

## ANÁLISE DA EROSIVIDADE DA CHUVA E DA DECLIVIDADE DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO VERMELHO-MS

**Edwina Santos da Costa**

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, Aquidauana, Brasil

E-mail: [edwina.santos@ufms.br](mailto:edwina.santos@ufms.br)

**Emerson Figueiredo Leite**

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, Aquidauana, Brasil

E-mail: [emerson.leite@ufms.br](mailto:emerson.leite@ufms.br)

**Régia Estevam Alves**

Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT, Cáceres, Brasil

E-mail: [regiaestevam@gmail.com](mailto:regiaestevam@gmail.com)

**Elias Rodrigues da Cunha**

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, Aquidauana, Brasil

E-mail: [elias.cunha@ufms.br](mailto:elias.cunha@ufms.br)

### Resumo

O presente estudo objetivou analisar a erosividade da chuva e a declividade do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV), localizada no Estado de Mato Grosso do Sul nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti. As análises que envolvem dados temporais de precipitação no Centro-Oeste do Brasil, geralmente necessitam de algum tipo de correção de suas falhas. Deste modo, o método da Ponderação Regional (Bertoni; Tucci, 2001) foi aplicado nos dados de chuvas obtidos de 4 estações pluviométricas entre os anos de 2000 a 2020. Após a correção dos dados, para calcular a erosividade da chuva (fator R da RUSLE) aplicou-se a equação proposta por Oliveira *et al.* (2012), possibilitando a análise da distribuição espacial da chuva e da erosividade que foram espacializados pelo método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (*Inverse Distance Weighted* – IDW). Determinou-se a declividade a partir de dados SRTM 30m, com base na proposta da Embrapa (1979) para definição dos intervalos das classes de declividade. A precipitação média anual variou de 1.383,45 a 1.431,49mm, enquanto a erosividade média anual variou de 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com valores mais elevados na região noroeste da bacia. A declividade apresentou predominância da classe suave ondulado (3 a 8%) com cerca de 54,73% da área, tendo os maiores valores de declividade (<75%) a oeste onde se encontra a Serra de Santa Bárbara com relevo composto por escarpas e serras.

**Palavras-chave:** Coeficiente de chuva; Erosão; Fator R; IDW; Perda de solo.

## ANALYSIS OF RAINFALL EROSIVITY AND TERRAIN SLOPE IN THE RIBEIRÃO VERMELHO WATERSHED-MS, BRAZIL

### Abstract

The present study aimed to analyze the rainfall erosivity and terrain slope in the Ribeirão Vermelho Watershed (RVW), located in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil, encompassing the municipalities of Aquidauana and Dois Irmãos do Buriti. Analyses involving temporal precipitation data in the Midwest region of Brazil generally require some form of correction for data deficiencies. Thus, the Regional Weighting method (Bertoni; Tucci, 2001) was applied to the rainfall data obtained from 4 pluviometry stations from 2000 to 2020. After data correction, the rainfall erosivity (RUSLE R-factor) was calculated using the equation proposed by Oliveira *et al.* (2012), enabling the analysis of rainfall and erosivity spatial distribution, which were spatialized using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. Slope values were determined based on SRTM 30 m data, following the proposal by Embrapa (1979) for defining the range of slope classes. Mean annual

precipitation ranged from 1371.45 to 1444.45 mm, while the mean annual rainfall erosivity ranged from 8413.65 to 8772.15 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, with higher values observed in the northwest region of the watershed. Terrain slope demonstrated a predominance of smooth wavy class (3 to 8%) covering approximately 54.73% of the area, with the highest values of slope (<75%) being found in the western region, where the Serra de Santa Bárbara is located, characterized by escarpments and hills.

**Key words:** Rainfall coefficient; Erosion; R-Factor; IDW; Soil loss.

## **ANÁLISIS DE LA EROSIVIDAD DE LA LLUVIA Y LA PENDIENTE DE RELIEVE EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DE RIBEIRÃO VERMELHO**

### **Resumen**

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la erosividad de las lluvias y la pendiente del relieve en la cuenca del Ribeirão Vermelho (BHRV), ubicada en el Estado de Mato Grosso do Sul, en los municipios de Aquidauana y Dois Irmãos do Buriti. Los análisis que involucran datos temporales de precipitación en el Centro-Oeste de Brasil, generalmente necesitan algún tipo de corrección de sus fallas. Así, se aplicó el método de Ponderación Regional (Bertoni; Tucci, 2001) a los datos de lluvia obtenidos de 4 estaciones pluviométricas entre los años 2000 a 2020. Después de corregir los datos, para calcular la erosividad de la lluvia (factor R del RUSLE) se utilizó la ecuación propuesta por Oliveira *et al.* (2012), lo que permitió analizar la distribución espacial de la lluvia y la erosividad, las cuales fueron espacializadas mediante el método de interpolación Inverso de la Distancia Ponderada (Inverse Distance Weighted – IDW). La pendiente se determinó a partir de datos SRTM de 30 m, con base en la propuesta de Embrapa (1979) para definir intervalos de clase de pendiente. La precipitación media anual osciló entre 1371,45 y 1444,45 mm, mientras que la erosividad media anual osciló entre 8413,65 y 8772,15 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con valores más altos en la región noroeste de la cuenca. La pendiente mostró un predominio de la clase ondulada suave (3 a 8%) con cerca del 54,73% del área, con los mayores valores de pendiente (<75%) al oeste donde se ubica la Serra de Santa Bárbara, con relieve compuesto por escarpes y sierras.

**Palabras-clave:** Coeficiente de lluvia; Erosión; factor R; IDW; Pérdida de suelo.

### **Introdução**

A erosão é um dos processos geomorfológicos fundamentais que podem determinar as taxas de degradação do solo ou sustentabilidade ambiental (Hiseh, 2022). A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization – FAO*) apontou em seu relatório de 2021 que “a erosão do solo é a maior ameaça” da degradação e reverter essa situação é vital. Ressalta-se ainda que “as práticas agrícolas insustentáveis, a superexploração dos recursos naturais e o crescimento populacional estão pressionando cada vez mais nossos solos” (FAO, 2022, p.1). Além disso, especialistas apontam que até 2050 a erosão do solo pode levar a perda de 10% na produção agrícola, gerando graves consequências para as produções futuras (FAO, 2022).

A chuva é um elemento chave na alteração da paisagem, considerada como um dos principais agentes na erosão do solo (Baptista, 1997; Oliveira, Wendhand, Nearing, 2012; Thomaz, 2019). Neste sentido, a erosividade da chuva (fator R) é considerada uma

importante variável na estimativa da erosão do solo através da Equação Universal da Perda de Solo Revisada –RUSLE (Renard *et al.*, 1997). O fator R expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área com solo desprotegido representando “um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas” (Bertoni; Lombardi Neto, 2017, p. 279).

A declividade do relevo também é uma variável que influencia na dinâmica do escoamento superficial e compreender esse efeito é imprescindível na análise de processos erosivos. A declividade tem a capacidade de intensificar a velocidade de escoamento superficial e, conseqüentemente, colaborar para o aumento dos processos relacionados à erosão. Analisar a declividade do relevo juntamente com o volume pluviométrico fornece suporte para a análise ambiental e o planejamento de áreas com maior tendência erosiva de acordo com essas variáveis.

Na região Centro-Oeste do Brasil existe uma desigual distribuição espacial das estações pluviométricas e escassez de séries de dados históricos que prejudicam o cálculo do índice de erosividade com uso de dados observados de chuvas (Cunha *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2012). Essa situação se reflete também na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV), onde muitos dos dados disponíveis apresentam lacunas significativas, com ausências de informações entre dias, meses e até anos completos. Portanto, a aplicação de métodos estatísticos para a correção dessas lacunas é essencial para compensar a defasagem nos dados de precipitação.

Dentre os métodos estatísticos para correção de falhas, tais como a Ponderação Regional, Regressão Linear, Inverso do Quadrado da Distância, entre outros (Machado; Sobrinho; Ribeiro, 2014; Galdino; Grego; Silva, 2014; Soares; Silva, 2017) podemos destacar o método da Ponderação Regional, proposto por Bertoni e Tucci (2001). Para aplicar esse método, são necessários dados superiores a três estações pluviométricas próximas, com um raio máximo de 150 km de distância da estação de referência.

Conforme destacado por Pinto *et al.* (2017), o método de Ponderação Regional é amplamente reconhecido por sua simplicidade e eficácia na substituição de dados ausentes em séries pluviométricas temporais, tanto mensais quanto anuais. Esta abordagem baseia-se na premissa de que a influência das estações vizinhas deve ser ponderada conforme sua proximidade e características regionais. Em outras palavras, as estações que estão mais

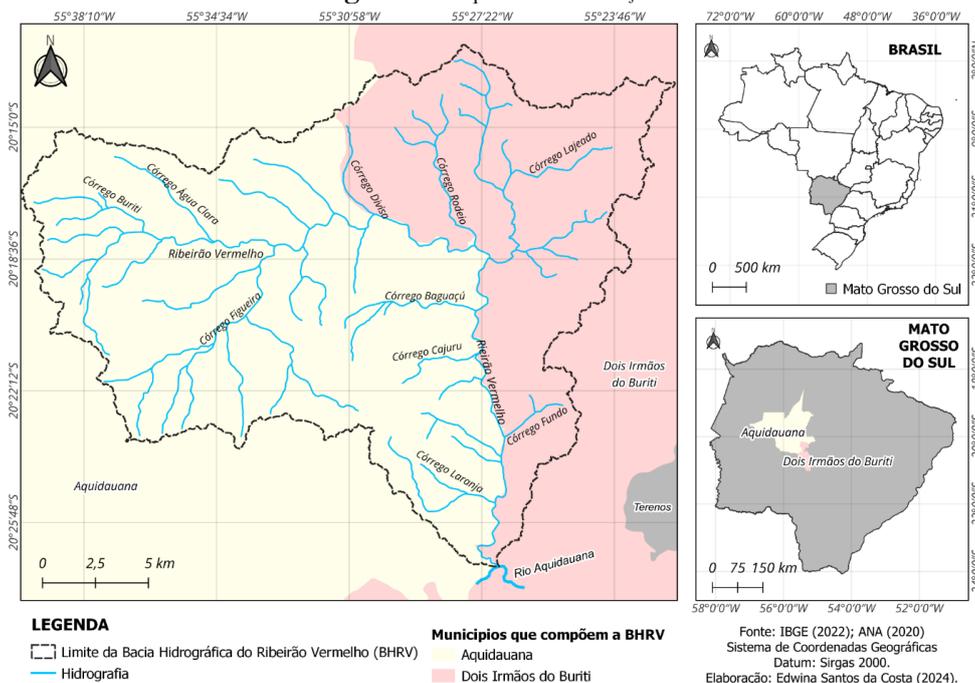
próximas e apresentam características climáticas e topográficas semelhantes à estação com dados faltantes exercem maior influência na estimativa dos dados ausentes.

A erosividade da chuva e a declividade do relevo são variáveis fundamentais no desenvolvimento das bacias hidrográficas, elucidando os processos erosivos e identificando áreas com maior suscetibilidade. Portanto, este estudo justifica-se pela importância do tema, considerando que os processos erosivos acentuados, que levam à perda de solo, são problemas ambientais que necessitam de atenção da comunidade científica. Além disso, é crucial divulgar esses problemas para promover a conscientização e subsidiar políticas públicas. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a erosividade da chuva e a declividade do relevo na BHRV, com o intuito de fornecer informações essenciais para a gestão e conservação ambiental na região.

### Áreas de estudo

A BHRV está localizada entre as coordenadas geográficas 55°39'54" e 55°21'57" de longitude Oeste e 20°12'41" e 20°27'06" de latitude Sul, abrangendo uma área de 451,83 km<sup>2</sup>, nos municípios de Aquidauana (63,65%) e Dois Irmãos do Buriti (36,35%) (Figura 1). As atividades econômicas predominantes na área são a pecuária, a silvicultura, e a cultura de cana e soja, com o avanço dessas atividades ocupando grande parte da bacia (Ferreira, 2016; Leite *et al.*, 2023).

**Figura 1.** Mapa de localização.



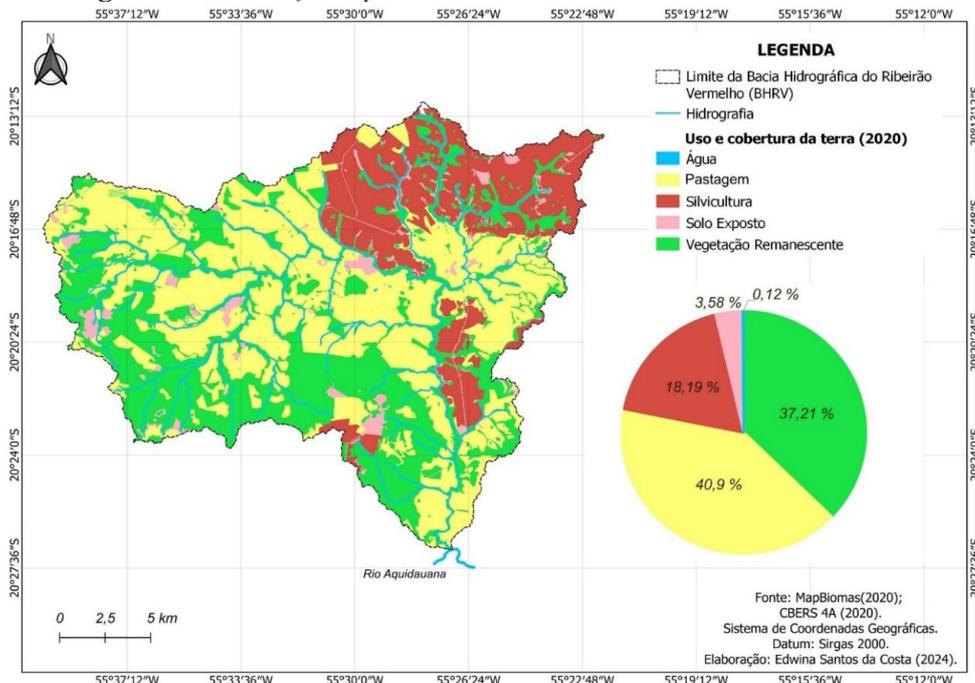
Fonte: IBGE (2022), ANA (2020).

A BHRV está inserida no bioma Cerrado, o segundo maior bioma do Brasil, com cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup>, abrangendo quase um quarto do território nacional. O Cerrado abriga aproximadamente 5% da diversidade biológica do planeta, incluindo 30% dos seres vivos do Brasil. Possui cerca de 262 espécies de animais e 12.385 espécies de plantas, das quais 4.400 são endêmicas (Embrapa, 2022).

Ferreira (2016, p. 28) destaca que o desenvolvimento da BHRV está ligado a “atividades relacionadas à agropecuária de corte, à silvicultura voltada para a produção de carvão destinado à siderurgia para a produção de ferro-gusa, e às atividades de ecoturismo no distrito de Palmeiras”. Além disso, a pecuária é amplamente distribuída por toda a bacia, com maior concentração nas regiões centro-norte e leste. Essa distribuição evidencia a necessidade de cuidados adequados com o solo, especialmente porque a atividade pecuária ocorre em áreas naturalmente vulneráveis, como solos quartzosos e regiões com declividade acentuada (Santos, 2022).

Ao analisar a distribuição espacial do uso e cobertura da terra na BHRV em 2020 (Figura 2), observa-se que a maior parte da área é ocupada por pastagens, correspondendo a 40,9% do total. A vegetação natural representa 37,21% da área, enquanto a silvicultura, uma atividade de destaque na bacia, abrange aproximadamente 18,19%.

**Figura 2.** Distribuição espacial do uso e cobertura da terra na BHRV, 2020.



Fonte: MapBiomias (2020), CBERS 4A (2020).

Leite *et al.* (2023) destacam que o relevo é um fator determinante para a ocupação de áreas voltadas para atividades econômicas. As áreas com maior declividade apresentam acesso mais restrito, o que impede a mecanização e, conseqüentemente, a ocupação em grande escala. Na BHRV, “áreas com declividade acima de 20% são basicamente ocupadas por remanescentes florestais e, em alguns casos, por pastagens” (Leite *et al.*, 2023, p. 4).

É importante destacar que o clima da região tem grande influência nos processos erosivos. Os processos erosivos causados pelas chuvas tendem a ser mais intensos em regiões de clima tropicais “onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões” tendo as chuvas mais concentrada em determinadas estações (Guerra, 2007, p. 17).

Em uma análise climática feita para o Estado do Mato Grosso do Sul por Ivasko Júnior *et al.*, (2020) baseados na classificação de Köppen, a área da BHRV encontra-se entre os tipos de clima Am, definido como clima tropical de monção e Aw, clima tropical de savana, tendo concentração pluviométrica no verão com ocorrência de chuvas torrenciais e apresentando um inverso seco.

Na área da BHRV os solos predominantes são os do tipo Neossolo, correspondendo a cerca de 74,48% distribuídos espacialmente em porções sobre toda a bacia. Os demais solos correspondem aos Latossolos (4,64%), a sudoeste e sudeste da bacia, Argissolo (19,45%) distribuídos em porções a norte, noroeste, leste e ao sul, e Gleissolo (1,51%) localizado a sul, acompanhando o canal principal em seu deságue.

Com relação a geologia a área da BHRV, é composta por três litologias, destacando-se a classe Formação Aquidauana com predomínio na área que corresponde a cerca de 95,19%. Constituído principalmente de arenito, a Formação Aquidauana é composta por sedimentos que se apresentam em variabilidade granulométrica, manifestando diamictitos ao longo do afloramento da formação (Brasil, 1982).

Além da formação Aquidauana a BHRV apresenta também as classes geológicas Formação Botucatu com cerca de 4,75%, a sudoeste, e a Formação Furnas com uma pequena porção, cerca de 0,04%, localizada a noroeste da bacia. A Formação Botucatu apresenta em sua composição arenitos que “mostram-se como extensos chapadões arenosos, totalmente desagregados formando solos areno-argilosos sem os caracteres da rocha original” (Brasil, 1982, p. 85). Já a Formação Furnas é composta por arenito com estratificação cruzada, no geral predomina-se arenitos grosseiros, com estruturas pouco nítidas (Brasil, 1982).

Compreender as características que compõem uma bacia hidrográfica, como as apresentadas, é importante para discutir as alterações da paisagem. A erosão é um processo

que modifica a paisagem e é influenciado por diversas variáveis, especialmente o relevo e a chuva, que, quando analisados em conjunto, ajudam a compreender a dinâmica das bacias hidrográficas e podem indicar melhores usos.

## Metodologia

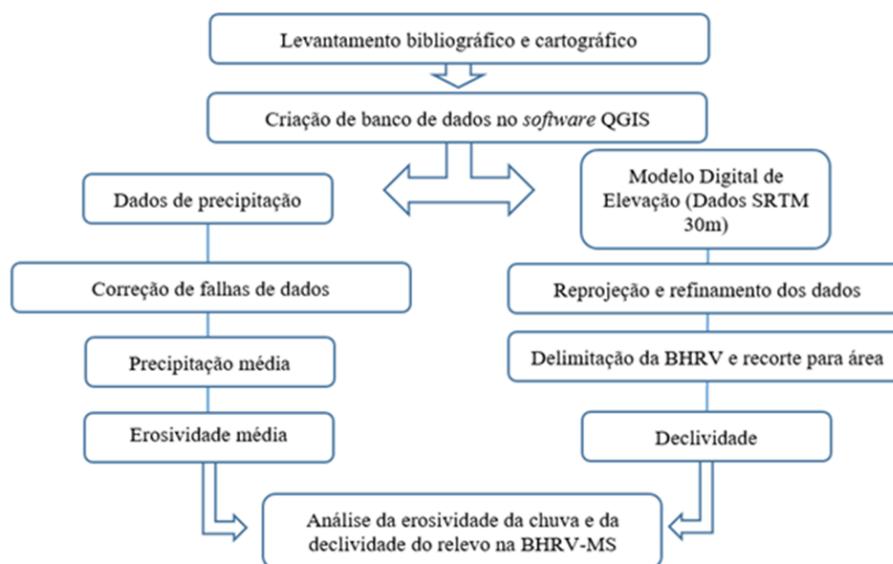
Após o levantamento cartográfico da área de estudo, foi criado um banco de dados no *Software* livre e aberto QGIS, onde foi possível realizar a manipulação dos dados geoespaciais e finalizar o material cartográfico para a análise proposta.

Os materiais utilizados foram os seguintes:

- *Shapefile* dos limites nacionais, estaduais e municipais (IBGE, 2021);
- *Shapefile* de hidrografia (ANA, 2022);
- MDE, Dados SRTM 30m 20S57 e 20S555 (Topodata, 2011);
- Dados pluviométricos (Plataforma HIDROWEB v3.2.7, ANA, 2000 a 2020);

Com os dados supracitados, foram realizadas as etapas apresentadas no fluxograma a seguir (Figura 3).

**Figura 3.** Fluxograma metodológico.

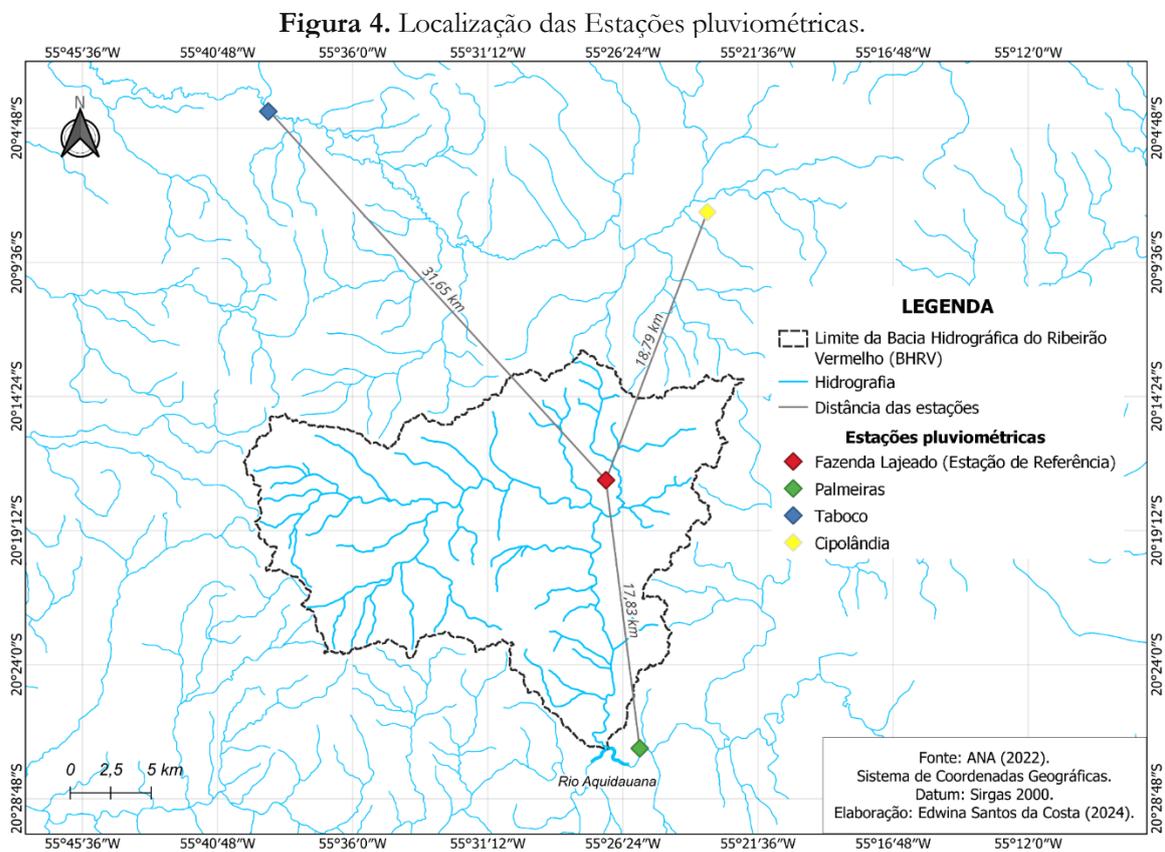


**Fonte:** Autores (2023).

A delimitação da BHRV foi realizada através de dados SRTM 30m (20S57 e 20S555) no *software* QGIS. Para correção das depressões, utilizou-se a ferramenta *r.fill.dir*. As falhas no MDE são caracterizadas por áreas rodeadas por elevações com valores de cotas superiores, semelhante a uma depressão. O preenchimento dessas pequenas depressões é o primeiro tratamento dado à matriz de altitudes (Cunha *et al.*, 2022). As depressões podem ser

componentes reais do terreno, mas também podem ser oriundas de erros de digitalização, artefatos produzidos na interpolação dos MDE ou processo de reamostragem (Wu *et al.*, 2008). Posteriormente através da ferramenta *r.watershed*, extraiu-se a direção de fluxo, segmento de fluxo e rótulos. Com esses dados, na ferramenta *r.water.outlet*, foi selecionado a direção de fluxo e identificado o ponto mais baixo, criando automaticamente o limite da bacia.

Os dados das estações pluviométricas foram obtidos na plataforma HIDROWEB v3.2.7 da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). A estação pluviométrica Fazenda Lajeado foi utilizada como referência por ser a única localizada no interior da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV) (Figura 4).



Fonte: ANA (2022).

Neste trabalho, foi utilizado o intervalo temporal de 20 anos (2000 a 2020), período em que foram encontradas falhas para a estação de referência, localizada nas coordenadas Latitude -20,29 e Longitude -55,45. Deste modo, para preencher as falhas encontradas, realizou-se uma busca por estações vizinhas que apresentassem dados completos para o

preenchimento, baseado na metodologia da Ponderação Regional descritas por Bertoni e Tucci (2001).

Além da estação de referência, foram corrigidas as falhas encontradas com o Método da Ponderação Regional em mais três estações localizadas no entorno da bacia, a saber: Estação Pluviométrica Palmeiras, a 17,89 km da estação de referência; Estação Pluviométrica Cipolândia, a 18,78 km da estação de referência; e Estação Pluviométrica Taboco, a 31,97 km da estação de referência.

Com os dados pluviométricos para o período histórico de 20 anos das quatro estações (Fazenda Lajeado, Palmeiras, Cipolândia e Taboco), foram identificadas falhas em alguns meses, que foram corrigidas utilizando dados de outras estações próximas. Assim, a análise foi realizada com um total de nove estações, conforme listado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Estações pluviométricas utilizadas para correção de falhas.

| Nome da Estação | Códigos da Estação | Coordenadas |           | Distância da Estação de Referência |
|-----------------|--------------------|-------------|-----------|------------------------------------|
|                 |                    | Latitude    | Longitude |                                    |
| Fazenda Lajeado | 2055003            | -20,29      | -55,45    | Estação de Referência              |
| Cipolândia      | 2055002            | -20,45      | -55,43    | 17,89 Km                           |
| Palmeiras       | 2055001            | -20,13      | -55,39    | 18,78 Km                           |
| Taboco          | 2055004            | -20,07      | -55,65    | 31,97 Km                           |
| Iguaçu          | 1955000            | -19,94      | -55,79    | 52,72 Km                           |
| Santa Elisa     | 2054009            | -20,49      | -54,87    | 64,47 Km                           |
| Jaguará         | 2054005            | -20,49      | -54,81    | 70,42 Km                           |
| Rochedo         | 2054009            | -20,49      | -54,87    | 71,55 Km                           |
| DNOS - 8.DRS    | 2054014            | -20,45      | -54,63    | 86,87 Km                           |

Fonte: ANA (2022), organizado pelos autores (2024).

Para a espacialização da precipitação média e da erosividade média da BHRV, foi empregado o método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW). Esse método se baseia na premissa de que “as amostras de pontos são pesadas durante a interpolação conforme a influência de um ponto relativo a outro” (QGIS, 2022, p.1). O IDW calcula valores em locais não amostrados ponderando os valores dos pontos conhecidos, com pesos inversamente proporcionais à distância entre os pontos. Assim, pontos mais próximos ao local de interpolação têm maior influência sobre o valor estimado, o que proporciona uma representação mais precisa das variáveis espaciais em análise.

Na função *raster*, utilizou-se a ferramenta análise para extrair a declividade em porcentagem. Em seguida, a declividade foi reclassificada usando a função *r.reclass*, de acordo com os intervalos estabelecidos pela Embrapa (1979), conforme descrito no Quadro 2.

**Quadro 2.** Classes de declividade e descrição.

| <b>Classe de Declividade</b> | <b>Classe de declividade</b> | <b>Descrição</b>  |
|------------------------------|------------------------------|---|
| Plano                        | (0 a 3%)                     | Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.  |
| Suave ondulado               | (3 a 8%)                     | Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto e/ou outeiros apresentando declividade suave.  |
| Ondulado                     | (8 a 20%)                    | Superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas e/ou outeiros.  |
| Forte ondulado               | (20 a 45%)                   | Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros com elevações de 100 a 200m de altitude relativa.  |
| Montanhoso                   | (45 a 75%)                   | Superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos. |
| Escarpado                    | (> 75%)                      | Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escapamentos com declividade muito forte.   |

**Fonte:** Embrapa (1979).

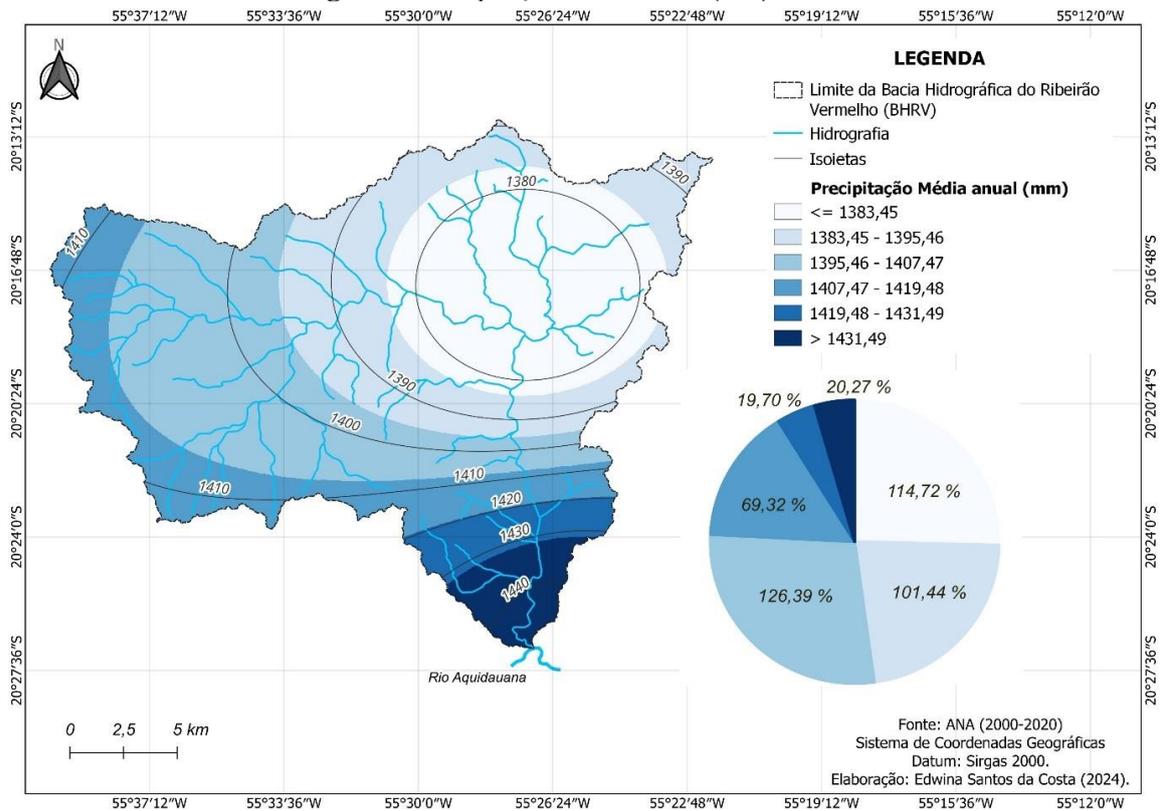
A análise da declividade do relevo permite a avaliação detalhada da topografia do terreno, evidenciando áreas com diferentes níveis de inclinação. Dessa forma, é possível identificar regiões com maior velocidade de escoamento superficial, o que aponta para áreas que sofrem maior desgaste da superfície devido a essa variável.

## **Resultados e Discussões**

Nos dados pluviométricos, a estação de referência Fazenda Lajeado apresentou falhas de registro em 46 meses ao longo do intervalo temporal de 20 anos (2000 a 2020), com a concentração dessas falhas nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. Essas lacunas foram preenchidas utilizando o método da Ponderação Regional, assim como as falhas de outras estações. Como resultado, foi possível elaborar o mapa de precipitação média anual para o intervalo de 20 anos (2000 a 2020), que apresentou valores variando entre 1.383,45 e 1.431,49 mm (Figura 5).

A criação do mapa de precipitação média anual, após a correção das falhas, proporciona uma visão detalhada e contínua da distribuição espacial das chuvas na BHRV. Este mapa pode subsidiar diversas aplicações, como a modelagem hidrológica, gestão de recursos hídricos e planejamento ambiental. A variação dos valores de precipitação média anual indica uma relativa uniformidade na distribuição das chuvas na região, embora ainda permita identificar áreas com ligeiras diferenças que podem ser relevantes para estudos de microclimas e gestão agrícola.

**Figura 5.** Precipitação média anual (mm) de 2000 a 2020.

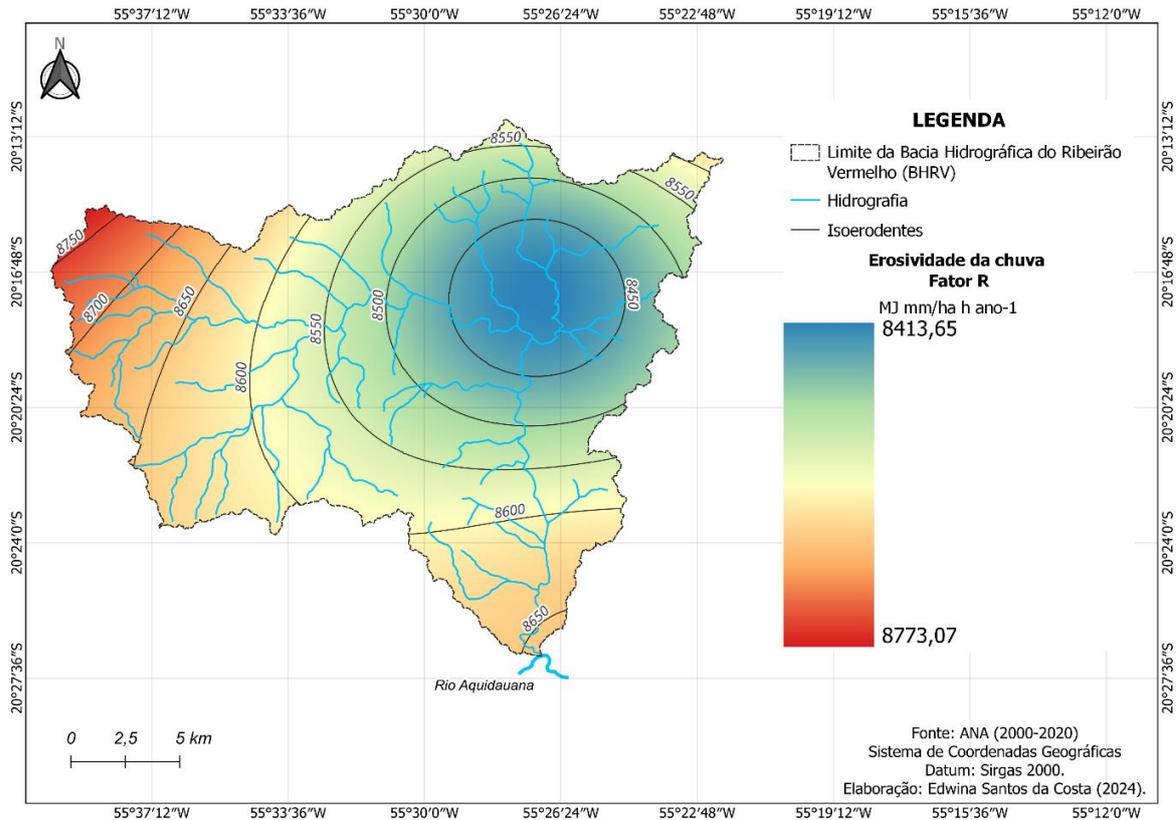


Fonte: ANA (2000-2020).

Os valores de erosividade média para a BHRV (Figura 6) variaram de 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>. A distribuição espacial dos maiores valores de erosividade média anual concentra-se na região noroeste, enquanto os valores mais baixos estão localizados a nordeste, na área do médio curso do canal principal.

Comparando os resultados obtidos para a BHRV com os encontrados por Oliveira *et al.* (2012) para o Estado de Mato Grosso do Sul, que variam de 5.770 a 13.601 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>, com uma média anual de 9.318 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>, e com os valores obtidos por Cunha *et al.* (2022) para a Bacia do Rio da Prata, que estão entre 8.257,53 e 8.727,26 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>, observa-se que a BHRV está em uma faixa intermediária de erosividade. Além disso, os resultados encontrados por Florentim *et al.* (2021) para a Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo em Aquidauana-MS, com valores variando de 7.749,29 a 7.800,55 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>, indicam valores próximos à faixa inferior dos dados da BHRV.

Figura 6. Fator R da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.



Fonte: ANA (2000-2020).

Na bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, situada a noroeste da BHRV, Cunha (2015) apresentou valores médios para erosividade anual de 8953,05 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>. Desta forma, os valores encontrados para a BHRV são comparáveis aos resultados obtidos em estudos similares, conforme supracitado.

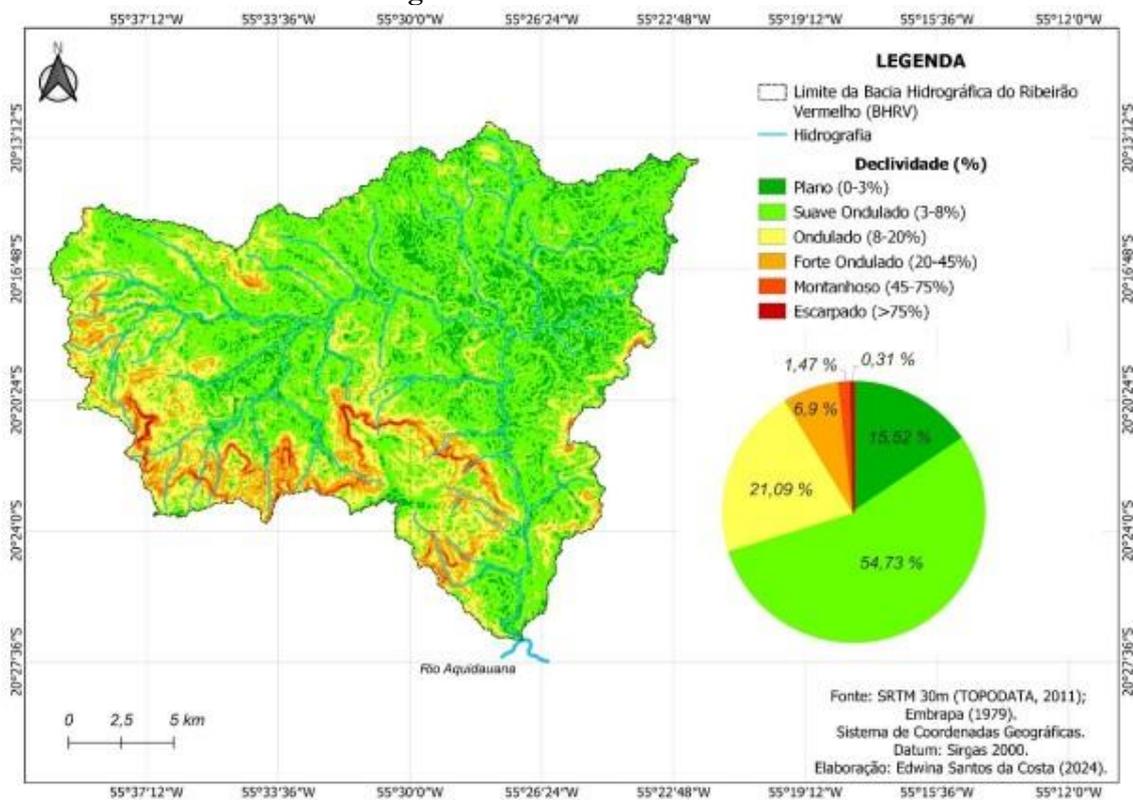
As variações nos valores de erosividade entre diferentes bacias hidrográficas podem ser atribuídas a fatores climáticos, geológicos, topográficos e de uso da terra. A intensidade e distribuição da precipitação, desempenham um papel crucial ao esculpir a paisagem. Solos com diferentes composições, texturas e estruturas também influenciam a erosividade, sendo que solos arenosos são mais suscetíveis à erosão do que solos argilosos. A cobertura vegetal densa, como florestas, oferece maior proteção contra a erosão em comparação com áreas desmatadas. A topografia, especialmente a declividade, afeta a velocidade do escoamento superficial, com áreas mais inclinadas tendendo a sofrer maior erosão.

Além disso, práticas de uso do solo, como desmatamento, urbanização e agricultura intensiva, podem aumentar a erosividade do solo, enquanto práticas conservacionistas podem mitigá-la. Características geológicas, como o tipo de rocha e estruturas geológicas,

também influenciam a suscetibilidade à erosão. Fatores climáticos, como variações extremas de temperatura e ventos fortes, podem afetar a coesão do solo e aumentar a erosividade. A interação desses fatores determina a suscetibilidade de uma bacia hidrográfica à erosão, resultando em variações nos valores de erosividade entre diferentes bacias.

Em relação à declividade (Figura 7), os menores valores estão localizados no centro e a nordeste da BHRV, com cerca de 15,52% de relevo plano, 54,73% de relevo suave ondulado e 21,09% de relevo ondulado. Áreas com maior nivelamento topográfico tendem a ser mais ocupadas devido às condições mais favoráveis para acesso e uso de maquinários.

**Figura 7.** Declividade da BHRV.



**Fonte:** Topodata (2011), Embrapa (1979).

As áreas com os maiores valores de declividade estão localizadas a oeste da bacia, onde se encontra a Serra de Santa Bárbara, caracterizada por um relevo composto por escarpas e serras. Nessas áreas, a distribuição da declividade pode ser descrita da seguinte forma: para a classe Escarpado (> 75%), aproximadamente 1,37% da área; para a classe Montanhoso (45 a 75%), cerca de 6,60%; e para a classe Forte ondulado (20 a 45%), aproximadamente 6,90% (Tabela 1).

**Tabela 1.** Declividade da BHRV.

| <b>Declividade (%)</b>    | <b>Km<sup>2</sup></b> | <b>% que ocupa da área</b> |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Plano (0 a 3%)            | 70,11                 | 15,52                      |
| Suave ondulado (3 a 8%)   | 247,27                | 54,73                      |
| Ondulado (8 a 20%)        | 95,27                 | 21,09                      |
| Forte ondulado (20 a 45%) | 31,17                 | 6,90                       |
| Montanhoso (45 a 75%)     | 6,63                  | 1,47                       |
| Escarpado (> 75%)         | 1,38                  | 0,31                       |
| <b>Total</b>              | <b>451,83</b>         | <b>100</b>                 |

**Fonte:** Embrapa (1979), organizado pelos autores (2023).

Thomaz (2019) destaca que a perda de solo está intrinsecamente ligada à declividade, embora outros fatores também desempenhem um papel crucial nesse processo. Do ponto de vista da geomorfologia, considerando a quarta ordem de grandeza geomorfológica estabelecida pelo IBGE (2009), que apresenta os tipos de forma do relevo, a área de estudo é composta pelos modelados de dissecação e de aplainamento. Os modelados de dissecação apresentam características de topo convexo em cerca de 37,42%, da área localizados a noroeste, sudoeste e uma porção ao sul, sendo caracterizados por vales bem definidos e vertentes com declividade variada. Além disso, os modelados de dissecação, que abrangem cerca de 29,74% da área, apresentam formas de topo tabulares e são caracterizados por redes de drenagem de baixa densidade e pouca declividade, localizados na porção norte e noroeste da bacia. Esses modelados “resultam da instauração de processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada” (IBGE, 2009, p. 44).

Os modelados de aplainamento, localizados à oeste e sudoeste, correspondem a 17,01% da área sendo do tipo Pgi. Eles se caracterizam por serem “pouco dissecada e/ou separada por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplanamento e de dissecação correspondentes aos sistemas morfogenéticos subsequentes” (IBGE, 2009, p. 40). Já os modelados de aplainamento do tipo Pri, que acompanham o meio curso do rio principal até seu desague, correspondem a cerca de 15,81% da área. Estes são compostos por “superfície de aplanamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão e sem, no entanto, perder suas características de aplanamento, cujos processos geram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos” (IBGE, 2009, p. 40).

Diante do exposto, a interação do volume pluviométrico e erosividade da chuva analisada conjuntamente com a declividade correspondem diretamente a velocidade do fluxo superficial. As áreas com maior declividade tendem a ser mais erodidas, permitindo uma velocidade maior da água, o que, por conseguinte, podem causar sulcos que podem evoluir

para a formação de ravinas e voçorocas (Thomaz, 2019). Além disso, é importante ressaltar que a interação entre altos volumes pluviométricos e terrenos declivosos, especialmente em áreas agrícolas ou de pecuária, tende a ser um problema constante que deve ser monitorado e manejado com o objetivo de mitigação e prevenção de processos erosivos. Esses fenômenos colocam em risco a produção de alimentos, o equilíbrio dos ecossistemas e causam prejuízos financeiros para os produtores rurais locais.

Nas áreas de elevada precipitação e alta declividade, os processos erosivos são substancialmente intensificados. A combinação de grandes volumes de escoamento e altas velocidades do fluxo superficial facilita o transporte significativo de sedimentos, resultando em uma erosão acentuada. Por outro lado, áreas onde a declividade é reduzida e a precipitação é moderada, a erosão tende a ser atenuada, proporcionando uma maior estabilidade do solo e diminuindo o transporte de sedimentos.

## **Conclusões**

Conforme evidenciado pelos mapas, a precipitação média anual e os valores de erosividade apresentaram menores magnitudes na porção leste da BHRV, aumentando gradualmente em direção a leste-sul e leste-oeste. A pluviosidade variou entre 1.383,45 e 1.431,49 mm, enquanto a erosividade média anual variou de 8.413,65 a 8.773,07 MJ mm/ha ano<sup>-1</sup>. As maiores declividades, como forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 75%), também estão localizadas nas áreas com maiores valores de erosividade e precipitação. Áreas com maior declividade indicam um potencial elevado para aumento na velocidade e na força do escoamento superficial, intensificando os processos erosivos.

Embora a declividade desempenhe um papel crucial na erosão do solo, outras variáveis, como uso e cobertura da terra, também são determinantes significativos. O desmatamento, a agricultura intensiva e a urbanização podem agravar a erosão, destacando a necessidade de uma análise mais abrangente dessas interações. Recomenda-se que futuras pesquisas se concentrem na integração desses fatores para obter resultados mais precisos e desenvolver estratégias de manejo adaptativas.

Os métodos utilizados mostraram-se eficazes, permitindo uma análise detalhada dos dados e gerando resultados compatíveis com estudos em áreas adjacentes. A aplicação dessas metodologias é recomendada para a análise de áreas com características semelhantes às da BHRV. A interação entre erosividade da chuva e declividade do relevo, especialmente quando correlacionada com uso e cobertura do solo, é essencial para o planejamento

ambiental. Identificar áreas que necessitam de monitoramento e manejo adequado é fundamental para prevenir a perda de solo, a qual pode impactar negativamente tanto o meio ambiente quanto as atividades rurais.

Para mitigar os impactos da erosão, é necessário implementar ações de manejo e políticas de conservação apropriadas. Recomenda-se o desenvolvimento de programas de reflorestamento em áreas com alta declividade e erosividade, além da promoção de práticas agrícolas sustentáveis. A implementação de técnicas de controle de erosão, como a construção de terraços e o manejo adequado da água pluvial, é altamente recomendada para reduzir a perda de solo, proteger o meio ambiente e manter as atividades econômicas locais.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fundação de Apoio para o Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), ao Governo do Estado de Mato Grosso do Sul; à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### **Referências**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Dados de precipitação de 2000 a 2020**. Rede Hidrometeorológica Nacional. Hidroweb V3.2.6. Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa> >. Acesso em: 16 jun. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. *Shapefile* de hidrografia. Disponível em: < <https://encurtador.com.br/5qSQy> >. Acesso em: 16 jun. 2022.

BAPTISTA, G. M. de M. **Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento. Dissertação** (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 1997.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In.: **Hidrologia: ciência e aplicação**.Org. Carlos E. M. Tucci, 2ª ed., Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BERTONI, José.; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 10ª ed. São Paulo: Ícone, 2017.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Folha SF-21, Campo Grande, 1982.

CBERS 4A. **Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) na data de 30/05/2020.** In: Catálogo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CUNHA, E. R. da. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá – MS.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.

CUNHA, E. R.; SOARES, C. A. G.; SILVA, R. M.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S. de; OLIVEIRA, N. de S.; FALCÃO, K. S. Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil). **Science of the Total Environment** 818 (2022) 151811. Disponível em:< <https://encurtador.com.br/4eSQT> >. Acesso em: 08 nov. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos**, Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cerrado**, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo. 2022.** Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>. Acesso em: 25 out. 2023.

FERREIRA, E. M. **Uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho nos anos de 1988, 2000 e 2014 – nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti – MS.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Aquidauana, 2016.

FLORENTIM, E. T.; CORREA, H. C. R.; MONTEIRO, F. das N.; FALÇÃO, K. dos S.; PANACHUKI, E. **Espacialização da erosividade mensal e anual da chuva na bacia hidrográfica do Córrego Fundo, Aquidauana-MS.** Research, Society and Development (Revista de Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento), v. 10, n.1, e3110111173, 2021 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11173>.

GALDINO, S.; GREGO, C. R.; SILVA, J. dos S. V. da. Distribuição espacial da erosividade da chuva na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. Anais... **5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 211 -219. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45530535.pdf>. Acesso em: 10 de out. de 2022.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In. GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceito e aplicações.** 3º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

HSIEH, Yuch Ping. A field technology for soil erosion research: **Conceptual analysis and preliminary results.** Catena, v. 210, p. 105924, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico em geociência número 5**. Manual Técnico de Geomorfologia. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Shapefile dos limites nacionais, estaduais e municipais**. Disponíveis em: < <https://encurtador.com.br/kSbsN> >. Acesso em: 16 jun. 2022.

IVASKO JÚNIOR, S.; MASTELLA, A. D. F.; TRES, A.; TETTO, A. F.; WENDLING, W. T. Classificação do estado de Mato Grosso do Sul segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 16 – Vol. 26 – 2020.

LEITE, E. F.; CARVALHO, E. M.; KITAURA, M. J.; COSTA, E. S. Delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho (MS) e análise do uso e cobertura da terra e sua relação com a declividade. Anais... do **XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE – Florianópolis, 2023.

MACHADO, D.O.; ALVES SOBRINHO, T.; RIBEIRO, A.S.; IDE, C.N.; OLIVEIRA, P.T.S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Eng. Sanit. Ambiental**, v.19 n.2, pp. 195-201. 2014.

MapBiomas. Iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima). **Uso e cobertura da terra**, Coleção 8, Brasil, 2020. Disponível em: < <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/> >. Acesso em: 08 nov. 2023.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. **Rainfall erosivity in Brazil: a review**. **Catena** 100, 139–147. 2012.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. **Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil**. Engenharia Agrícola [online]. 2012, v. 32, n. 1. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/dLZ9JwQ5sSHWCvjqxP5LHgG/?lang=en#>. Acesso em: 30 de nov. de 2022.

PINTO, Átila Alves; FERREIRA, Ítalo Ruan Dantas; STUDART, Ticiano Marinho Carvalho; LUNA, Renata Mendes. **Metodologias de preenchimento de falhas de séries pluviométricas anuais: Comparativo entre o método do Vetor Regional e a Regressão Linear Simples**. Anais... XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 26 de novembro a 01 de dezembro de 2017. Florianópolis- SC.

QGIS. **Análise Espacial (Interpolação)**. Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). 2022. Disponível em: < <https://encurtador.com.br/OHUWO> >. Acesso em: 29 set. 2022.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook** No 703. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.

SANTOS, A. B. C. **Análise da vulnerabilidade natural da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho/MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2022.

SOARES, N. K. de C.; SILVA, C. A. da. Comparação de metodologias para preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos: Média Aritmética X Ponderação Regional com base em Regressão Linear. Anais... XVII **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I congresso Nacional de Geografia Física: Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Instituto de Geociências – Unicamp. Campinas – SP. 2017.

THOMAZ, E. L. **Erosão do solo: teorias e perspectivas**. Curitiba: CRV, 2019.

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. **Dados SRTM 30m 20S57 e 20S555, 2011**. Disponível em: < <https://encurtador.com.br/rAUCT> >.

WU, S.; LI, J.; HUANG, G. H. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: sensitivity to elevation data resolution. **Applied Geography**, v. 28, n. 3, p. 210-223, 2008.

Recebido em: julho de 2023

Aceito em: março de 2025