%
Total	903.325,41	100%

Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

**Figura 8.** Distribuição dos Usos e cobertura no estado do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Por outro lado, as áreas de uso antrópico são dominadas por pastagens, que se estendem por 213.559,16 km<sup>2</sup> (23,7%), representando a principal atividade agropecuária do estado. Em sequência, as áreas de cultivo (Lavouras temporárias) representam uma parcela considerável, cobrindo 117.263,32 km<sup>2</sup> (13%), o que reafirma a relevância do Mato Grosso como um dos principais polos de produção agrícola do Brasil. Essas áreas agropecuárias estão concentradas especialmente na porção sul e sudeste do estado, onde o relevo e os solos são mais favoráveis à correção e mecanização agrícola.

Outras classes de uso antrópico como o mosaico de usos, cobre 10.968,41 km<sup>2</sup> (1,2%). As áreas urbanizadas, concentradas em polos urbanos como Cuiabá, Rondonópolis e Sinop representam 1.380,09 km<sup>2</sup> (0,2%). Por fim, outras classes

menos expressivas incluem as áreas não vegetadas (0,4%), os afloramentos rochosos (0,4%), a silvicultura (0,2%) e a mineração (0,1%). Essas classes refletem usos específicos e, muitas vezes, localizados, mas que podem ter impactos significativos na paisagem e nos recursos naturais do estado.

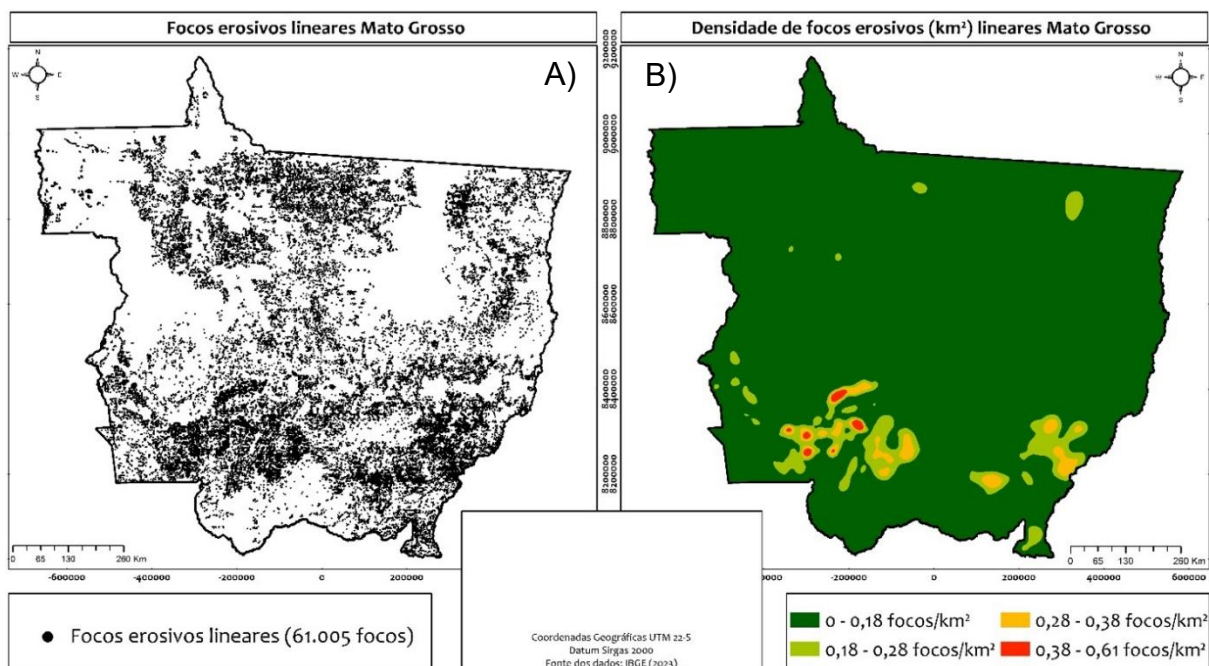
Todas as variáveis abordadas revelam a complexidade ambiental do Mato Grosso, caracterizada por uma ampla variedade geológica, relevo, classes de solo e formas de uso e cobertura, o que influencia diretamente os processos de degradação do solo, incluindo a erosão hídrica linear.

### **3.2 Focos erosivos, Densidade de focos e Áreas críticas**

O levantamento realizado identificou um total de 61.005 focos erosivos lineares distribuídos ao longo do território do estado do Mato Grosso (Figura 9 - A). A espacialização dos focos mostra uma ampla dispersão do fenômeno, com maior concentração na região sul do estado. Estas áreas apresentam aglomerados mais densos de focos erosivos, que correspondem a regiões dentro do limite do bioma Cerrado.

A análise da densidade de focos erosivos, expressa em número de focos por quilômetro quadrado (focos/km<sup>2</sup>), reforça esse padrão de concentração (Figura 9 - B). A maior parte do estado apresenta densidades baixas, variando entre 0 e 0,18 focos/km<sup>2</sup>. No entanto, destacam-se áreas com densidades mais elevadas, variando de 0,18 a 0,28 e de 0,38 a 0,61 focos/km<sup>2</sup>, localizadas principalmente a sudoeste do estado. Essas áreas correspondem a agrupamentos (*clusters*) com maiores valores de densidade, indicando regiões críticas quanto à ocorrência de processos erosivos lineares. Essa distribuição espacial no sul do estado do Mato Grosso, pode estar relacionada a histórica e intensa conversão de cobertura natural em áreas de uso agropecuário que ocorrem desde o século passado.

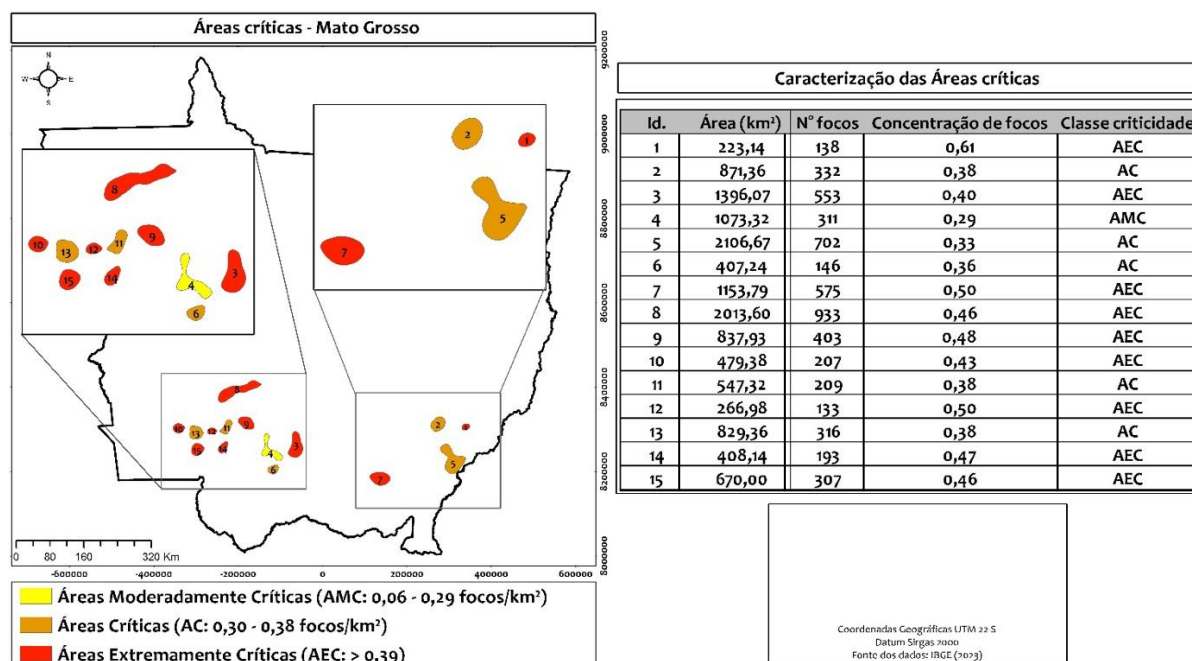
**Figura 9.** A) Focos erosivos lineares; B) Densidade de focos (km<sup>2</sup>) do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base na densidade de focos erosivos (Figura 9 – B), foram identificadas 15 áreas críticas no estado do Mato Grosso. Essas áreas foram agrupadas em três classes de criticidade: Moderadamente Críticas (AMC), Críticas (AC) e Extremamente Críticas (AEC) (Figura 10). Essa classificação foi realizada a partir do cálculo da concentração de focos por quilômetro quadrado, considerando os seguintes intervalos: AMC (0,06 – 0,29 focos/km<sup>2</sup>), AC (0,30 – 0,38 focos/km<sup>2</sup>) e AEC (> 0,39 focos/km<sup>2</sup>).

**Figura 10.** Áreas críticas de erosão hídrica linear do estado do Mato Grosso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As Áreas Moderadamente Críticas (AMC) representam as regiões com menor densidade de focos dentro do conjunto de áreas. Apenas uma área foi classificada nesta faixa: a área 4, com 1.073,32 km<sup>2</sup> e 311 focos mapeados, resultando em uma concentração de 0,29 focos/km<sup>2</sup>. As Áreas Críticas (AC), por sua vez, compreendem cinco áreas: 2 (332 focos e 0,38 focos/km<sup>2</sup>); 5 (702 focos e 0,33 focos/km<sup>2</sup>); 6 (146 focos e 0,36 focos/km<sup>2</sup>); 11 (209 focos e 0,38 focos/km<sup>2</sup>); e 13 (316 focos e 0,38 focos/km<sup>2</sup>), que juntas totalizam 2.665,59 km<sup>2</sup> e mais de 1.705 focos erosivos. Por fim, as Áreas Extremamente Críticas (AEC) concentram os mais altos índices de erosão linear, com densidades superiores a 0,39 focos/km<sup>2</sup>. Nove áreas foram identificadas nessa categoria: 1 (138 focos e 0,61 focos/km<sup>2</sup>); 3 (553 focos e 0,40 focos/km<sup>2</sup>); 7 (575 focos e 0,50 focos/km<sup>2</sup>); 8 (933 focos e 0,46 focos/km<sup>2</sup>); 9 (403 focos e 0,48 focos/km<sup>2</sup>); 10 (207 focos e 0,43 focos/km<sup>2</sup>); 12 (133 focos e 0,50 focos/km<sup>2</sup>); 14 (193 focos e 0,47 focos/km<sup>2</sup>); e 15 (307 focos e 0,46 focos/km<sup>2</sup>), totalizando cerca de 3.442 focos mapeados. A maior densidade foi registrada na área 1, com 0,61 focos/km<sup>2</sup>, embora com menor extensão territorial (223,14 km<sup>2</sup>).

### 3.3 Erosão hídrica linear: Síntese estatística dos fatores ambientais

A aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu sintetizar a variabilidade das variáveis ambientais associadas à ocorrência da erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso. A análise considerou cinco variáveis: incompatibilidades de uso e cobertura, classes de solos, litologias e compartimentos do relevo.

Os resultados da análise ACP ainda mostraram que os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) concentram a maior parte da variabilidade dos dados, com autovalores de 1,51418 e 1,01039, respectivamente. Juntas, esses componentes explicam 63,1% da variância total dos dados analisados. A seleção desses dois componentes para as análises subsequentes, seguiram o critério de Kaiser, segundo o qual devem ser retidas apenas os componentes com autovalores superiores a 1, pois essas são consideradas estatisticamente relevantes por explicarem mais variância do que uma variável original isolada. Os componentes PC3 e PC4 apresentaram autovalores inferiores a esse limite, indicando menor relevância na estrutura dos dados (0,88074 e 0,59467, respectivamente).

Nesse sentido, para cada variável considerada em cada componente principal é atribuída uma carga fatorial, que expressa o grau de correlação entre a variável original e o componente extraído. Cargas fatoriais mais próximas de +1 indicam forte influência da variável sobre o componente, enquanto valores próximos de zero indicam baixa correlação. A Tabela 5 apresenta as cargas fatoriais das variáveis em cada componente principal, evidenciando o grau de contribuição de cada variável na explicação dos dados.

**Tabela 5.** Cargas fatoriais das variáveis ambientais.

	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
Incompatibilidades de uso	<b>0.62741</b>	-0.238735
Uso/Cobertura	-0.431346	0.18516
Solos	0.615604	0.108551
Compartimentos do relevo	0.17005	<b>0.947068</b>
Litologia	0.25849	0.619759

Fonte: IBGE (2022), GeoDA.

Os resultados acima (Tabela 5) demonstram que a PC1 é fortemente influenciada pela variável incompatibilidades de uso (0,627). Essa contribuição significativa das incompatibilidades de uso indica que áreas onde há divergência entre a aptidão agrícola e o uso atual concentram maior ocorrência de processos erosivos.

Já o componente PC2 apresenta forte correlação com os compartimentos do relevo (0,947), indicando que essa dimensão está fortemente associada às características morfológicas da paisagem. Essas variáveis, por apresentarem as maiores cargas positivas em seus respectivos componentes, são os principais fatores associados à distribuição espacial da erosão hídrica linear no Estado. Outras cargas positivas se destacaram, como a das litologias (0,615 – PC2), solos (0,615 – PC1) e uso e cobertura (0,185 – PC2), o que reforça a ideia de que os processos erosivos no Estado são condicionados por fatores distintos, porém complementares: a relação uso-solo e o relevo.

A etapa seguinte da análise, de refinamento desses resultados, focou na identificação das classes mais representativas dessas variáveis dominantes em que se concentram os focos erosivos. Ao todo, foram avaliadas 11 variáveis correspondentes às diferentes classes dessas duas variáveis dominantes - Compartimentos do relevo: Depressões, Planaltos, Patamares, Planícies, Chapadas e Serras; Incompatibilidades: Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito alta. Os resultados evidenciaram que os oito primeiros componentes principais apresentaram autovalores superiores a 1 (pelo critério de Kaiser), sendo, portanto, selecionados para interpretação. Os autovalores registrados foram: PC1 = 1,64605, PC2 = 1,51978, PC3 = 1,40938, PC4 = 1,27104, PC5 = 1,11844, PC6 = 1,10550, PC7 = 1,05226 e PC8 = 1,01076. Juntos, esses oito componentes explicam 91,57% da variância total. Esse resultado revela que há elevada variabilidade interna entre as classes das variáveis ambientais dominantes, o que reforça a importância de compreendê-las individualmente na explicação dos padrões espaciais da erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso.

Considerando os oito primeiros componentes principais (PC1 a PC8), foram identificadas as classes que apresentaram maiores cargas fatoriais positivas (superiores a 0,50), indicando maior contribuição para a variabilidade explicada pelos componentes e, portanto, maior associação com os focos erosivos mapeados. A Tabela 6 expressa os resultados obtidos de cargas fatoriais para cada variável de análise.

**Tabela 6.** Cargas fatoriais das classes das variáveis ambientais.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Muito baixa incompatibilidade	-0,2561	-0,717	0,2061	0,1414	0,0619	-0,116	0,0168	-0,060

Baixa incompatibilidade	0,4153	0,3367	-0,1291	<b>0,5718</b>	-0,016	0,0924	0,1238	-0,243
Moderada incompatibilidade	0,1382	0,2412	0,3007	-0,5909	0,1858	0,1711	-0,423	-0,097
Alta incompatibilidades	-0,2937	0,2841	-0,4681	-0,2495	-0,012	0,0147	0,2130	0,2451
Muito alta incompatibilidade	0,0062	0,0878	0,0991	-0,0686	-0,574	-0,341	0,1032	<b>0,5400</b>
Chapadas	0,0240	0,0648	0,0577	0,3971	0,1885	-0,031	-0,636	<b>0,5295</b>
Depressões	-0,1251	0,2262	<b>0,6566</b>	0,0686	-0,065	0,2274	0,3954	0,0490
Patamares	-0,5227	0,0185	-0,3234	0,0867	-0,136	0,3639	-0,173	-0,159
Planaltos	<b>0,5926</b>	-0,359	-0,2801	-0,2566	-0,060	0,0644	0,0955	0,0887
Planícies	-0,1200	0,1677	-0,0503	-0,0267	<b>0,5812</b>	-0,643	0,1850	-0,044
Serras	-0,0390	0,1146	0,0397	-0,0199	-0,480	-0,477	-0,337	-0,507

Fonte: IBGE (2022), GeoDA.

No componente principal 1 (PC1), a classe Planaltos apresentou a maior carga fatorial positiva (0,5926), indicando a estreita associação entre este compartimento do relevo e a variabilidade dos focos. Isso indica que os planaltos, frequentemente associados a áreas de uso agropecuário intensivo e solos mais suscetíveis, concentram elevada quantidade de focos erosivos. No PC2, nenhuma classe apresentou carga superior a 0,5. O componente principal 3 (PC3) é fortemente influenciado pela classe Depressões (0,6566). No PC4, a classe baixa incompatibilidade se destaca (0,5718), evidenciando sua contribuição como indicador de transição crescente entre uso e potencial agrícola.

O componente PC5 apresentou forte correlação positiva com a classe Planícies (0,5812). Esse resultado pode estar relacionado à presença de solos mal drenados, compactados ou degradados, que favorecem o escoamento superficial mesmo em áreas planas. Já na componente PC8, observaram-se duas cargas relevantes: Muito alta incompatibilidade (0,5400) e Chapadas (0,5295). A alta incompatibilidade entre uso e aptidão em áreas de topo plano pode indicar que o uso intensivo dessas regiões, poderia estar intensificando os processos erosivos. Os PC's 6 e 7 não apresentaram carga fatorial positiva maior que 0,50.

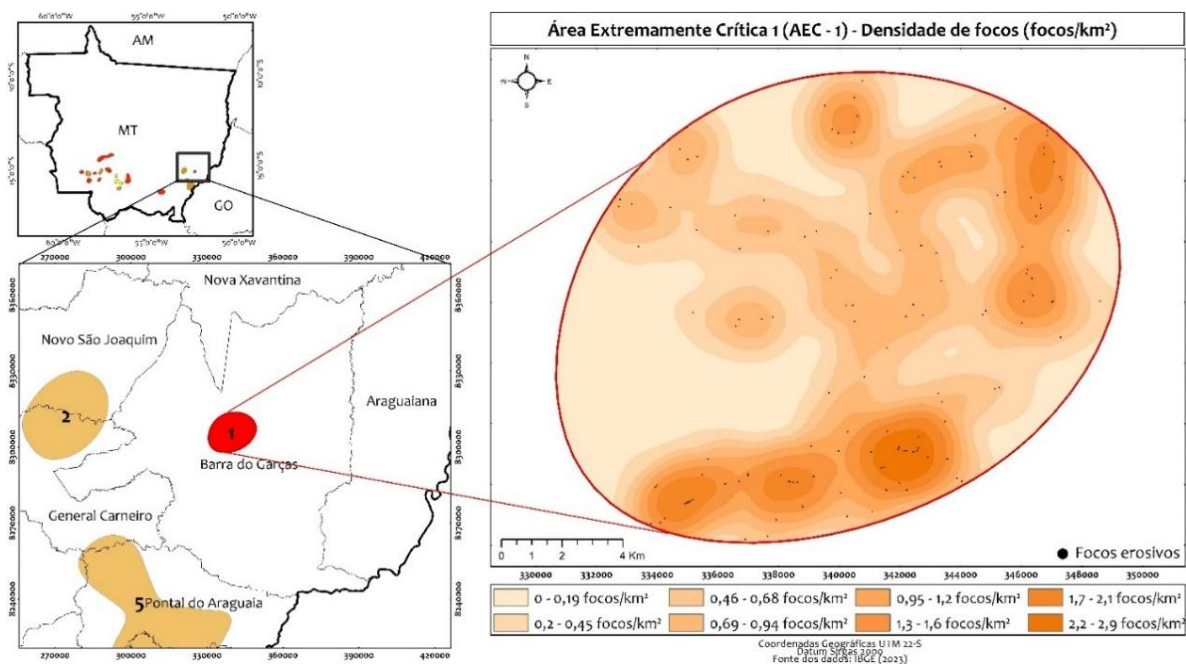
Por fim, nota-se que algumas classes apresentaram cargas negativas elevadas, como muito baixa incompatibilidade (-0,7170 em PC2), Patamares (-0,5227 em PC1) e Serras (-0,5075 em PC8). Essas cargas negativas indicam uma correlação

inversa com os respectivos componentes, ou seja, esses ambientes tendem a ser menos associados à ocorrência de processos erosivos lineares nas dinâmicas identificadas pela ACP.

### 3.4 Compartimentação morfopedológica e identificação dos atributos morfométricos do relevo

A compartimentação morfopedológica foi realizada na área crítica número 1, selecionada por apresentar o maior índice de criticidade entre todas as áreas críticas identificadas, correspondendo a concentração de 0,61 focos/km<sup>2</sup>. Essa área possui 138 feições erosivas em uma extensão territorial de 223,14 km<sup>2</sup> e é considerada como representativa das áreas mais suscetíveis à erosão hídrica linear no estado. A AEC 1 está localizada dentro dos limites municipais de Barra do Garças, próximo à divisa com o estado de Goiás. Nessa área são identificadas regiões de elevada densidade de focos, com regiões apresentando densidade de 2,9 focos/km<sup>2</sup>. As áreas de maior densidade estão localizadas nas porções sul e nordeste da AEC. A Figura 11 apresenta a localização e distribuição da densidade de focos erosivos da AEC – 1.

**Figura 11.** Localização e distribuição da densidade de focos erosivos da AEC - 1.



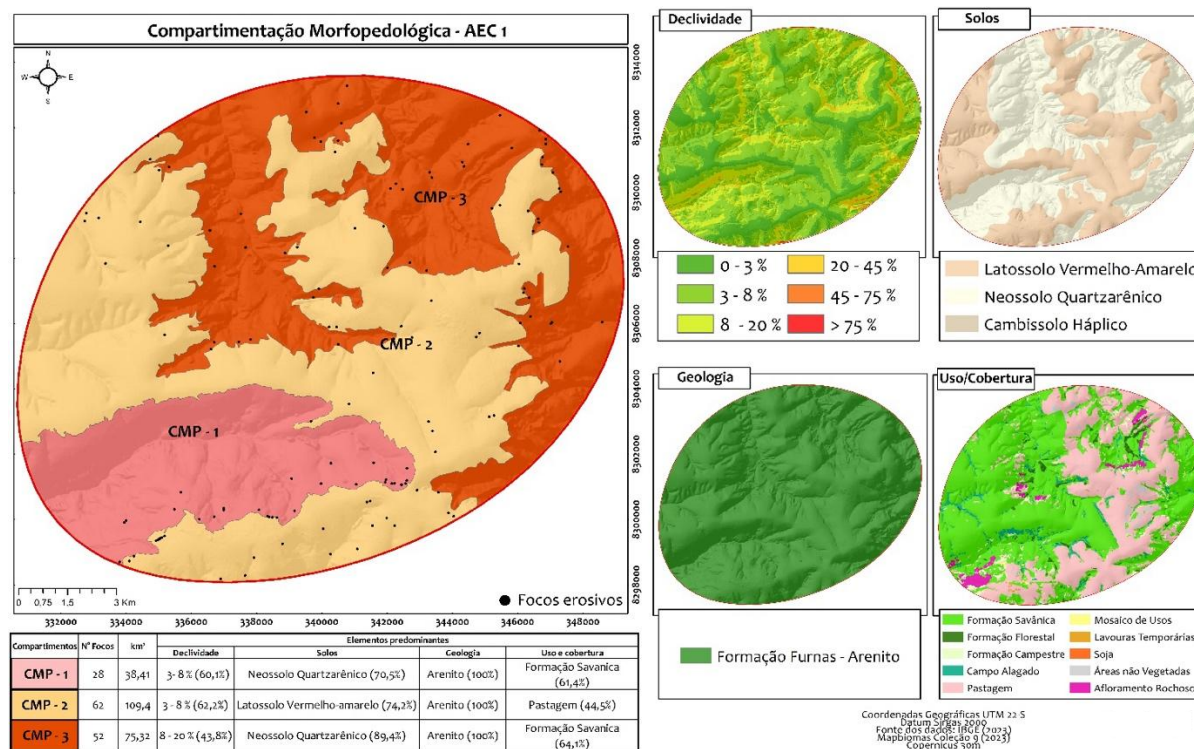
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A AEC 1 apresenta diferentes características ambientais e de uso e cobertura predominantes (Figura 12). O relevo varia de formas planas a fortemente onduladas, com predomínio de terrenos planos e levemente ondulados, com declividades entre 3% e 20%, o que favorece o escoamento superficial. Nas porções nordeste e sudeste da AEC estão localizadas as maiores declividades, maiores que 45% e que ultrapassam 75%. Quanto à distribuição dos solos, predominam os Neossolos Quartzarênicos, arenosos, e os Latossolos Vermelho-Amarelos, de textura média. Os primeiros são solos de baixa coesão estrutural e reduzida capacidade de retenção hídrica, apresentando alta suscetibilidade à erosão, especialmente em áreas sem cobertura vegetal. Já os Latossolos, embora profundos, bem drenados e com estrutura estável, podem se tornar mais suscetíveis à erosão hídrica quando submetidos a uso intensivo e manejo inadequado, devido à instabilidade estrutural potencial.

Do ponto de vista geológico, toda a área da AEC 1 está assentada sobre arenitos da Formação Furnas, pertencente ao Grupo Paraná. Essa formação é composta predominantemente por arenitos finos a muito finos, pouco consolidados e de natureza friável, o que a torna altamente suscetível à dissecação sob ação de agentes erosivos, sobretudo em locais onde o solo é raso ou intensamente erodido (Santos *et al.*, 2015).

Já em termos de uso e cobertura, destacam-se formações savânicas e áreas de pastagem como as predominantes, além da presença de áreas agrícolas representadas por mosaicos de usos, plantações de soja e outras lavouras temporárias, o que indica intensa atividade agropecuária e pressão antrópica.

**Figura 12.** Características ambientais e Compartimentos Morfopedológicos da AEC - 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Foram identificados três compartimentos morfopedológicos (CMP's) na AEC 1, cada um com combinações distintas de atributos físicos e padrões de uso e cobertura, os quais ajudam na explicação da variabilidade espacial da ocorrência de feições erosivas.

O CMP-1, localizado na porção sudoeste da AEC, compreende uma área de 38,41 km<sup>2</sup> e concentra 28 focos erosivos, quase 1 foco/Km<sup>2</sup>. Esse CMP é caracterizado por um relevo suavemente ondulado a ondulado, com declividades variando entre 8% e 23%, predominando a classe de 3% a 8% (60,1%). Os solos predominantes são os Neossolos Quartzarênicos (70,5%), sabidamente frágeis, devido a baixa coesão de partículas, devido a ausência ou muito baixo teor de argila, o que leva à baixa capacidade de retenção de água. Toda a área está assentada sobre arenitos da Formação Furnas, e a cobertura vegetal é majoritariamente formações savânicas (61,4%), o que, em conjunto, pode indicar um compartimento que possui suscetibilidade acentuada devido as litologias e ao solo, além de vegetação nativa sujeita à pressão antrópica, dada aos usos agropecuários identificados na divisa com o CMP-2.

O CMP-2, situado ao centro da AEC, é o maior dos compartimentos, com 109,4 km<sup>2</sup>, e concentra o maior número de focos erosivos (62), embora em termos de

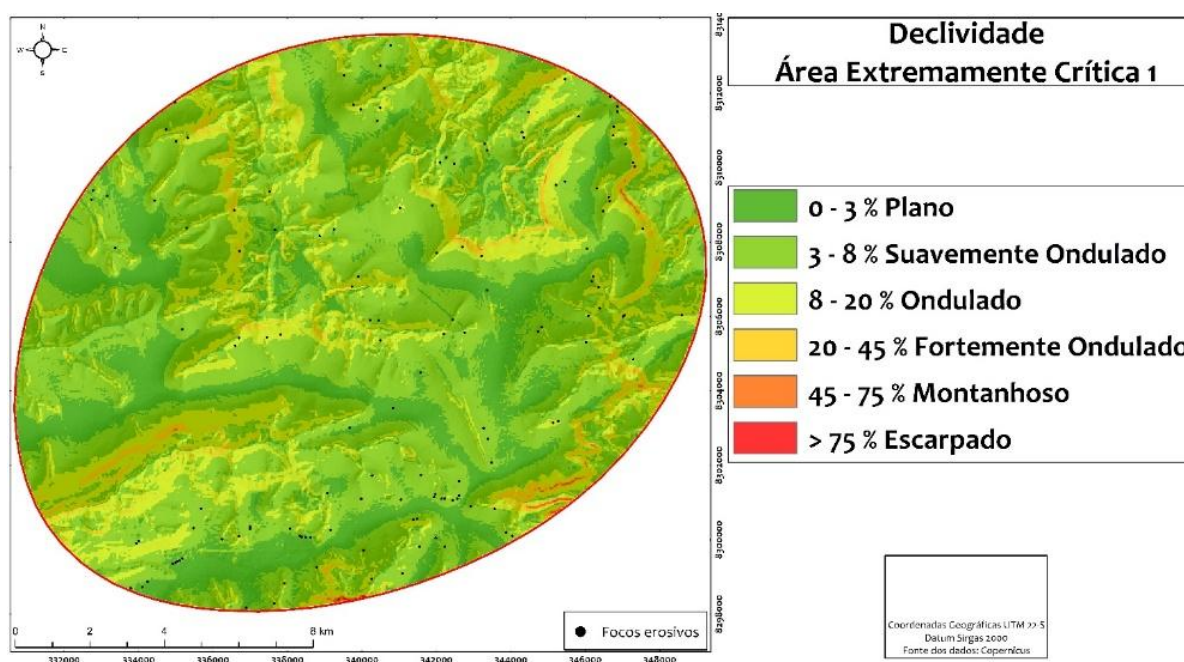
densidade seja inferior ao CMP1. O relevo é predominantemente plano a suavemente ondulado, com 62,2% da área na classe de declividade entre 3% e 8%. Os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos (74,2%), que embora profundos e desenvolvidos, tornam-se suscetíveis à erosão hídrica em condições de uso intensivo e ausência de práticas conservacionistas, como já exposto. O uso predominante dessa CMP é a pastagem (44,5%), o que indica áreas já antropizadas e com provável elevado grau de exposição do solo, o que contribui para a intensificação dos processos erosivos.

Já o CMP-3, localizado nas porções norte e nordeste da AEC, ocupa uma área de 75,32 km<sup>2</sup> e apresenta 52 focos erosivos, sendo o segundo compartimento em quantidade de focos, embora com menos de 1 foco/km<sup>2</sup>. O relevo varia entre 8% e 20%, com predominância dessa faixa de declividade em 43,8% do compartimento. Os solos predominantes são os Neossolos Quartzarênicos (89,4%). A cobertura predominante também é de formações savânicas (64,1%). De modo geral, esse compartimento apresenta elevada suscetibilidade, principalmente pela combinação entre declividade intermediária, solos arenosos e vegetação pouco densa.

Dada a estreita relação entre os processos erosivos lineares e as características topográficas da área, também foram avaliados indicadores topográficos com o objetivo de enriquecer a análise e identificar os condicionantes do processo erosivo no estado do Mato Grosso. Esses indicadores correspondem a declividade, rugosidade e potencial de fluxo hídrico.

Em relação à declividade (Figura 13), a AEC 1 é predominantemente caracterizada por declividades suaves. A classe de declividade mais abrangente é a suave ondulada, com valores entre 3% e 8%, que ocupa 55,7% da área (123,47 km<sup>2</sup>) e concentra 58,2% dos focos erosivos (82 focos) (Tabela 7). Embora essa classe de declividade, por si só, não seja naturalmente suscetível ao processo erosivo, sua combinação com outros fatores, como os solos arenosos, aumenta significativamente essa possibilidade.

Figura 13. Declividade AEC -1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A classe seguinte, com declividades entre 8% e 20%, abrange 22,2% da área (49,27 km<sup>2</sup>) e concentra 31,2% dos focos erosivos (44 focos), sendo a segunda maior classe em extensão e em quantidade de focos. Essa faixa de declividade apresenta maior predisposição ao acúmulo de fluxo hídrico, favorecendo o escoamento concentrado. A elevada quantidade de focos erosivos nessa classe pode indicar que os processos erosivos da AEC -1 tendem a se intensificar em áreas de declividade moderada, onde o escoamento superficial possui energia suficiente para desencadear o processo erosivo hídrico.

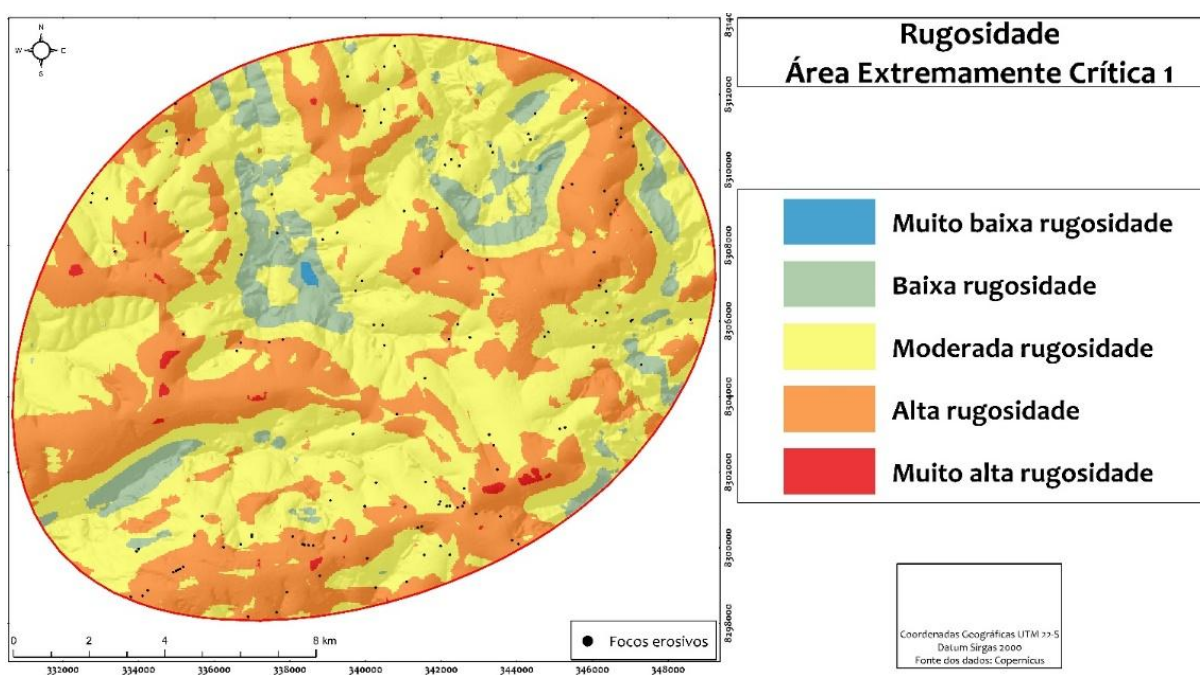
**Tabela 7.** Declividade, Área e Quantidade de focos da AEC - 1.

Declividades	Área		Focos	
	Km <sup>2</sup>	%	Quant.	%
0 - 3 %	43,324052	19,5%	12	10,6%
3 - 8 %	123,474664	55,7%	82	58,2%
8 - 20 %	49,274045	22,2%	44	31,2%
20 - 45 %	5,267709	2,4%	0	0,0%
45 - 75 %	0,290946	0,1%	0	0,0%
> 75 %	0,026027	0,01%	0	0,0%
Total	223,14	100%	138	100%

Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

As áreas de declividade plana (0% a 3%) representam 19,5% da AEC, mas apresentam apenas 10,6% dos focos erosivos (12 focos). Por outro lado, as declividades mais acentuadas (> 20%) são pouco expressivas em área e não apresentam focos erosivos, o que pode estar associado a litologias mais resistentes a erosão ou à presença de cobertura vegetal mais densa, como as formações savânicas e florestais. Em relação à rugosidade (Figura 14), a AEC 1 possui majoritariamente áreas de rugosidade moderada, que ocupam 54,3% da AEC (120,35 km<sup>2</sup>) e concentram quase metade dos focos erosivos (70 focos) (Tabela 8). Nessa classe de rugosidade, a superfície possui variações altimétricas médias, o que favorece o escoamento superficial concentrado, especialmente em áreas onde o solo apresenta baixa coesão, como os Neossolos Quartzarênicos.

**Figura 14.** Rugosidade da AEC - 1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**Tabela 8.** Rugosidade, Área e Quantidade de focos da AEC - 1.

Rugosidade	Área		Focos	
	Km <sup>2</sup>	%	Quant.	%
Muito baixa	0,22059	0,1%	0	0,0%
Baixa	19,848582	9,0%	3	2,1%
Moderada	120,347298	54,3%	70	49,6%
Alta	81,767415	36,9%	64	45,4%

Muito alta	0,959131	0,4%	1	0,7%
Total	223,14	100%	138	100%

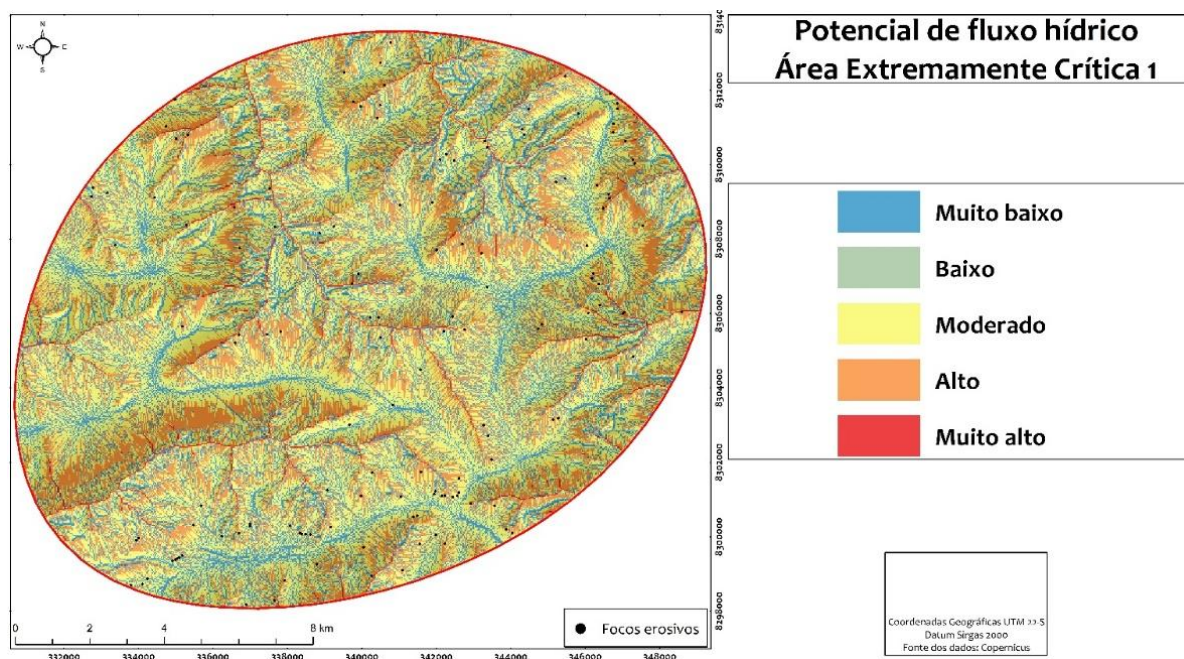
Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

A classe de rugosidade alta é a segunda maior em área, ocupando 36,9% (81,77 km<sup>2</sup>) e contabilizando 45,4% dos focos erosivos (64 focos). Superfícies com alta rugosidade são caracterizadas por uma maior variação altimétrica, o que contribui para o aumento da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, da capacidade erosiva da água. Nessas áreas, o relevo acidentado e a exposição do solo, especialmente em áreas de pastagem, potencializam a formação e intensificação dos processos erosivos.

As demais classes de rugosidade possuem baixa representatividade em área e menor concentração de focos erosivos. A classe de rugosidade baixa ocupa 9% da AEC (19,85 km<sup>2</sup>) e concentra apenas três focos erosivos, o que indica uma menor suscetibilidade ao processo erosivo, provavelmente em razão do relevo mais suavizado. Já as classes de rugosidade muito baixa e muito alta, somadas, representam menos de 5% da área da AEC e concentram apenas um foco erosivo.

Partindo para o indicador topográfico sobre o potencial de fluxo hídrico (Figura 15), observa-se que a classe de valor moderado predomina na AEC 1, ocupando quase 50% da área (110,41 km<sup>2</sup>), que concentra mais da metade dos focos erosivos, com 50,7%, totalizando 70 focos (Tabela 9). Essa classe representa áreas em que o escoamento superficial começa a se organizar e intensificar, aumentando sua energia cinética e, conseqüentemente, intensificando os desprendimentos de partículas do solo.

A segunda classe de destaque foi a de potencial alto, se destacando tanto por abrangência em área, quanto por quantidade de focos. Essa classe cobre 53,97 km<sup>2</sup> da área (24,19%) e concentra 51 (36,9%) dos 138 focos erosivos mapeados na AEC. A concentração de focos nessas duas classes pode evidenciar uma relação direta entre a concentração de fluxos e o surgimento de feições erosivas lineares na AEC.

**Figura 15.** Potencial de fluxo hídrico da AEC - 1.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

**Tabela 9.** Potencial de fluxo hídrico, Área e Quantidade de focos da AEC - 1

Potencial	Área		Focos	
	Km <sup>2</sup>	%	Quant.	%
Muito baixo	52,460162	23,51%	16	11,59%
Baixo	2,769755	1,24%	0	0,00%
Moderado	110,410357	49,48%	70	50,72%
Alto	53,969958	24,19%	51	36,96%
Muito alto	3,532785	1,58%	1	0,72%
Total	223,14	100%	138	100%

Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

As áreas classificadas com potencial muito baixo abrangem 23,5% da área, mas possuem baixa concentração de focos (11,6%, 16 focos), o que pode estar relacionado à topografia mais plana e à baixa capacidade de acúmulo de escoamento. As classes baixa e muito alta, por sua vez, somam juntas menos de 3% da área da AEC e concentram apenas um foco erosivo.

## 4 DISCUSSÃO

A dinâmica erosiva no estado do Mato Grosso é fortemente influenciada pela variabilidade espacial do potencial natural de erosão, a qual resulta da interação entre a erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos e os atributos topográficos (Di Raimo *et al.*, 2022). Essa dinâmica está diretamente relacionada à geodiversidade que caracteriza o estado, expressa na variedade de formações geológicas e compartimentos do relevo, elementos que condicionam tanto a gênese e distribuição dos solos, quanto os usos preferenciais do solo e os padrões de cobertura vegetal.

A predominância de unidades litológicas sedimentares, sobretudo os arenitos pouco consolidados das formações Ronuro, Araguaia e Aquidauana, favorece significativamente a suscetibilidade à erosão, especialmente em regiões onde não há cobertura vegetal ou é de baixa densidade. Tais condições foram evidenciadas por Dos Santos *et al.* (2015), ao trabalhar com a dinâmica da paisagem e impactos ambientais em áreas cobertas por litologias sedimentares, incluindo a formação Ronuro. Silveira (2023) destaca também que a configuração geomorfológica do Estado resulta destas interações entre processos tectônicos, litológicos e climáticos ao longo do tempo geológico, o que explica a presença de formas residuais, como chapadas, patamares e escarpas, e superfícies planas com distintos graus de resistência.

A partir de diferentes interações entre a litologia e os solos, os mosaicos litológicos compostos por formações sedimentares, associadas a cobertura de Latossolos Vermelho Amarelos, configuram um ambiente suscetível a influência da dinâmica de escoamento superficial, conseqüentemente, ao desprendimento das partículas do solo (Ross *et al.*, 2022; Salomão, 2015).

Por outro lado, a relação solo - uso exerce grande força na dinâmica erosiva, especialmente em ambientes sujeitos à pressão agropecuária. Os Latossolos, embora estruturalmente estáveis, profundos e amplamente utilizados na agricultura, tornam-se suscetíveis à degradação quando submetidos a usos intensivos sem práticas conservacionistas, sobretudo em áreas com declividade acentuada (Di Raimo *et al.*, 2022). Enquanto os Argissolos, em razão de seu gradiente textural, baixa coesão estrutural e menor capacidade de infiltração nos horizontes superiores, apresentam maior suscetibilidade à erosão, sendo frequentemente associados a ambientes de

transição entre planaltos e depressões, onde o escoamento superficial tende a se intensificar (Silva *et al.*, 2017).

Já os Neossolos Quartzarênicos, de textura arenosa, baixa fertilidade e reduzida capacidade de retenção hídrica, representam um fator crítico de risco à erosão, especialmente quando associados a relevos suaves e uso agropecuário intensivo, como identificado nas porções centro-sul do estado (Nakashima, 1999; Ribeiro; Tocantins; Salomão, 2023). É importante destacar, conforme ressalta Nakashima (1999), que nem todos os Neossolos Quartzarênicos são solos jovens ou incipientes. Em certos contextos geomorfológicos e litológicos, podem apresentar perfis mais antigos e até mais profundos que Latossolos, particularmente em sistemas de formação que apresentam transição entre essas classes.

A compartimentação do relevo evidenciou a predominância de colinas amplas e colinas/morros baixos, cobrindo cerca de 70% do estado. Essas unidades geomorfológicas, por apresentarem superfícies suavemente onduladas a onduladas, favorecem o escoamento concentrado da água da chuva, sobretudo quando apresentam pastagens degradadas ou cultivos de larga escala, como a soja e o milho (Jesus; Cabral, 2019; Ross *et al.*, 2022; Tavares; Castro, 2024). Jesus e Cabral (2019) apontaram que, nessas condições, a cobertura vegetal não é suficiente para conter o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo exposto, intensificando a erosão laminar e favorecendo a transição para formas mais severas, como sulcos, ravinas e voçorocas, conforme apontado também por Morgan (2005) e FAO (2015).

Além disso, Tavares e Castro (2024) evidenciam que o padrão de uso e cobertura do bioma Cerrado da região Centro-Oeste, localizado nas porções Centro-Sul do estado do Mato Grosso, mostra a intensificação do uso agropecuário, onde a substituição da vegetação natural por pastagens e monoculturas ocorre em larga escala. Essa dinâmica reafirma o papel da ação antrópica como vetor de intensificação da erosão hídrica, conforme apontado por diversos autores (Grecchi *et al.*, 2016; Ribeiro; Tocantins; Salomão, 2023; Caldeira; Parré, 2020). Ainda que o norte do Estado apresente maior cobertura florestal associada ao bioma Amazônico, a pressão por novas áreas produtivas tende a deslocar o avanço da fronteira agrícola para áreas ecologicamente mais sensíveis, elevando os riscos de degradação (Brito *et al.*, 2025).

Os 61.005 focos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) mapeados no estado do Mato Grosso revelam um quadro significativo de degradação ambiental, especialmente quando comparados a levantamentos anteriores realizados em áreas

de uso antrópico intensivo, como no estado de Goiás (Rodrigues e Castro, 2023). As autoras identificaram um total de 67.043 feições erosivas distribuídas em todo o estado goiano, destacando ainda a forte associação entre a ocorrência dessas feições e o uso agropecuário. A quantidade de focos mapeados no Mato Grosso, portanto, é comparável à observada em Goiás, o que reforça a gravidade do processo erosivo no Planalto Central brasileiro.

No caso do Mato Grosso, a maior concentração das feições erosivas ocorre na porção sul do estado, coincidindo com áreas historicamente transformadas pela expansão da fronteira agrícola, sobretudo com a substituição da vegetação nativa para usos agropecuários (Marcelino; Mengue; Faria, 2022). Essas regiões pertencem majoritariamente ao domínio do bioma Cerrado, o qual tem sido amplamente impactado por práticas agropecuárias intensivas. Esse padrão de degradação já havia sido apontado por Salomão *et al.* (2001; 2003) e tem sido corroborado em diversos estudos voltados à análise da erosão no Cerrado brasileiro, como nos de Rodrigues (2021), Nunes (2015) e Barbalho (2010).

Santana *et al.* (2007), por exemplo, mapearam cerca de 300 feições erosivas lineares na alta bacia do rio Araguaia e observaram que a maioria dessas ocorrências estava associada a áreas de uso agropecuário, especialmente pastagens. De forma semelhante, Nunes e Castro (2015), ao identificarem 5.679 focos erosivos no município de Mineiros (GO), constataram a predominância dessas feições em terrenos de relevo suavemente ondulado, com solos arenosos e sob uso agropecuário intensivo.

A aplicação da densidade de focos erosivos por Km<sup>2</sup> revelou um gradiente claro de criticidade no estado do Mato Grosso, com valores variando de 0 a 0,61 focos/km<sup>2</sup>, destacando as áreas mais suscetíveis à erosão linear. Apesar de apresentar uma quantidade total de feições erosivas semelhante à registrada em Goiás (Rodrigues e Castro, 2023), a densidade máxima de focos erosivos observada em Mato Grosso foi significativamente inferior, onde os valores chegaram a 1,59 focos/km<sup>2</sup>. Essa diferença indica uma distribuição espacial mais dispersa das feições em Mato Grosso, o que pode estar relacionado ao histórico recente da expansão agrícola na porção norte do Estado, em comparação ao estado de Goiás (Salomão *et al.*, 2003; Ribeiro; Tocantins; Salomão, 2023).

Mesmo com uma concentração de focos mais dispersa, o estado do Mato Grosso concentra áreas com características físico-naturais altamente suscetíveis,

como presença de solos arenosos, relevo suavemente ondulado e litologias mais friáveis (Salomão *et al.*, 2003; Ribeiro; Tocantins; Salomão, 2023). Essas condições, somadas à presença predominante do bioma Cerrado, mas ainda em processo de conversão, intensificam os processos erosivos, mesmo em regiões onde a densidade atual é considerada moderada.

A categorização das áreas críticas em três níveis, a saber, Moderadamente Críticas (AMC), Críticas (AC) e Extremamente Críticas (AEC), permite hierarquizar as regiões mais vulneráveis à erosão, favorecendo ações direcionadas de conservação. As nove áreas classificadas como AEC concentram 3.442 focos erosivos, e apresentam densidades superiores a 0,39 focos/km<sup>2</sup>. A área mais crítica identificada (0,61 focos/km<sup>2</sup>, AEC - 1) evidencia uma sobreposição de fatores condicionantes que tornam o ambiente altamente propenso suscetível à evolução de processos erosivos lineares. Esse tipo de classificação, já sugerida por Santana *et al.* (2007) e mais recentemente adotada por Rodrigues (2020) e Rodrigues e Castro (2023), contribui significativamente para o planejamento territorial, ao oferecer subsídios técnicos para intervenções prioritárias.

Os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) reforçam a multifatorialidade que caracteriza os processos de erosão hídrica linear no estado do Mato Grosso, destacando a interação entre fatores físicos e antrópicos como determinante para a ocorrência e a distribuição das feições erosivas. Essa análise, no contexto da erosão hídrica vem sendo aplicada por diversos autores, Corrêa *et al.* (2023) trabalharam com a ACP no contexto de voçorocas e fertilidade do solo, e Vasconcelos *et al.* (2013) para a modelagem da evolução pedogeomorfológica em Minas Gerais.

A identificação das variáveis compartimento do relevo e incompatibilidades de uso em relação ao potencial agrícola como principais componentes explicativos da variância observada, corroborando com estudos prévios que apontam essas variáveis como intensificadoras da erosão (Morgan, 2005; Ribeiro; Tocantins; Salomão, 2023). Esse resultado confirma o que foi evidenciado Ceconi *et al.* (2018), em que os autores associam a incompatibilidade de usos, como responsável na dinâmica de intensificação do processo erosivo.

A incompatibilidade entre o uso atual e a aptidão agrícola dos solos, identificada como o fator mais influente na componente principal 1 (PC1), evidencia a fragilidade gerada por práticas de uso do solo que desconsideram as limitações do ambiente.

Essa constatação reforça análises como as de Carneiro (2012), Grecchi *et al.* (2016) e Ceconi *et al.* (2018), que demonstram que a diferença entre uso praticado e capacidade de suporte dos solos compromete sua estabilidade estrutural, favorecendo a remoção de partículas mesmo em declividades suaves. O fato de classes como "muito alta incompatibilidade" apresentarem cargas fatoriais elevadas (0,54 em PC8) demonstrando o potencial erosivo ampliado nessas condições.

A variável compartimento do relevo, por sua vez, apresentou forte influência na componente principal 2 (PC2), especialmente nas classes planaltos e depressões. A associação entre planaltos e erosão hídrica linear pode não ser muito comum, dado que essas feições são, em geral, mais elevadas e menos dissecadas. No entanto, como indicam Ribeiro e Salomão (2003) e Tavares e Castro (2024), a intensificação do uso agropecuário nessas áreas, aliada aos solos com baixa coesão estrutural, como os Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, favorece o escoamento concentrado e a evolução de sulcos para ravinas.

Outro resultado relevante da ACP foi a presença de cargas fatoriais elevadas em variáveis tradicionalmente consideradas de influência secundária, como planícies e chapadas, indicando que, mesmo em ambientes de topografia suavizada, a ocorrência de erosão não pode ser descartada. Isso corrobora com estudos em que a erosão linear em ambientes tropicais é fortemente modulada pelas intervenções humanas, e que a ação antrópica pode sobrepujar as barreiras naturais à degradação, como discutido por FAO (2015) e Lal (2010).

Ademais, a elevada variabilidade interna entre as classes das variáveis dominantes, que levou à retenção de oito componentes com autovalores superiores a 1, indica que os condicionantes da erosão não operam de forma isolada, mas em conjuntos específicos de fatores que, quando coincidentes no espaço, potencializam a resposta erosiva da paisagem. Essa constatação fortalece a necessidade de abordagens multivariadas e espacializadas no planejamento e gestão de áreas suscetíveis à degradação, conforme já sugerido por Anselin *et al.* (2006) e Zhang *et al.* (2018) no uso da ACP para análises ambientais.

A análise morfopedológica realizada na Área Extremamente Crítica 1 (AEC-1), localizada em Barra do Garças (MT), evidenciou a importância da compartimentação integrada de litologia, relevo e solos para a compreensão aprofundada dos condicionantes locais da erosão hídrica linear. Conforme ressaltado por Tricart e Kilian (1978), a interação entre estrutura geológica, formas do relevo e cobertura pedológica

define compartimentos distintos, nos quais os processos geomorfológicos operam de forma diferenciada. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram como essas interações moldam padrões espaciais específicos de ocorrência de focos erosivos.

A divisão da AEC-1 em três compartimentos morfopedológicos (CMPs) revelou combinações distintas de atributos físicos e usos, os quais se associam de forma clara à densidade de feições erosivas. O CMP-2, por exemplo, com maior número de focos (62) e predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelos sob uso extensivo de pastagens, indica um forte cenário relacionado a degradação certamente induzida por manejo inadequado, conforme descrito por Salomão (2015) e corroborado por estudos como os de Nunes (2015), Rodrigues (2020), Rodrigues e Castro (2023). Ainda que Latossolos sejam geralmente estáveis do ponto de vista estrutural, sua resistência à erosão diminui significativamente quando submetidos a fortes processos de compactação.

Já o CMP-1 e o CMP-3 apresentaram uma predominância de Neossolos Quartzarênicos, solos com alta suscetibilidade à erosão devido à sua textura arenosa, baixa coesão e reduzida capacidade de retenção hídrica (Nakashima, 1999). A elevada densidade de focos nesses compartimentos reforça a ideia de que a ocorrência da erosão hídrica linear em solos arenosos está diretamente relacionada à ausência de cobertura vegetal protetora e à presença de relevo com declividades moderadas a acentuadas. O uso agropecuário nessas áreas, frequentemente realizado sem práticas conservacionistas, tende a promover a intensificação de processos erosivos hídricos lineares, como também evidenciado por Nunes e Castro (2023), em Goiás.

Na AEC-1 observamos um sistema de transformação pedológica como já observado em outras na Bacia Sedimentar do Paraná (Nakashima, 1999), com a presença de Latossolos Vermelho-Amarelos em posições mais elevadas e bem drenadas, sucedidos por Neossolos Quartzarênicos na baixa vertente, em áreas de relevo suavemente ondulado sobre arenitos friáveis. Essa sequência reflete a influência direta da litologia e da topografia na formação e distribuição dos solos, particularmente em contextos em que os Neossolos teriam se originado de Latossolos a partir da instalação de um sistema de transformação. Essa configuração, associada ao uso agropecuário intensivo e à erodibilidade dos solos, resulta em ambientes altamente suscetíveis à erosão hídrica linear.

Mohebzadeh *et al.* (2022), em uma revisão sobre os principais condicionantes utilizados em modelos de suscetibilidade à erosão linear, destacaram que os atributos topográficos, como declividade, altitude, curvatura, TWI e rugosidade, são fundamentais na interpretação e entendimento dos padrões espaciais da erosão. Esse achado é corroborado pelos resultados obtidos na AEC-1, onde os atributos morfométricos do relevo reforçam a importância do controle topográfico na dinâmica erosiva. A maior parte dos focos se concentra em áreas com declividade entre 3% e 8%, faixa que, embora considerada de suscetibilidade moderada, torna-se mais suscetível quando associada a solos frágeis e elevada pressão antrópica. Essa observação reforça também os achados de Morgan (2005) e Pennock (2019), que defendem que a erosão resulta da combinação entre fatores como declividade, tipo de solo e cobertura vegetal, e não apenas da inclinação isolada. Além disso, as classes de rugosidade moderada e alta foram as que concentraram a maioria dos focos, indicando que a variação altimétrica local influencia diretamente a concentração do escoamento superficial, sua velocidade e, conseqüentemente, seu potencial de remoção de partículas do solo.

Outro fator topográfico foi o potencial de fluxo hídrico, cuja classe moderada foi a que concentrou a maior quantidade de focos erosivos. Isso demonstra que, nas áreas onde o escoamento começa a se organizar e adquirir energia, a força de desencadeamento da erosão linear é maior. Essa dinâmica é destacada por Brito *et al.* (2025), que observam que mesmo em áreas de relevo relativamente plano, a concentração de fluxo pode induzir processos erosivos severos, principalmente em solos arenosos.

## 5 CONCLUSÕES

Este estudo sobre a erosão hídrica linear, com foco em focos de médio e grande porte, foi conduzido no estado do Mato Grosso com o objetivo de compreender sua distribuição espacial, identificar os principais condicionantes associados ao processo e delimitar áreas críticas à intensificação da degradação.

Metodologicamente, adotamos uma abordagem multiescalar (nas escalas estadual e local) e integrada. Tal estratégia revelou-se eficaz para a identificação e análise dos padrões espaciais da erosão. O mapeamento dos focos, realizado por meio de imagens de satélite de alta resolução e georreferenciamento pontual, foi essencial para a delimitação das áreas críticas, cuja distribuição espacial foi avaliada por meio da análise de isodensidades.

Os resultados apontam que a erosão hídrica linear em Mato Grosso está fortemente relacionada à interação entre solos frágeis, relevo com declividades moderadas e uso intensivo do solo, sobretudo pastagens, especialmente para fins agropecuários. A análise dos 61.005 focos mapeados e da Área Extremamente Crítica (AEC-1) evidenciou que a combinação entre Neossolos Quartzarênicos e Latossolos submetidos a pastagens intensivas contribuiu significativamente para a ocorrência e expansão das feições erosivas.

A Análise de Componentes Principais (ACP) confirmou que as incompatibilidades de uso e a presença de áreas naturalmente frágeis são os principais fatores explicativos da distribuição dos focos em escala regional. A análise da densidade de focos por quilômetro quadrado revelou núcleos concentrados, indicando que, mesmo em um Estado de grande extensão territorial, há regiões sob forte pressão antrópica e alta suscetibilidade à erosão.

Na escala local, a análise morfopedológica mostrou que a compartimentação integrada entre litologia, relevo e solos constitui uma ferramenta eficiente para a compreensão da gênese e da intensificação dos processos erosivos. Compartimentos com predominância de solos arenosos, declividades superiores a 3% e uso agropecuário extensivo apresentaram as maiores concentrações de feições, ressaltando a necessidade de estratégias de manejo específicas para essas áreas.

A associação dos polígonos das áreas críticas aos mapas temáticos em escala detalhada permitiu, ainda, a identificação de condicionantes específicos dos processos erosivos: substrato geológico de natureza arenítica, solos de alta

fragilidade/suscetibilidade erosiva (Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-Amarelos), formas de relevo com rampas longas e cabeceiras de drenagem, além do uso do solo predominantemente de pastagens, frequentemente marcado por trilhas de gado que atuam como deflagradores do processo erosivo.

A análise em escala de detalhe contribuiu para uma compreensão mais precisa da dinâmica erosiva linear, subsidiando o planejamento ambiental e a formulação de políticas públicas voltadas ao controle da erosão, com foco na definição de áreas prioritárias para intervenção e manejo conservacionista.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S. de.; RISDENTE JÚNIOR, J. L. **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão**. In: VII Simpósio nacional de controle de erosão. Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental. Goiânia –GO, 2001.
- BARBALHO, M. G. da S.; CASTRO, S. S. de. **Impactos erosivos lineares: Distribuição, fatores, condicionantes naturais e antrópicos nas bacias dos rios Claro e dos Bois, estado de Goiás – Uma contribuição metodológica**. 13<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2013.
- BRITO, E. R. de; BASTOS, F. H.; SALES, V. C. de C.; CORDEIRO, A. M. N.; SIAME, L. Geomorphology of Pereiro Massif, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 26, n. 1, e2583, 2025. doi.org/10.20502/rbg.v26i1.2583.
- CALDEIRA, C; PARRÉ, J. L. Diversificação agropecuária e desenvolvimento rural no bioma Cerrado. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, Paranaguá, v. 2, n. 1, p. 344–359, mar. 2020.
- CARNEIRO, G. T. **Processo de fragmentação e caracterização dos remanescentes de Cerrado: análise ecológica da paisagem da bacia do rio dos Peixes**. 2012. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2012.
- CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. **GEOUSP, Espaço e Tempo**, São Paulo, SP, n.07, p. 27-37, 2000.
- CECONI, D. E.; PICCILLI, D. G. A.; BERNARDI, F.; FENSTERSEIFER, P. Analysis of vulnerability for environmental planning of a water supply basin. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, 2018, e00782. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOCIATED20210782>.
- CORRÊA, G. R. et al. Relação solo-ambiente em área degradada por voçoroca no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 3, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2384>.
- DI RAIMO, L. A. Di L. et al. Potencial natural de erosão no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 9, p. 655–661, 2022.

FARIA, T. D. O., VECCHIATO, A. B., SALOMÃO, F. X. D. T., & SANTOS JR, W. A. D. Abordagem morfopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos. **Revista Ambiente & Água**, 8, 215-232. 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Status of the World's Soil Resources 2015**. Disponível em [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications). Acesso em: dez. de 2015.

GRECCHI, R. C., BERTANI, G., TRABAQUINI, K., SHIMABUKURO, Y. E., & FORMAGGIO, A. R. Análise espaço-temporal da conversão do cerrado em áreas agrícolas na região de sapezal, Mato Grosso, entre os anos de 1981 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, p. 91-107, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. Rel. Técnico 24.739, São Paulo, 1986.

JESUZ, C. R. de; CABRAL, I. L. L. Análise da erosão laminar em áreas com uso agrícola e pastagem: bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral – MT. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 254–279, maio/ago. 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p254>.

LAL, R. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. Washington: **BioScience**, 60: 708-721. 2010. 60 p.

LEANDRO, G. R. dos S.; ROCHA, P. C. Expansão agropecuária e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Sepotuba – Alto Paraguai, Mato Grosso – Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 31, e45603, 2019. ISSN 1982-4513.

MARCELINO, G. L. da S.; MENGUE, V. P.; FARIA, C. S. de. Análise multitemporal e mudanças no uso e cobertura do solo: um olhar para as terras indígenas no Mato Grosso. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 39, n. 3, p. 145–168, 2022.

MOHEBZADEH, H.; BISWAS, A.; RUDRA, R.; DAGGUPATI, P. Machine learning techniques for gully erosion susceptibility mapping: a review. **Geosciences**, Basel, v. 12, n. 12, p. 1–22, 2022.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Third edition. Blackwell publishing. Oxford U. K. 2005. 316p.

NAKASHIMA, P. **Sistemas pedológicos da região Noroeste do estado do Paraná: distribuição e subsídios para o controle da erosão**. 1999. 157 f. Tese (Doutor em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NUNES, E. D. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros-GO**. 2015. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. de. Análise Multiescalar Aplicada À Avaliação De Erosão Hídrica Linear Para Área Tropical Subúmida Situada Na Região Sudoeste Do Estado De Goiás - Brazil . **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i00.2368.

NUNES, J. R. S.; SILVA, C. J.; FERRAZ, L. Mato Grosso e seus biomas: Biodiversidade, Desafios Socioambientais, Unidades de Conservação Iniciativas de Políticas Públicas e Privadas para a Conservação. **Gestão Universitária**, Brazil, v. 7, p. 01-28, 2017.

PENNOCK, D. **Soil Erosion: The greatest challenge for sustainable soil management**. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Soil erosion the greatest challenge for sustainable soil management. Rome, 2019.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do Alto Rio da Casca, MT. **Geociências (UNESP)**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 83–95, 2003.

RIBEIRO, J. C.; TOCANTINS, N.; SALOMÃO, F. X. T. Abordagem morfopedológica aplicada à prevenção de voçorocas: estudo de caso na bacia do Rio Itiquira – Alto Pantanal – Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. especial, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2349>.

RODRIGUES, H. S. M. C. **Análise geoespacial do processo erosivo hídrico linear no estado de Goiás e Distrito Federal**. 2020. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) -Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

RODRIGUES, H. S. M. D. C.; CASTRO, S. S. De. Mapeamento e identificação de áreas críticas à erosão hídrica linear : o exemplo do bioma Cerrado no estado de Goiás , Brazil Mapping and identification of areas critical to linear water erosion : the case of the Cerrado Biome in the State of Goiás , Braz. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 24, p. 30, 2023.

ROSS, J. L. S.; CUNICO, C.; LOHMANN, M. Geomorfologia aplicada aos projetos de ordenamento territorial. **Revista de Geomorfologia**, v. 3, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v3n2.2022.157>.

ROSS, J. L. S.; CUNICO, C.; LOHMANN, M.; DEL PRETTE, M. E. **Ordenamento territorial do Brasil: potencialidades naturais e vulnerabilidades sociais**. Osasco, SP: Ed. dos Autores, 2022. 585 p. ISBN 978-65-00-42369-3. DOI: <https://doi.org/10.29327/560402>.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA, A. J. T.; SLIVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2010, 2015.

SALOMÃO, F. X. T. Diagnostico y Medidas de Control de los Pocos Erosivos en Primavera del Leste (Mato Grosso, Brasil). TATASCAN - **Revista Técnico - Científica de las Ciencias Forestales y afins** - Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque - Honduras, v. 13, n.02, p. 43-49, 2001.

SALOMÃO, X. T. F. Abordagem morfo-pedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia do Alto Rio da Casca/MT. **Geociências** (São Paulo), São Paulo, v. 22, n.1, p. 83-95, 2003.

SANTANA, M. P.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, 19(2): p. 103-121. dez., 2007.

SANTOS, T. B.; MANCINI, F.; CURY, L. F.; FERREIRA, F. J. F. Proveniência de zircões detríticos e implicações para a paleogeografia da Formação Furnas no noroeste da Bacia do Paraná. **Geologia USP**. Série Científica, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 2–59, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i2p2-59>.

SILVA, P. L., DA SILVA ANDRADE, L. N. P., SANTOS LEANDRO, G. R., SOUZA, C. A. Evolução dos processos erosivos e aspectos granulométricos em um sistema de voçoroca no Distrito de Vila Aparecida, município de Cáceres - Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 2, p. 627–640, 2017.

SILVEIRA, R. M. P. **Mapa geomorfológico de Mato Grosso: perspectivas preliminares a partir dos conceitos do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA – SINAGEO, 14., 2023, Corumbá. Anais... Corumbá: UEMS, 2023.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 293–312, jan./jun. 2016.

TAVARES, K. S. R.; CASTRO, S. S. Incisões erosivas hídricas lineares no Centro-Oeste do Brasil: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 4, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i4.2596>.

TRICART, J. & KILIAN, J. **L'éco-geographie et l'aménagement du milieu naturel**. Paris: Livraria Française, 1978.

TRIVELLI, G. G. B.; PIEROSAN, R.; RUIZ, A. S. Geologia e petrologia do Granito São Vicente na região do Parque Estadual Águas Quentes, estado de Mato Grosso,

Brasil. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, Série Científica, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 2–48, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v17-426>.

VASCONCELOS, V. et al. Modelo de evolução pedogeomorfológica da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013.

VELDKAMP, A.; KOK, K.; DE KONING, G. H. J. SHOORL, J. M.; SONNEVELD, M. P.W.; VERBURG, P. H. Multi-scale system approaches in agronomic research at the landscape level. **Soil & Tillage Research** 58, 2001.

WICKRAMASINGHE, V. **Effects of interpersonal trust, team leader support, rewards, and knowledge sharing mechanisms on knowledge sharing in project teams**. Vine, 2012.

YUAN, Y.; BAI, Z.; ZHANG, J.; HUANG, Y. Investigating the trade-offs between the supply and demand for ecosystem services for regional spatial management. **Journal of Environmental Management**, v. 325, pt. A, 116591, 1 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116591>.

ZHANG, H.; CAI, J.; XIA, X. Coupling coordinative degree analysis on benefit of water and soil erosion control and development of ecological agriculture. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** (Transactions of the CSAE), v. 34, n. 8, p. 162–169, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.08.021>.