

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CAMPUS – TRÊS LAGOAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**KLEBER RODRIGO PENTEADO**

**Perda de solos em estradas rurais de leito natural na Bacia do Córrego Moeda  
(MS): Modelagem EUPS e a influência da Conectividade Hidrológica Retilínea  
Induzida**

**TRÊS LAGOAS  
2025**

**Kleber Rodrigo Penteado**

**Perda de solos em estradas rurais de leito natural na Bacia do Córrego Moeda  
(MS): Modelagem EUPS e a influência da Conectividade Hidrológica Retilínea  
Induzida**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus Três Lagoas como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.  
Orientadora: Professora Doutora Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba.

**TRÊS LAGOAS  
2025**

KLEBER RODRIGO PENTEADO

**Perda de solos em estradas rurais de leito natural na Bacia do Córrego Moeda (MS): Modelagem EUPS e a influência da Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba

Vitor Matheus Bacani

Ary Tavares Rezende Filho

Cesar Gustavo da Rocha Lima

Flavio Pereira de Oliveira

Certificamos que esta é a versão original e final da tese que foi julgada adequada para obtenção do título de doutor em Geografia.

**Três Lagoas  
2025**

*Aos meus pais, meus filhos e minha esposa.*

## Agradecimentos

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Campus Três Lagoas;

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul por todo contexto do programa de afastamento para pós-graduação e suporte ao desenvolvimento desta pesquisa;

À UFMS e ao IFMS pela parceria que deu origem ao programa Qualifica;

A todos os técnicos e docentes membros dos laboratórios LAPEGEO-SIG, La-Ser, LABGRH e LABICGEO;

Ao professor André Luiz Pinto por ter acolhido minha proposta de trabalho com carinho, paciência e ter orientado os primeiros passos desta trajetória, dando apoio, suporte e compartilhando, além do conhecimento acumulado, os bancos de dados de precipitação sobre a Bacia do Moeda, tão importantes para o desenvolvimento do desenrolar deste trabalho;

À professora Gislene Porangaba por ter me acolhido como seu orientado e parte do seu grupo de trabalho, por ter sido sempre muito dedicada e carinhosa no processo de orientação, correção e apoio incondicional em todos os momentos e sobretudo por acreditar no potencial do meu trabalho;

Aos proprietários e funcionários da Fazenda Querência que foram fundamentais para tornar viável tanto o monitoramento de alta resolução temporal das precipitações, quanto o processo de suporte logístico diante de situações vivenciadas em campo. Obrigado pela acolhida amistosa à proposta de pesquisa e todo suporte e apoio que prestaram de maneira irrestrita.

Aos diretores do IFMS (Walterílio, Edson, Douglas, José e Cíntia) que em todo momento mantiveram apoio amplo ao processo de desenvolvimento da pesquisa e das soluções desenvolvidas;

À COADS-TL (na pessoa do Marcos – “Comando”) pelo amplo apoio com as questões de logística e suporte para uso da frota do IFMS;

Aos técnicos de laboratório do IFMS (Bruno, Suély e Lucas) e da UFMS (Cesar e Hermílio) pelo apoio e suporte no desenvolvimento das atividades de campo e no cuidado, apoio e suporte às soluções em situações de práticas laboratoriais;

Ao meu pai, Juarez Penteado, por ter dedicado, muito além do carinho e atenção, tempo, recursos e sua energia para fazer um intensivo de atividades de campo e laboratório comigo para finalizar o processo de coleta de amostras, cedendo

seu carro e fazendo muita força no processo de coleta e processamento das amostras em campo e no laboratório, sem você pouco desse trabalho teria sido feito;

À minha esposa, Munisa, pela parceria incondicional e cumplicidade em todos os momentos;

À minha mãe, Lurdes Penteado, que todas as vezes que precisei de suporte veio até minha casa para ajudar com a logística e cuidados com os meus filhos;

À minha sogra, Ivani, por ter nos ajudado diversas vezes na logística de casa sempre que precisei me ausentar para alguma atividade ligada à pesquisa;

Ao meu amigo, parceiro de trabalho e de muitos projetos, Maycon Rotta, por ter me ensinado a trabalhar com Arduino, por me ajudar a corrigir diversos bugs da Estação Meteorológica, e, principalmente por ter me ensinado muito sobre o processo de fazer pesquisas científicas;

Ao Marco Aurélio e ao Bruno Mochi, que me ajudaram de forma entusiástica e muito eficaz no processo de atividade de campo, mesmo na iminência de encontrar com as onças;

Aos estudantes Hyan Belini, Nogar Boca (geografia UFMS); Luiz Gustavo, Marco e Rangel Gomes (TADS IFMS); Weverthon Henrique (IFMS), Ryan Sawata (ex-aluno do IFMS) pelo apoio e suporte às atividades de campo;

Aos Professores Karina Kamimura, Flavio Pereira, Rogério Antoniassi, Sedeval Nardoque, Vitor Bacani, Cesar Gustavo e Patrícia Mirandola que, de alguma forma contribuíram para o bom andamento desta pesquisa, seja ouvindo, orientando ou dando algum tipo de suporte técnico, logístico, didático;

Ao André Amaral da EMBRAPA por ter me ajudado a encontrar soluções e caminhos técnicos, além de recomendações de contato e de bibliografia;

A todos os professores que ministraram disciplinas no PPGGEO, sem dúvida a contribuição do aprendizado em cada aula e em cada atividade foi fundamental para sedimentar a construção da pesquisa;

Aos meus pais, por sempre serem inspiração para lutar e seguir buscando aprender mais, pelas suas orações que me ajudaram a suportar os momentos difíceis e pela persistência de acreditar que a educação é o melhor caminho para o crescimento;

Aos meus filhos por darem o frescor necessário à vida e sempre me inspirarem pela busca de um mundo melhor;

Aos amigos da EPILPA, em especial Bartholomeu Vonderbilt, por insistir em fazer da arte ciência e da ciência uma arte e manter pulsante a chama da inspiração criativa;

A todos que, de alguma forma cruzaram a minha trajetória neste caminho e, por isso, contribuíram para que fosse possível concluir essa jornada;

Por fim, e por acreditar, a Deus pela centelha de vida e inspiração para seguir sempre buscando aprimorar a condição de vida nesta casa comum que vivemos.

### ***O Pó da Estrada***

*O pó da estrada gruda no meu rosto  
Como a distância, matando as palavras  
Na minha boca sempre o mesmo assunto  
O pó da estrada*

*O pó da estrada brilha nos meus olhos  
Como as distâncias mudam as palavras  
Na minha boca sempre a mesma sede  
O pó da estrada*

*Eu conheci um velho vagabundo  
Que andava por aí sem querer parar  
Quando parava, ele dizia a todos  
Que o seu coração ainda rolava pelo mundo*

*E o pó da estrada fica em minha roupa  
O cheiro forte da poeira levantada  
Levando a gente sempre mais à frente  
Nada mais urgente  
Que o pó da estrada  
Que o pó da estrada*

*Conheci um velho vagabundo  
Que andava por aí sem querer parar  
Quando parava, ele dizia a todos  
Que o seu coração ainda rolava pelo mundo*

*E o pó da estrada fica em minha roupa  
O cheiro forte da poeira levantada  
Levando a gente sempre mais à frente  
Nada mais urgente  
Que o pó da estrada  
Que o pó da estrada*

*(Sá, Rodrix & Guarabyra)*

## RESUMO

A dinâmica da perda de solos em estradas rurais de leito natural representa um desafio para a gestão ambiental em bacias hidrográficas, especialmente em regiões de expansão agroindustrial. Esta tese teve como objetivo geral avaliar a influência relativa da erosividade, declividade e manejo na dinâmica de perda de solos em estradas rurais de leito natural e suas margens na Bacia do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS. A hipótese central foi que a contribuição dessas estradas para perda de solos é influenciada pela interação sinérgica entre esses três fatores. A metodologia baseou-se na integração de abordagens multi-escalares: a caracterização do regime de precipitações por meio da classificação da série histórica (1983-2017) em cenários de quantis (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso); a coleta *in situ* das variáveis relacionadas aos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em 23 Unidades Amostrais previamente determinadas; o registro, em alta resolução temporal, de eventos de precipitação (2023) para o cálculo da erosividade (EI30). Os resultados demonstraram que as estradas constituem a fonte primária de sedimentos da bacia, com perdas de solo que chegam a ser 600 vezes superiores às das margens com cobertura vegetal. A declividade mostrou-se um amplificador decisivo do processo, enquanto a sazonalidade e a ocorrência de eventos extremos definiram janelas de risco crítico. A análise integrada permitiu propor a estrutura conceitual de Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida para explicar a dinâmica erosiva, na qual as estradas, enquanto elementos antrópicos retilíneos, conectam o fluxo hidráulico superficial diretamente à rede de drenagem. Conclui-se que a hipótese foi confirmada e que as diretrizes de manejo propostas, fundamentadas na desconexão seletiva desses fluxos, oferecem um caminho viável para a mitigação da erosão, fornecendo um modelo analítico aplicável a bacias com contextos análogos.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica; Estradas Rurais de Leito Natural; Equação Universal de Perda de Solos (EUPS); Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida; Planejamento Conservacionista.

## ABSTRACT

Soil loss dynamics on unpaved rural roads (conceptualized here as natural surface roads) represent a key challenge for environmental management in watersheds, especially in regions of agro-industrial expansion. This thesis aimed to assess the relative influence of rainfall erosivity, slope, and management practices on soil loss dynamics on unpaved rural roads and their margins in the Córrego Moeda Watershed, in Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brazil. The central hypothesis was that the erosive contribution of these roads is influenced by the synergistic interaction of these three factors. The methodology was based on integrating multi-scalar approaches: characterization of the rainfall regime by classifying the historical series (1983-2017) into quantile scenarios ("Very Dry", "Dry", "Normal", "Rainy", and "Very Rainy"); *in situ* collection of variables related to the factors of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in 23 previously established Sample Units; and high-resolution recording of rainfall events (2023) for calculating erosivity (EI30). The results demonstrated that the roads constitute the primary source of sediments in the watershed, with soil losses up to 600 times greater than those in vegetated margins. The slope proved to be a decisive amplifier of the process, while seasonality and the occurrence of extreme events defined critical risk windows. The integrated analysis allowed for the proposition of the conceptual framework of Induced Rectilinear Hydrological Connectivity to explain erosive dynamics, in which roads, as rectilinear anthropogenic elements, connect surface hydraulic flow directly to the drainage network. It is concluded that the hypothesis was confirmed and that the proposed management guidelines, based on the selective disconnection of these flows, offer a viable path for erosion mitigation, providing an analytical model applicable to watersheds with analogous contexts.

**Keywords:** Water Erosion; Unpaved Roads; Rural Natural Surface Roads; Universal Soil Loss Equation (USLE); Induced Rectilinear Hydrological Connectivity; Conservation Planning.

## SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1- A Bacia Hidrográfica como unidade de análise em Geografia Física	4
2.2- Dinâmica das precipitações e processos erosivos	6
2.2.1- <i>Classificação das precipitações segundo a técnica dos quantis</i>	7
2.2.2- <i>Erosividade da Chuva: Dos conceitos de Chuva Erosiva aos Índices de EI e EI30</i>	8
2.3- A interação dos fatores no contexto de estradas rurais de leito natural	11
2.4- Modelagem da perda de solos a partir da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)	12
2.4.1- <i>Origem, princípios e uso da EUPS para a realidade brasileira</i>	13
2.4.2- <i>A estrutura conceitual da EUPS</i>	13
2.5- Delimitação de Unidades Amostrais em estradas rurais de leito natural	16
3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1- Clima	21
3.2- Geologia	22
3.3- Geomorfologia	24
3.4- Pedologia	26
3.5- Uso e cobertura da terra	28
4- MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1- Delimitação da área de estudo e das Unidades Amostrais (Uas)	32
4.1.1- <i>Delimitação da área de bacia hidrográfica</i>	32
4.1.2- <i>Identificação de problemas nas estradas e delimitação das Unidades Amostrais</i>	32
4.2 Caracterização de parâmetros de análise da área de estudo a partir da coleta de dados de campo	37
4.2.1- <i>Delimitação do Fator topográfico (LS)</i>	37
4.2.2- <i>Avaliação da Cobertura e das práticas de manejo do solo (Fator C)</i>	39
4.2.3- <i>Avaliação das Práticas conservacionistas (Fator P)</i>	39
4.2.4- <i>Coleta de amostras indeformadas de solo</i>	40
4.3- Aquisição e processamento dos dados de precipitação da BHCM	41
4.3.1- <i>Tratamento e processamento dos dados da EMA-Suzano</i>	41
4.3.2- <i>Estação Meteorológica Automática baseada em Arduino para registros de precipitação de alta resolução temporal</i>	44
4.4- Organização, processamento e cálculo dos diferentes parâmetros obtidos em campo	47
4.4.1- <i>Procedimentos para cálculo da erosividade das chuvas (Fator R)</i>	47
4.4.2- <i>Determinação dos demais fatores da Equação Universal de Perda de Solos</i>	53

4.5- Estratégias de manejo para os cenários críticos avaliados	60
<b>5- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>62</b>
5.1- Identificação de pontos críticos e definição de Unidades Amostrais (Uas) a partir da Inspeção Visual das Estradas por meio da Rodagem (IVER)	62
<i>5.1.1- Delimitação das Uas a partir da IVER e delimitação dos pontos de coleta de amostras de solo</i>	62
5.2- Contextualização das Unidades Amostrais na paisagem da área de estudo	64
<i>5.2.1- Síntese integrada dos condicionantes da perda de solo</i>	71
5.3- Dinâmica pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda e delimitação dos valores de erosividade das chuvas (Fator R)	73
<i>5.3.1- Cálculo da erosividade média anula a partir dos dados históricos de precipitação da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda</i>	73
<i>5.3.2- Caracterização das precipitações em quantis e definição de cenários pluviométricos baseados nos quantis para o cálculo da erosividade</i>	76
<i>5.3.3- Contextualização dos dados de alta resolução temporal de 2023 nos quantis</i>	85
<i>5.3.4- Cálculo do EI30 a partir dos dados de alta resolução temporal</i>	86
5.4- Integração das variáveis ambientais da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e cálculo da perda de solos	89
<i>5.4.1- Perda de solo anual na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda</i>	89
<i>5.4.2- Cenários mensais estacionais de perda de solo baseados nos quantis de precipitação em Unidades Amostrais selecionadas</i>	92
<i>5.4.3- Modelagem da perda de solo com valores de EI30 de alta resolução temporal para janeiro e abril de 2023 em Unidades Amostrais selecionadas</i>	99
<i>5.4.4- Influência do Fator R obtido por diferentes formas (média, quantis, EMA) sobre a modelagem de perda de solos (A) em Unidades Amostrais selecionadas</i>	103
5.5- Uma abordagem conceitual para o manejo: A Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida	108
<i>5.5.1- Evidências da conectividade: os problemas como sintomas de um sistema complexo</i>	108
<i>5.5.2- Diretrizes para desconexão estratégica</i>	113
<i>5.5.3- Síntese e implicações para o planejamento</i>	115
<b>6- CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>116</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>121</b>
APÊNDICE A - Variação da Perda de solo mensal por classe de quantil para todas as Unidades Amostrais	132
ANEXO A - Ficha técnica dos cilindros biselados do kit <i>Hilf</i>	140

## 1- Introdução

As estradas rurais de leito natural, frequentemente negligenciadas no planejamento conservacionista, consolidam-se não apenas como vetores de deslocamento, mas como agentes geomorfológicos de primeira ordem, capazes de imprimir efeitos expressivos na paisagem de uma bacia hidrográfica. Este cenário é particularmente crítico em regiões de expansão agroindustrial, onde a pressão sobre a infraestrutura viária não pavimentada é intensa.

No Brasil, essa problemática assume escala continental, com cerca de 1,35 milhão de quilômetros (78,5%) da malha rodoviária sendo não pavimentada (CNT, 2022). Em Mato Grosso do Sul, esse percentual é de 72,5%, o que representa 43.803,9 Km de estradas de terra (MATO GROSSO DO SUL, 2024).

Esse contexto ganha contornos específicos no município de Três Lagoas – MS, polo do complexo papel-celulose nacional. Desde meados dos anos 2000, o município experimenta um expressivo crescimento urbano-industrial, capitaneado pela instalação de grandes empresas do setor (Aranha-Silva *et al.*, 2011; Baratelli; Medeiros; Luiz, 2020; Delcol; Baptista, 2024; Delcol; Milani, 2022; Medeiros *et al.*, 2018; Penteado, 2014; Silva, 2013; Souza; Silva; Pinto, 2020). Com a segunda maior área de florestas plantadas do país (~301,9 mil ha), atrás apenas de Ribas do Rio Pardo (IBGE, 2024), a logística de escoamento de matéria-prima em Três Lagoas depende, portanto, massivamente da malha de estradas de terra.

Neste cenário, insere-se a Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (BHCM), palco da expansão do complexo VCP-IP a partir de 2006 e da criação do Distrito Industrial homônimo em 2010 (Delcol; Milani, 2022; Medeiros *et al.*, 2018; Silva, 2013). No entanto, apesar da relevância dessas estradas para a economia local, a avaliação quantitativa e integrada de sua contribuição como fonte de sedimentos, considerando a interação entre clima, relevo e manejo, ainda representa uma lacuna crítica ao planejamento conservacionista eficaz. A maior parte da logística do processo produtivo na BHCM é feita por essas vias, tornando premente a investigação dos processos erosivos a elas associados.

Visando colaborar com a compreensão dessa realidade, esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a influência relativa da erosividade, declividade e manejo na dinâmica de perda de solos em estradas rurais de leito natural e suas margens na BHCM. Parte-se da hipótese de que a contribuição significativa das estradas rurais de

leito natural para a perda de solos e os processos erosivos é influenciada pela interação entre a erosividade das chuvas, a declividade e as práticas de manejo adotadas para a estrada e seu entorno.

Para subsidiar o desenvolvimento deste objetivo e buscar confirmar esta hipótese, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: caracterizar o regime pluviométrico da BHCM por meio da classificação da série histórica (1983-2017) em classes de intensidade baseadas em quantis, definindo os cenários climáticos para a modelagem da erosão; constituir a base analítica para modelagem por meio da definição dos cenários de erosividade (R) e caracterização *in situ* dos demais fatores da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (K, LS, C, P) para as unidades amostrais estabelecidas; avaliar, por meio da EUPS, a perda de solo entre as estradas e suas margens para os diferentes cenários de erosividade das classes de precipitação; avaliar a perda de solos em cenários reais representativos das classes 'Normal' e 'Muito Chuvoso' a partir de valores de erosividade (EI30) calculados com dados pluviográficos de alta resolução temporal (2023) em pontos amostrais estratégicos; analisar a influência da declividade e das práticas de manejo na magnitude da diferença de perda de solo entre estradas e margens; elaborar diretrizes para o manejo e manutenção das estradas, visando a mitigação da perda de solos, com base nos fatores críticos identificados pela análise.

Além da aplicação e análise quantitativa por meio da EUPS, este trabalho buscou, a partir da integração dos resultados e da observação *in loco*, desenvolver uma estrutura conceitual que unifique a compreensão dos processos erosivos na bacia. Espera-se que esta síntese conceitual, emergente dos dados, possa oferecer subsídios para o planejamento conservacionista na BHCM e em contextos análogos.

Metodologicamente, o trabalho apoia-se em bases consolidadas: a caracterização climática seguiu a classificação por quantis de Monteiro; Rocha; Zanella (2012); Pinkayan (1966) e Xavier; Ambrizi; Silva (2017); a avaliação das estradas e o estabelecimento de Unidades Amostrais baseou-se na adaptação da metodologia de Eaton; Gerard; Cate (1987); e a modelagem de perda de solo na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier; Smith (1978), adaptada à realidade brasileira por Bertoni; Lombardi Neto (2014). A análise integrada desses fundamentos permitiu, para além da quantificação estimada da perda de solos, a elaboração de diretrizes de manejo para mitigação dos problemas identificados

(BRASIL - MAPA, 2021; Casarin, 2008; Casarin; Oliveira, 2009; Demarchi *et al.*, 2003; Ribeiro, 2016; Santos *et al.*, 2019).

A estrutura desta tese, dividida em seis capítulos, está organizada em uma sequência lógica de investigação. No presente capítulo, a Introdução, contextualiza-se o problema e a abordagem adotada. A Fundamentação Teórica explora o cerne dos conceitos-chave adotados para compreensão da complexidade dinâmica da perda de solos e do papel das estradas na paisagem da bacia hidrográfica. A Caracterização da Área de Estudo situa a Bacia do Córrego Moeda em seu contexto físico e antrópico. O capítulo de Materiais e Métodos descreve desde o processo de delimitação da área de estudo, passando pela caracterização das precipitações até a operacionalização da integração dos fatores da Equação Universal de Perda de Solos aos cenários de precipitação e a estruturação metodológica da proposta de manejo. No quinto capítulo, intitulado Resultados e Discussão, os dados são expostos e interpretados, quantificando o impacto das estradas sob diferentes cenários de interação dos fatores da EUPS e culminando no desenvolvimento da estrutura conceitual da Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida. Por fim, o capítulo de Considerações Finais sintetiza as respostas aos objetivos, confirma a hipótese, revisita achados relevantes e abre perspectivas para trabalhos futuros. O trabalho se encerra com as Referências, Apêndices e Anexo.

## 2 – Fundamentação Teórica

### 2.1 – A Bacia Hidrográfica como unidade de análise em Geografia Física

As bacias hidrográficas constituem uma unidade de análise fundamental para a Geografia Física por representarem sistemas integrados nos quais os componentes físicos e antrópicos interagem de forma dinâmica. Essa concepção sistêmica é corroborada por Ross (2019), que define a bacia hidrográfica como

uma unidade ambiental natural integrada a partir de uma das variáveis da natureza, o rio principal e seus afluentes que se inter-relacionam com a dinâmica climática, com o relevo, os solos, a base geológica e a cobertura viva vegetal natural ou introduzida pelas atividades humanas (ROSS, 2019, p. 29).

Do ponto de vista físico, a delimitação espacial de uma bacia é intrinsecamente ligada aos processos hidrológicos e geomorfológicos. Conforme Piroli (2022), as bacias hidrográficas são

áreas da superfície terrestre definidas pelo escoamento superficial e subsuperficial das águas das chuvas que, ao caírem, são direcionadas pela força da gravidade, a partir dos divisores de água, para as regiões mais baixas do relevo predominantemente por ravinas, canais, córregos e tributários, até alcançar o rio principal (PIROLI, 2022, p. 43).

A relevância da bacia hidrográfica transcende o âmbito acadêmico, tendo sido consolidada como unidade territorial para o planejamento e gestão a partir de documentos internacionais, como a Conferência de Dublin (1992), e incorporada pela legislação brasileira por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997). Esta lei estabelece a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação de sua política (BRASIL, 1997), fato que levou à divisão do território nacional em Regiões Hidrográficas (BRASIL, 2003) e, subsequentemente, a divisões estaduais, como as 15 Unidades de Planejamento e Gestão (UPG) de Mato Grosso do Sul (SEMADESC, 2010).

Embora o foco legal esteja nos recursos hídricos, a unidade bacia hidrográfica permite uma abordagem holística dos processos ambientais (Carvalho, 2014). Nessa mesma perspectiva, Porto e Porto (2008) a consideram um ente sistêmico onde se realizam processos consequentes das formas de ocupação e utilização das águas, ressaltando que a escala de abordagem depende do problema a ser estudado. Sendo

assim, justifica-se que o recorte por bacia hidrográfica seja o que melhor representa a relação física direta com a água e a gestão integrada dos recursos hídricos (Porto; Porto, 2008).

Nesse contexto, a hierarquização das bacias – em Região Hidrográfica, Bacia, Sub-bacia e Microbacia – torna-se crucial para definir a especificidade da análise. Autores como Botelho e Silva (2010), Piroli (2022) e Sampaio (2023) buscam categorizar essas unidades de acordo com seu tamanho. Embora o termo ‘bacias hidrográficas’ seja adotado de modo geral para todos os tamanhos de bacia, Botelho e Silva (2010) já destacavam que existem divergências e pouca clareza na discussão dessa nomenclatura no que diz respeito ao trabalho com bacias de menor porte, genericamente chamadas sub-bacias e microbacias. Esse esforço de delimitação conceitual é endossado por Piroli (2022) e Sampaio (2023), que buscaram estabelecer uma hierarquização mais clara para o tema. Segundo Piroli (2022),

Essa hierarquização é importante no trabalho com bacias hidrográficas, uma vez que cada nível demanda formas de atuação diferenciadas. Ao trabalharmos com bacias hierarquizadas, fica clara a posição delas em termos de tamanho e de área de captação, e a nomenclatura de acordo com a hierarquia. No entanto, quando trabalhamos com as bacias individualmente, todas podem ter a denominação de bacias, uma vez que o conceito para os diferentes níveis hierárquicos é o mesmo (PIROLI, 2022, p. 55–56).

Dessa forma, com base em Piroli (2022) e Sampaio (2023), entende-se que a hierarquização das bacias hidrográficas possui as seguintes categorias: Região Hidrográfica, Bacia Hidrográfica, Sub-bacia Hidrográfica e Microbacia Hidrográfica. A acepção dos termos pelos autores, fundamentada em um amplo referencial teórico, busca estabelecer e esclarecer o tamanho do recorte espacial, delimitando sobretudo as categorias de sub-bacias (acima de 100 e menor que 700 km<sup>2</sup> de área) e microbacias (inferiores a 100 km<sup>2</sup> de área).

Diante desse arcabouço que posiciona a bacia hidrográfica – e suas subdivisões hierárquicas – como a unidade ideal para o estudo integrado de processos ambientais, parte-se para a análise do caso específico da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (BHCM). A justificativa detalhada para a seleção desta sub-bacia, considerando seu contexto histórico, socioeconômico e sua relevância como área de estudo consolidada, será apresentada na seção de caracterização da área de estudo, no capítulo de Materiais e Métodos.

## 2.2 – Dinâmica das precipitações e processos erosivos

As precipitações constituem um dos principais vetores de entrada de energia e matéria no sistema de uma bacia hidrográfica, exercendo papel fundamental na dinâmica dos processos erosivos. Conhecer e caracterizar a dinâmica pluviométrica é, portanto, essencial para qualquer avaliação ambiental nesse recorte espacial.

Diferentes autores evidenciam que a chuva é o agente desencadeador primário da erosão hídrica. Bertoni; Lombardi Neto (2014, p.45) destacam-na como “um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos”, ressaltando a intensidade como atributo mais significativo. Botelho (2014) aponta para avaliação dos períodos de maior potencial erosivo e também para os riscos de estiagem. Essas premissas são ampliadas por Guerra (2014), que contextualiza a abrangência global do problema ao afirmar que

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical(...). Em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão. O processo tende a se agravar, à medida que mais terras são desmatadas para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e, consequentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno (GUERRA, 2014, p. 17).

A complexidade dessa relação, no entanto, vai além do volume total de chuvas. Baccaro (2014), ao discutir processos erosivos no domínio do cerrado brasileiro, observou que a “dinâmica do escoamento pluvial e do material em suspensão gerado está relacionada com a distribuição e comportamento das chuvas, principalmente no início da estação chuvosa” (Baccaro, 2014, p. 202). A autora analisou que houve maior perda de material em suspensão quando a precipitação foi menor, porém de maior intensidade e mais concentrada, do que quando ocorreram volumes maiores de precipitação, porém com melhor distribuição. Isso evidencia que a energia cinética de eventos extremos é mais crítica do que o acumulado mensal ou anual.

Desta forma, visando superar a limitação dos dados pluviométricos convencionais e avançar na compreensão da variabilidade temporal do potencial erosivo, este estudo adotou a premissa metodológica de transitar da análise do volume de chuva para a análise da energia erosiva da chuva. Para tanto, adotaram-se a caracterização do regime de chuvas por meio da técnica dos quantis e do cálculo de Índices de Erosividade (EI e EI30).

### 2.2.1 – Classificação das precipitações segundo a técnica dos quantis.

A compreensão da variabilidade climática e a definição de cenários pluviométricos representativos são etapas fundamentais para estudos ambientais que envolvem processos influenciados pela chuva. Nesse contexto, a técnica dos anos-padrão, consagrada na Climatologia Geográfica (Monteiro, 1971; Tavares, 1976), oferece um quadro de referência para classificar o comportamento da precipitação em categorias como ‘seco’, ‘normal’ e ‘chuvisco’. Conforme Tavares (1976), a definição de um ano-padrão vai além do total anual, focando na distribuição temporal da chuva:

Um ano padrão “normal” seria aquele em que a distribuição da precipitação anual de um determinado lugar fosse semelhante à distribuição das precipitações médias, obtidas através de vários anos para esse local. Como essa distribuição estaria de acordo com a típica circulação atmosférica regional, em um período de décadas, teria ocorrência maior do que os padrões extremos “secos” ou “chuviscos”. **Complementarmente**, Anos padrões “secos” ou “chuviscos” não se referem aos totais anuais de chuvas, mas à distribuição delas no decorrer do ano. Ano padrão “seco” caracterizar-se-ia por uma distribuição das precipitações que apresentasse um grande desvio em relação aos dados médios, em função de períodos com intensa falta de chuvas, enquanto o ano padrão “chuvisco” deveria suas discrepâncias ao excesso de chuva em relação aos dados mais frequentes. (Tavares, 1976, p. 81 – [grifo nosso])

Diferentes trabalhos de climatologia geográfica têm se encarregado de discutir acerca do emprego da técnica dos anos-padrão como forma de analisar as interações e influências dos elementos do clima sobre as paisagens e sua relação sinérgica com as atividades humanas, à exemplo de Almeida Filho; Aleixo (2020); Andrade; Aleixo; Oliveira (2020); Armond; Sant’anna Neto (2017); Monteiro (1971); Monteiro; Rocha; Zanella (2012); Nascimento; Souza Neto; Nunes (2015); Tavares (1976).

A operacionalização dessa classificação de forma objetiva e replicável é frequentemente realizada pela técnica dos quantis, inicialmente descrita por Pinkayan (1966) e amplamente utilizada por outros autores como Corbo *et al.* (2021); Galvani; Luchiari (2005); Monteiro; Rocha; Zanella (2012); Monteiro; Zanella; Pinheiro (2022); Sena *et al.* (2015); Silva; Amorim; Teixeira (2022); Xavier; Ambrizi; Silva (2017). Esta abordagem é fundamentada na natureza estocástica das séries de precipitação. Pinkayan (1966) e Xavier; Ambrizi e Silva (2017) destacam que o tratamento estatístico dos dados de precipitação é de fundamental importância para sua compreensão e estudo visto que o comportamento dessa variável é resultado da variação aleatória medida cumulativamente ao longo do tempo.

Do ponto de vista estatístico, a técnica realiza a discretização de uma variável contínua. Xavier; Ambrizi e Silva (2017) explicam que:

as variáveis em Meteorologia e Climatologia (...), podem classificar-se em termos de: **a)** variáveis qualitativas – cujo tipo mais comum é daquelas traduzindo-se dicotomicamente em termos da “ausência” ou “presença” de um dado fenômeno ou, ainda, das ocorrências de determinadas “categorias nominais”; **b)** variáveis quantitativas (ou numéricas), podendo resultar: **(i)** seja de processo de “contagem” (variáveis discretas); **(ii)** ou “medida” (variáveis contínuas). (Xavier; Ambrizi; Silva, 2017, p. 40)

Os autores explicam também que as variáveis numéricas discretas, além do procedimento de contagem, podem ser resultado da codificação numérica de variáveis qualitativas como o estabelecimento de valores para situações observadas, por exemplo: calmaria = 0, vento não nulo = 1; ou ainda, podem resultar da discretização de variáveis contínuas, através da técnica dos “quantis” para chuvas, por exemplo: MS= “Muito Seco”, S= “seco”, N= “Normal”, C= “Chuvoso”, MC= “Muito Chuvoso”

Dessa forma, a discretização das variáveis contínuas das chuvas na aplicação da técnica dos quantis torna a caracterização dos anos-padrão bastante objetiva e simples de ser avaliada em termos práticos, facilitando a análise da dinâmica das precipitações ao longo das séries históricas.

Para os objetivos desse trabalho, a técnica dos quantis mostrou-se a mais adequada por permitir a definição de cenários climáticos a partir da série histórica de 1983-2017, conforme preconiza o primeiro objetivo específico. A aplicação dessa técnica à série de dados em questão, detalhada em Penteado; Porangaba (2025), permitiu a classificação robusta dos anos e dos meses da série histórica em categorias climaticamente representativas. Esta classificação oferece, portanto, uma base sólida e quantitativa para a subsequente modelagem da erosão, permitindo avaliar como as taxas de perda de solo respondem a cenários de anos Muito Secos, Secos, Normais, Chuvosos e Muito Chuvosos, capturando assim a variabilidade natural do potencial erosivo do clima na bacia.

#### *2.2.2 – Erosividade da Chuva: Dos Conceitos de Chuva Erosiva aos Índices EI e EI30.*

Os estudos sobre erosão hídrica têm ganhado cada vez mais importância devido à diversidade de problemas ambientais, econômicos e sociais que este tipo de erosão é capaz de desencadear (Teixeira *et al.*, 2022). Nesse contexto, a

compreensão da dinâmica das precipitações, em especial do seu potencial erosivo (erosividade), mostra-se fundamental para o planejamento e o manejo adequado do solo (Lima *et al.*, 2023).

A erosividade pode ser definida como a “capacidade potencial de uma chuva causar erosão em função da energia cinética no impacto da gota de chuva ao solo e seu escoamento associado” (Lima *et al.*, 2023, p. 7). Esse potencial não está ligado apenas ao volume total de chuva, mas, como aponta Pereira (1983), à sua intensidade, duração e frequência.

Para operacionalizar o conceito de erosividade, é necessário definir quais eventos de chuva são efetivamente considerados erosivos. A fundamentação clássica foi estabelecida por Wischmeier; Smith (1978) para a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS – *Universal Soil Loss Equation* – USLE do original em inglês). Estes autores definiram como chuvas erosivas aquelas com volume maior que 12,5 mm (0,5 polegadas), desconsiderando eventos menores separados por mais de 6 horas, salvo quando um volume de 6,25 mm (0,25 polegadas) ocorre em 15 minutos ou menos – um indicativo claro de alta intensidade.

Posteriormente, trabalhos de adaptação da USLE às condições brasileiras, como os de Bertoni; Lombardi Neto (2014) e Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), refinam esses critérios, considerando como erosivas as chuvas superiores a 10 mm em um período de até 6 horas, ou superiores a 6 mm em até 15 minutos. A mesma parametrização também pode ser vista nos trabalhos de Almeida *et al.* (2012); Antunes (2015); Pereira (1983); Teixeira *et al.* (2022). Esses limiares são essenciais para a filtragem inicial dos dados pluviográficos.

A quantificação da erosividade se dá por meio de índices que relacionam a energia cinética da chuva e sua intensidade máxima. Contudo, na literatura da área, observa-se uma convergência terminológica que pode gerar ambiguidade. Para garantir clareza e precisão metodológica, este estudo adotou a seguinte convenção: a nomenclatura EI30 foi utilizada para os valores de erosividade calculados a partir de dados pluviográficos de alta resolução temporal; e, a nomenclatura EI para os valores de erosividade estimados a partir de equações de correlação com as médias de precipitação mensal e anual.

Sendo assim, a base para o cálculo do EI30 é considerada aquela tomada a partir dos registros pluviográficos de alta resolução temporal e representa a energia cinética total de um evento de chuva multiplicada por sua intensidade máxima em 30

minutos. Este índice captura a física do processo erosivo com maior fidelidade possível. No presente trabalho, é tomado a partir das adaptações da metodologia de Wischmeier e Smith (1978) à realidade brasileira, propostas por Bertoni e Lombardi Neto (2014) e amplamente utilizada por outros trabalhos a exemplo de Almeida *et al.* (2012); Back (2023); Cândido *et al.* (2014); Carvalho *et al.* (2005); Checchia (2005); Oliveira *et al.* (2012), que será devidamente caracterizada na seção de metodologia.

O cálculo da erosividade a partir das médias históricas de precipitação (EI), proposto por Fournier (1960), modificado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e adaptado por Bertoni e Lombardi Neto (2014) da mesma forma bastante utilizado na literatura (Silva, 2023; Silva *et al.*, 2017; Xavier *et al.*, 2019) é uma forma bastante eficiente de contornar as limitações relacionadas à escassez de dados pluviográficos de alta resolução temporal com séries históricas longas. Para esse cálculo, considerado um método indireto (portanto, alternativo ao EI30), são adotadas equações de correlação e regressão linear entre o que chamamos anteriormente de EI30 e os dados médios de precipitação mensal e anual.

Comumente na literatura esses termos aparecem como sinônimos porque até mesmo Bertoni e Lombardi Neto (2014) o tratam dessa forma no texto do livro (p.253). Porém, neste trabalho, por ter adotado uma abordagem híbrida que discute resultados tomados a partir dos dois métodos, optou-se por caracterizar explicitamente cada um deles e tratá-los como distintos para facilitar a compreensão da discussão que se propõe. Sendo assim, para a análise de cenários de longo prazo (série histórica 1983-2017), utilizou-se o EI estimado a partir das médias mensais e anuais de chuva permitindo a caracterização da erosividade para diferentes classes de precipitação obtidas a partir da técnica dos quantis. Já, para avaliação de cenários reais representativos, calculou-se o EI30 empírico a partir de dados pluviográficos de alta resolução temporal.

A obtenção dos dados de alta resolução temporal necessários ao cálculo do EI30 foi viabilizada pela construção de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) baseada na plataforma Arduino. Este tipo de instrumentação, tem ganhado espaço e relevância no processo de monitoramento climático, sobretudo por permitir a ampliação das redes de monitoramento – dado seu baixo custo comparado às EMAs comerciais –, e pela notável capacidade de customização de componentes e parâmetros, adaptando-se às necessidades específicas de cada pesquisa (Alves, 2018; Penteado; Pinto; Porangaba, 2023).

O processo de monitoramento climático a partir de EMAs baseadas em Arduino tem sido amplamente adotado e discutido, evidenciando o potencial positivo desse tipo de intervenção técnica e metodológica, a exemplo das discussões apresentadas por (Alves, 2018; Mota *et al.*, 2018; Penteado; Porangaba, 2024; Penteado; Porangaba; Pinto, 2023; Penteado; Pinto; Porangaba, 2023; Sanches *et al.*, 2017). Para este estudo, essa abordagem foi crucial, por representar (ainda que em partes – devido à sua incorporação recente aos processos de pesquisa, coleta e registro de dados) o início da superação da dependência exclusiva das redes oficiais e privadas de monitoramento e possibilitar a ampliação das fontes primárias de dados, sobretudo para áreas com escassos registros.

### **2.3 – A interação dos fatores no contexto de estradas rurais de leito natural.**

As estradas de terra de leito natural, compreendidas na literatura técnica nacional e internacional como estradas de terra não pavimentadas (*unpaved roads*), constituem um elemento fundamental da infraestrutura de paisagens rurais. O Manual de Conservação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) (BRASIL, 2005), em consonância com Eaton; Gerard; Cate (1987) e Fontenele (2001), as define como vias constituídas predominantemente dos materiais integrantes do próprio leito natural, podendo ou não receber agregados para melhorar seu desempenho. Caracterizam-se frequentemente por baixos volumes de tráfego, inferiores a 400 veículos por dia (Fontenele, 2001), e por sua ampla predominância na malha viária brasileira, representando cerca de 78,5% do total (CNT, 2022). No contexto específico de áreas com predominância de cultivos florestais, como a Bacia do Córrego Moeda, essa rede viária é comumente referida como estradas florestais, por sustentar as atividades de manejo, colheita e transporte da produção de madeira para fins industriais (Alvis; Luce; Istanbulluoglu, 2023; Camargo Corrêa, 2005; Grace Ilii, 2008; Jordán; Martínez-Zavala, 2008; Luce, 1997; Machado *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2010; Yolmeh *et al.*, 2021). O termo estrada rural de leito natural foi adotado como preferencial neste trabalho por destacar a origem do material constituinte e seu contexto espacial amplo, abarcando assim as demais nomenclaturas correlatas que também podem ser utilizadas sem prejuízo de conteúdo.

Para além de sua função socioeconômica de acesso e escoamento, essas estradas assumem um papel dinâmico crucial nas paisagens rurais onde estão inseridas. Elas se destacam por não serem traços inertes, mas por constituírem-se elementos que funcionam como canais de drenagem artificiais, que concentram fluxos, alteram padrões naturais de escoamento superficial e subsuperficial e, consequentemente, potencializam a produção de sedimentos, colaborando sensivelmente para os processos erosivos (Alvis; Luce; Istanbulluoglu, 2023; Hawks *et al.*, 2022; Luce, 1997).

Nesse sistema, a interação entre fatores físicos e antrópicos segue uma lógica crítica e sequencial. A superfície do leito da estrada, desprovida de cobertura vegetal protetora, apresenta uma vulnerabilidade intrínseca máxima à ação das chuvas. Esta condição de base é subsequentemente ativada pela energia da precipitação (erosividade) e drasticamente amplificada pela declividade e pelo comprimento da via/seção de via, que concentram o escoamento, transformando-o em um agente erosivo de alta energia (Kastridis, 2020; Oliveira *et al.*, 2010; Solgi *et al.*, 2021). A magnitude dessa interação é, em última instância, influenciada pelas práticas de manejo e conservação relacionadas às estruturas de drenagem, manutenção da declividade transversal, estabilização do leito e outras intervenções que possam dissipar a energia do escoamento, redirecionar a água e, consequentemente mitigar o processo erosivo (BRASIL - MAPA, 2021; Casarin; Oliveira, 2009; Demarchi *et al.*, 2003; Hawks *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2019).

Esta dinâmica complexa também se manifesta na diferença espacial esperada entre o leito da estrada e suas margens. Enquanto o leito, compactado e sem cobertura, apresenta alta suscetibilidade à erosão hídrica, as margens, com seu uso e cobertura variável, podem atuar como elementos protetores e atenuadores do processo erosivo (BRASIL - MAPA, 2021; Demarchi *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2019). Essa distinção é relevante para a análise da magnitude da diferença de perda de solo entre esses dois compartimentos, um dos focos centrais desta investigação.

#### **2.4 Modelagem da perda de solos a partir da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).**

Considerando os problemas ambientais, econômicos e sociais que podem ser desencadeados pelos processos de erosão hídrica, é importante compreender que a

quantificação das perdas de solo tem relevância prática para a adoção de programas de manejo e conservação do solo (Teixeira *et al.*, 2022). Nesse contexto, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) se consolida como uma ferramenta amplamente reconhecida para essa finalidade.

#### *2.4.1 Origem, princípios e uso da EUPS para a realidade brasileira*

Desde a década de 1940, existem muitos esforços na elaboração de modelos para avaliar a erosão do solo (Lima *et al.*, 2023; Wischmeier; Smith, 1978). Desse processo, destaca-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) – *Universal Soil Loss Equation (USLE)* – formalizada por Wischmeier; Smith (1978). De acordo com Galdino *et al.* (2017); Lima *et al.* (2023); Teixeira *et al.* (2022), a EUPS e suas variantes correspondem ao conjunto de modelos mais utilizado para monitoramento e previsão de perda de solos no mundo, justamente por ser um modelo empírico com dados de entrada mais acessíveis e flexíveis, o que facilita sua aplicação em diferentes contextos.

No Brasil, a USLE é amplamente utilizada (Galdino *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2023; Teixeira *et al.*, 2022), sobretudo a versão adaptada por Bertoni; Lombardi Neto (2014) nos anos de 1970 que passou a considerar os estudos para o estado de São Paulo e, mais tarde, a partir de 1975, vários autores passaram a avaliar fatores da equação para outras regiões (Bertoni; Lombardi Neto, 2014). Esse ajuste da equação à realidade brasileira permitiu também o ajuste da nomenclatura para o português, EUPS.

#### *2.4.2 A estrutura conceitual da EUPS*

Conforme estabelecido por Bertoni; Lombardi Neto (2014), a EUPS estrutura-se em seis fatores principais que, quando multiplicados, resultam na estimativa da Perda Anual de Solo (A) em toneladas por hectare por ano (ton/ha/ano), conforme expresso na Equação (1).

Equação 1

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P - (1)$$

A fim de contextualizar conceitualmente a parametrização adotada para cada fator no presente trabalho, apresenta-se a seguir uma fundamentação para o significado e a lógica de obtenção de cada fator, que residem na interação entre um

potencial erosivo natural, uma suscetibilidade do meio e os fatores antrópicos de controle. Os protocolos operacionais específicos e as fontes dos valores adotados para cada fator serão detalhados no capítulo de materiais e métodos.

*R – Fator erosividade da chuva:* Representa o potencial erosivo da precipitação, quantificando a energia cinética das chuvas e sua intensidade máxima em 30 minutos (EI30) ou obtida a partir de dados históricos médios (EI). Trata-se do agente desencadeador do processo.

*K – Fator erodibilidade do solo:* Expressa a susceptibilidade intrínseca do solo à desagregação e ao transporte. Trata-se de uma propriedade complexa, influenciada pela textura, estrutura, teor de matéria orgânica e permeabilidade do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2014). A literatura frequentemente associa valores menores de K para solos argilosos bem estruturados e arenosos profundos, devido à maior infiltração e coesão (Back, 2023; Castro *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2021; Mannigel *et al.*, 2008).

Entretanto, essa premissa geral pode não se sustentar em condições específicas. Solos classificados pelo triângulo textural do SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018) de textura arenosa, especialmente aqueles com predominância de areia muito fina, demonstram alta fragilidade (Albuquerque *et al.*, 2015) e alta suscetibilidade erosiva quando desprovidos de cobertura vegetal (Back, 2023), uma vez que partículas finas são facilmente transportadas pelo escoamento superficial. Este é um cenário típico de estradas rurais de leito natural.

Nesse contexto, o método de determinação do K ganha relevância, bem como sua análise textural. O método proposto por Bouyoucos (1935) amplamente referenciado na literatura, é frequentemente criticado por poder superestimar a erodibilidade em solos arenosos quando comparado a métodos que consideram a estrutura e a matéria orgânica (Bertoni; Lombardi Neto, 2014; Castro *et al.*, 2011; Decco, 2021; Lima *et al.*, 2021; Mannigel *et al.*, 2008). Contudo, para a aplicação em estradas, onde a estrutura natural do solo é destruída pela compactação e pelo tráfego, a abordagem de Bouyoucos pode ser justamente a mais adequada. Ela captura o potencial erosivo do material de constituição do leito da estrada em seu estado mais desagregado, que é precisamente a condição encontrada na superfície de rolamento. Portanto, a opção por este método não representa uma limitação, mas uma escolha condizente com a realidade do objeto de estudo.

*LS – Fator topográfico:* Representa o efeito combinado do comprimento do declive (L) e da declividade da rampa (S) na amplificação do escoamento superficial e do potencial erosivo (Wischmeier; Smith, 1978). Quanto maior o comprimento de rampa, maior o volume de água acumulado; e quanto maior a declividade, maior a velocidade desse escoamento. A combinação desses dois elementos é crítica, pois pode transformar um escoamento laminar difuso em um fluxo concentrado e energético, capaz de transportar maiores quantidades de sedimentos e causar erosão em sulcos.

A determinação desse fator é fundamental para aplicação da EUPS em estradas de leito natural, uma vez que o leito da via funciona como um plano inclinado artificial, onde o comprimento e a declividade são perfeitamente delimitáveis. Diferentemente de encostas naturais, a estrada impõe um canal de fluxo bem definido, tornando o fator LS um dos principais controladores da variabilidade espacial da erosão dentro do sistema viário. Para a operacionalização deste fator no presente trabalho, adotou-se a formulação proposta por Bertoni; Lombardi Neto (2014), adaptada às condições brasileiras.

*C – Fator de cobertura e manejo do solo:* Representa a influência conjunta da cobertura vegetal, da sequência de cultivos e das práticas de manejo na taxa de erosão hídrica, atuando como principal fator de attenuação do processo (Bertoni; Lombardi Neto, 2014; Wischmeier; Smith, 1978). Seu valor é adimensional e varia de 0, representando uma cobertura que eliminaria totalmente a erosão, a 1, representando a condição de solo descoberto e sem proteção, como é o caso das estradas rurais de leito natural.

A determinação deste fator é realizada pela atribuição de valores pré-estabelecidos na literatura para diferentes tipos de uso e cobertura da terra. Trabalhos de referência, como o de Wischmeier; Smith (1978), fornecem valores consagrados para culturas agrícolas e condições de vegetação natural. Para contextos específicos, como cultivos florestais, é comum e recomendável a adoção de valores validados regionalmente, obtidos em estudos locais que consideram as particularidades do manejo e do desenvolvimento da cultura. No presente trabalho, os valores de C para cada classe de uso e cobertura do solo identificada na área de estudo foram obtidos a partir de uma combinação da literatura de referência internacional e de estudos nacionais específicos.

*P – Fator práticas conservacionistas:* Corresponde à razão entre a perda de solo sob uma prática mecânica de conservação específica e a perda de solo correspondente sob cultivo morro abaixo (“*up-and-down-slope culture*”) (Wischmeier; Smith, 1978, p. 34). Dessa forma, seu valor é adimensional e varia de 0 (valor hipotético de uma prática que eliminaria totalmente a erosão) a 1 (ausência de práticas, representada pelo cultivo morro abaixo). Conforme descrito por Wischmeier; Smith (1978), este fator avalia o efeito de práticas como o plantio em contorno e o terraceamento, que atuam modificando o padrão de escoamento superficial para reduzir sua velocidade e, consequentemente, sua capacidade de transportar sedimentos.

Para a realidade brasileira, Bertoni; Lombardi Neto (2014) consolidam uma abordagem prática para determinação deste valor a partir das práticas que avaliaram as mais comumente adotadas, considerando a presença ou ausência de práticas mecânicas significativas. Nesta estrutura, a ausência de tais práticas equivale ao valor máximo  $P=1$ , enquanto a sua presença é representada por valores inferiores, conforme estabelecido pelos autores para cada técnica. Para a operacionalização desse fator no presente trabalho, os critérios específicos de classificação e os valores de  $P$  atribuídos a cada condição observada na área de estudo, foram fundamentados em Bertoni; Lombardi Neto (2014).

A aplicação integrada desses fatores na Equação 1 permite a obtenção de uma estimativa robusta da perda de solos. Contudo, a aplicação prática da EUPS a um cenário complexo e dinâmico, como uma rede de estradas rurais de leito natural em uma bacia hidrográfica, impõe desafios metodológicos adicionais. Para que a estimativa seja precisa e representativa, é fundamental que o modelo seja aplicado em unidades espaciais que capturem a variabilidade do sistema. Isto demanda, portanto, critérios claros para a delimitação das unidades de análise onde a equação será calculada, aspecto que será abordado na próxima seção.

## **2.5 – Delimitação de Unidades Amostrais em estradas rurais de leito natural**

Uma vez estabelecida a base de cálculo da perda de solos por meio da EUPS, é preciso adotar uma estratégia de amostragem que garanta a representatividade das

unidades de análise. Para tal, faz-se necessária uma estrutura hierárquica e espacialmente coerente para delimitação do sistema viário.

A abordagem proposta por Eaton; Gerard; Cate (1987) e complementada por Eaton; Beaucham (1992), foi originalmente concebida como um sistema de gestão para infraestrutura viária não pavimentada. Seu cerne é uma estrutura hierárquica que organiza a malha viária em:

*Ramal*: Unidade de gestão mais ampla, corresponde a uma estrada ou trajeto reconhecível.

*Seção*: Um segmento de ramal com características homogêneas de estrutura, tráfego, histórico construtivo, (...).

*Unidade Amostral (UA)*: É o menor segmento, com comprimento tipicamente em torno de 30 metros (a depender da largura da estrada), onde as inspeções detalhadas são realizadas.

A premissa operacional do método é que a avaliação de uma seção inteira pode ser inferida a partir da inspeção de um número limitado de UAs, desde que estas sejam selecionadas para capturar a variabilidade de condições da seção, incluindo suas porções mais problemáticas (Eaton; Beaucham, 1992). Esta lógica de amostragem intencional, e não aleatória, é a contribuição fundamental do método para o processo de delimitação dos trechos de coleta de amostras de solo nas estradas da BHCM.

A estrutura de Eaton oferece um referencial teórico robusto para a amostragem espacial, sobretudo no que diz respeito aos estudos de processos erosivos. A hierarquia Ramal>Seção>UA fornece um sistema lógico para subdividir a paisagem retilínea das estradas. No caso deste estudo, especificamente, a chave de adaptação está no propósito da UA: em vez de servir para calcular um índice de manutenção, ela passa a delimitar uma unidade ambientalmente homogênea a partir das características perceptíveis da estrada para a aplicação de modelos como a EUPS.

A técnica da Inspeção Visual da Estrada pela Rodagem (IVER) – *windshield inspection* (Eaton; Gerard; Cate, 1987) – é o instrumento que opera a aplicação dessa estrutura hierárquica. Concebida como uma pesquisa rápida para identificar problemas prioritários, a IVER é empregada neste contexto como um reconhecimento diligente para mapear a variabilidade morfológica da via. A presença e intensidade de dificuldades (como erosões em sulco, buracos ou ausência de drenagem) são

interpretadas como indicadores visuais de diferentes dinâmicas e intensidades de processos erosivos atuantes.

A aplicação deste referencial em realidades específicas da BHCM demandou adaptações para capturar as particularidades locais. No Brasil, trabalhos como os de Fontenele (2001); Oda (1995) e Ribeiro (2020, 2016) foram fundamentais para validar e ajustar a metodologia, identificando e categorizando problemáticas recorrentes. Essa mesma taxonomia de problemas é atestada por sua recorrência em manuais técnicos nacionais, como BRASIL – MAPA (2021) e Santos *et al.* (2019), que, independentemente do referencial metodológico, descrevem feições análogas. Para além dos defeitos clássicos descritos por Eaton; Beaucham (1992); Eaton; Gerard; Cate (1987); Eaton; Gerard; Dattilo (1988), os autores brasileiros documentaram feições características das estradas nacionais, tais como areões, atoleiros, facão e erosões em sulco e ravina, estabelecendo para elas critérios de identificação e severidade.

Esta adaptação demonstra que os defeitos catalogados são, na verdade, indicadores morfológicos de processos geomorfológicos e hidrológicos ativos da paisagem. A presença de um atoleiro, por exemplo, é um sintoma direto de problemas de drenagem e saturação do solo; já a formação de sulcos e ravinas evidencia a ação concentrada do escoamento superficial erosivo (Oda, 1995).

Desta forma, a estrutura de Eaton, reinterpretada através da lente da Geografia Física e enriquecida pelas contribuições dos autores nacionais sobre as problemáticas locais, fornece o arcabouço teórico-metodológico para uma amostragem devidamente justificada. Neste trabalho, a IVER foi utilizada precisamente com esse fim: percorrer a malha viária para identificar feições morfológicas predominantes e pontos críticos, que, por sua vez, orientaram a delimitação de Unidades Amostrais ambientalmente coerentes. Os protocolos específicos de campo adotados nesta pesquisa, bem como seus demais delineamentos serão abordados no capítulo de materiais e métodos.

X X X X

Ao longo deste capítulo, construiu-se um arcabouço teórico-conceitual que fundamenta a investigação proposta. Partiu-se da bacia hidrográfica como unidade sistemática ideal para análise (item 2.1), avançando para a compreensão da dinâmica

climática das precipitações, com destaque para a erosividade das chuvas (item 2.2) e sua classificação para definição de cenários representativos (item 2.2.1).

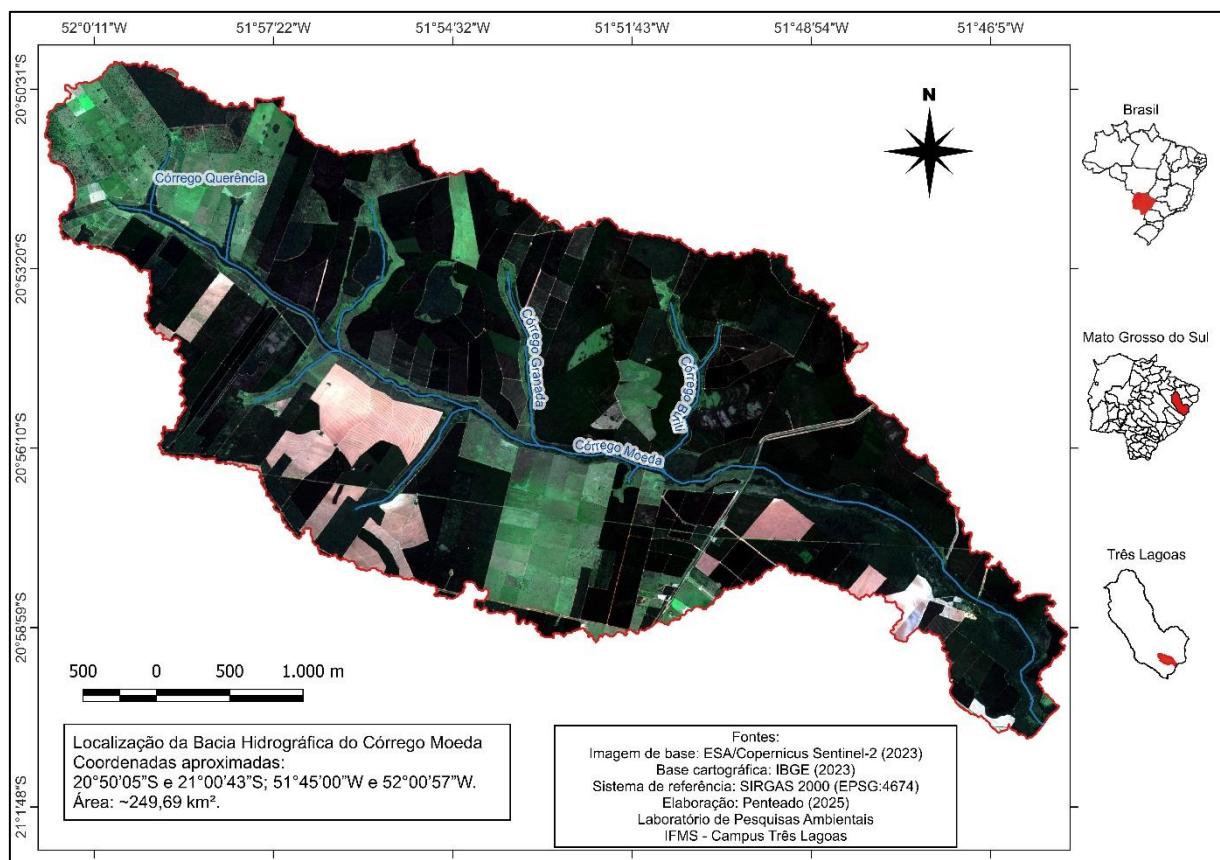
A partir desta base, evidenciou-se que as estradas rurais de leito natural não são elementos inertes, mas locais de intensa interação socioambiental, onde a perda de solos é influenciada pela sinergia entre a energia climática (R), a vulnerabilidade do solo (K), a amplificação topográfica (LS) e os fatores de controle antrópico (C e P) (item 2.3). Para quantificar essa dinâmica, apresentou-se a EUPS como modelo empírico para essa finalidade (item 2.4). Por fim, estabeleceu-se o referencial para a amostragem espacial desse objeto linear e heterogêneo, por meio da estrutura de Eaton e da IVER, adaptada às condições brasileiras (item 2.5).

Desta forma, os itens que compõem este capítulo articulam-se em uma sequência que justifica e direciona a aplicação metodológica subsequente. A hipótese central – de que a contribuição erosiva das estradas é influenciada pela interação entre erosividade, declividade e manejo – encontra, assim, sua fundamentação teórica.

### 3 – Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (BHCM) está localizada no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas 20°50'05"S e 21°00'43"S; 51°45'00"W e 52°00'57"W, e possui uma área de drenagem de aproximadamente 249,69Km<sup>2</sup> (Figura 1). Desde os anos 1980, esta bacia tem passado por transformações significativas em seu uso e cobertura da terra, alinhadas ao desenvolvimento e crescimento do município.

**Figura 1** – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS – Brasil



**Organização:** Penteado (2025)

A territorialização do complexo eucalipto-papel-celulose no município de Três Lagoas teve início na década de 1970 a partir de políticas governamentais de incentivos fiscais agrícolas como o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PROCEDER) com participação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (Baratelli; Medeiros; Luiz, 2020).

Segundo Medeiros *et al.* (2018), desde o início da ocupação da área da BHCM até a década de 1980, ocorreram poucas modificações em sua vegetação original devido à principal atividade econômica estar relacionada à pecuária extensiva de gado. Os autores chamam atenção para o uso do solo sem manejo adequado com processos evolutivos de degradação até a década de 1980, com destaque para início da modernização das fazendas de gado e introdução dos hortos florestais de eucalipto a partir das décadas de 1980 e 1990.

Diversos trabalhos sobre o crescimento urbano e industrial de Três Lagoas – MS apontam para uma intensa dinâmica de expansão urbana, demográfica, econômica e industrial do município, sobretudo a partir do início dos anos 2000, com destaque especial para a contribuição do complexo papel-celulose para esse processo com a implantação de grandes empresas do setor agroflorestal-industrial (Aranha-Silva *et al.*, 2011; Baratelli; Medeiros; Luiz, 2020; Delcol; Baptista, 2024; Delcol; Milani, 2022; Medeiros *et al.*, 2018; Penteado, 2014; Silva, 2013; Souza; Silva; Pinto, 2020).

A BHCM se insere no centro desse processo de crescimento e expansão industrial do complexo papel-celulose do município de Três Lagoas. Delcol; Milani (2022), chamam atenção para a implantação do complexo formado por Votorantim Celulose Papel (VCP) e International Paper (IP) (complexo VCP-IP) que se instalou na região da BHCM em 2006.

A criação do Distrito Industrial do Córrego Moeda a partir da lei municipal 2427 de 02 de março de 2010, especificamente para abrigar as fábricas de papel e celulose e também a fábrica de fertilizantes nitrogenados da Petrobras (Medeiros *et al.*, 2018; Silva, 2013), também colaborou para consolidar nas décadas seguintes (juntamente com a Eldorado Brasil que viria a se instalar no município, porém em outra parte do território) o slogan de “Capital Nacional da Celulose” para Três Lagoas (BRASIL, 2021).

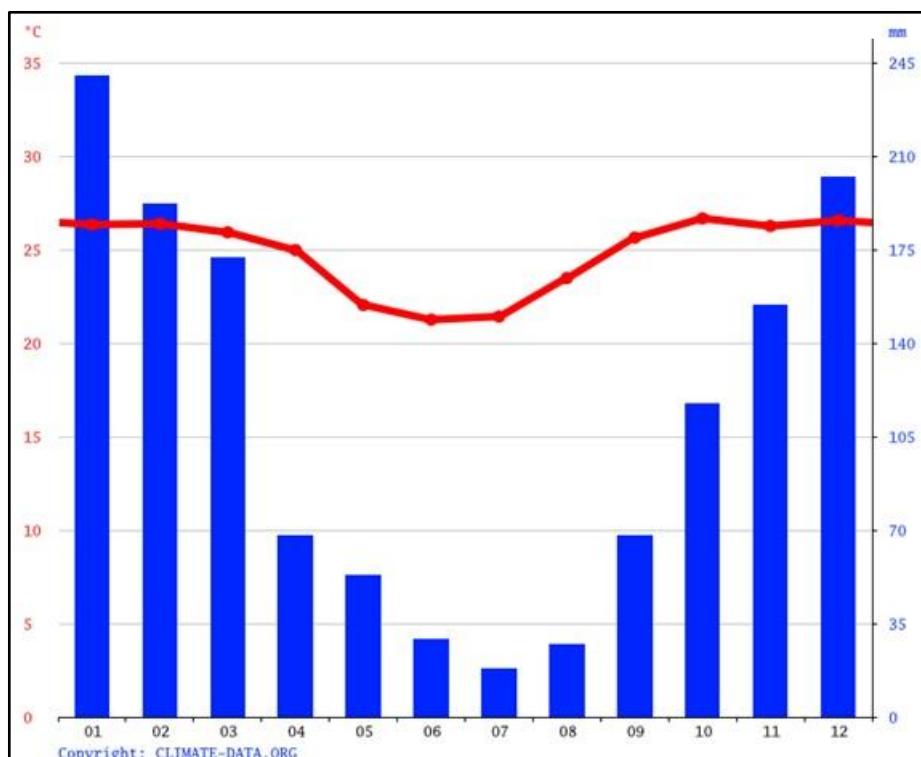
### **3.1- Clima**

O tipo de clima predominante na região da BHCM é Aw, da classificação de Köppen. Esse clima, típico do Centro-Oeste brasileiro, é caracterizado estacionalidade marcante, com verão quente e úmido e inverno ameno e seco (Zavattini, 2009). Essa definição clássica é corroborada pelos dados instrumentais analisados por Dubreuil *et*

al. (2018), que destacam a existência de duas estações do ano bem definidas na região de Três Lagoas: verão quente e úmido, e inverno com médias de temperatura acima dos 18°C e seco. Os mesmos autores registram, contudo, ocorrência pontual de chuvas no inverno em cerca de 2% do total de registros no recorte temporal de 1961 a 2015.

A dinâmica pluviométrica e térmica típica desse regime climático é sintetizada no climograma da Figura 2, adaptada do portal Climate-Data.org para Três Lagoas.

**Figura 2 – Climograma de Três Lagoas – MS.**



**Fonte:** Adaptado de climate-data.org

O gráfico evidencia visualmente o forte contraste entre os meses de elevada pluviosidade e os de estiagem, bem como a pequena amplitude térmica anual, padrão condizente com a caracterização previamente descrita pela literatura.

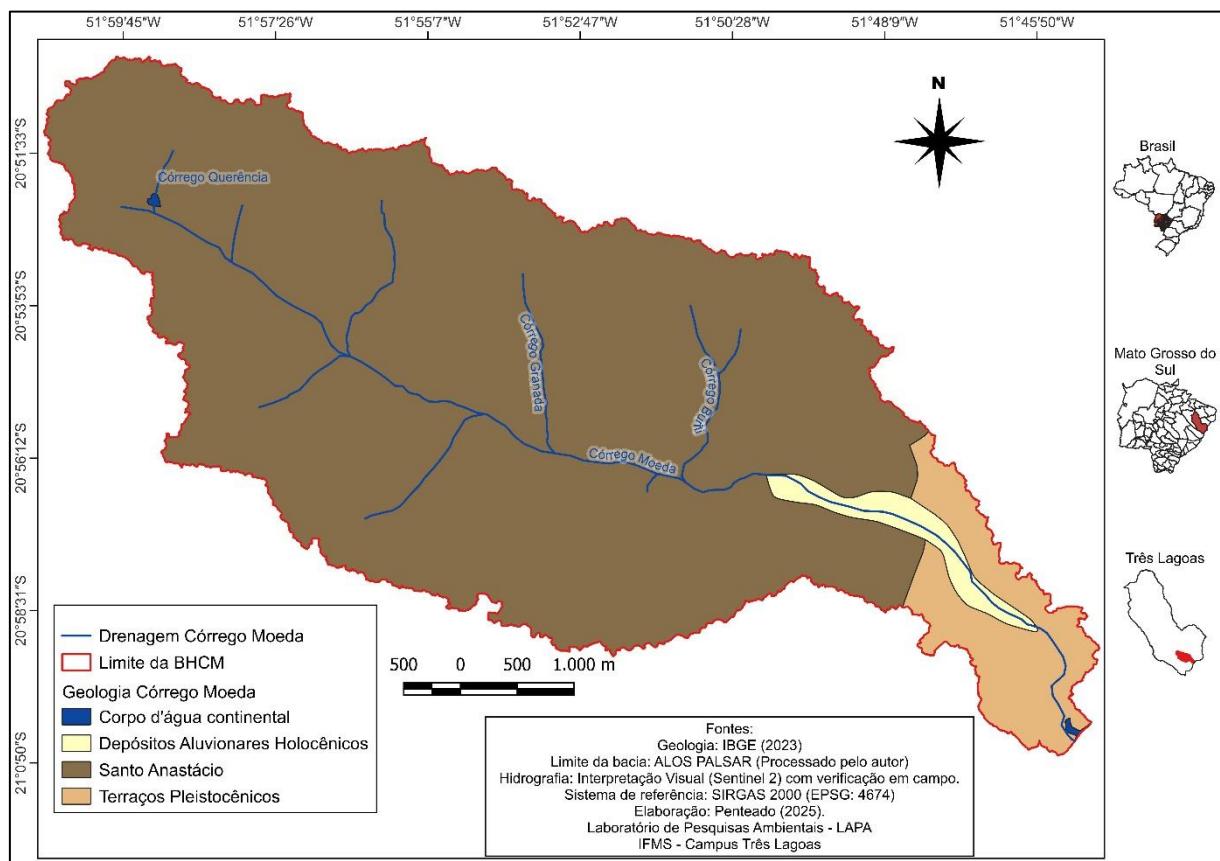
### 3.2- Geologia

De acordo com Medeiros (2016), a disposição geológica dentro da BHCM é composta estratigraficamente por materiais da Aloformação Alto Paraná (aproximadamente 6%), Aloformação Paranavaí (aproximadamente 2%) e Grupo

Bauru (aproximadamente 92%). Segundo o autor, o Grupo Bauru, predominante, é composto pelas formações Santo Anastácio (com predomínio de arenitos finos a médios) e Caiuá (predominantemente fino com maior contribuição de areia e silte grosso) e está presente em todo alto curso e em quase toda extensão do médio curso da BHCM, abrigando os Latossolos predominantes na bacia. As Aloformações, por sua vez, estariam associadas aos depósitos sedimentares mais recentes.

Com base no mapeamento realizado a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) (Figura 3), verifica-se a predominância da formação Santo Anastácio e, sobrepostos a ela, no baixo curso, identificam-se os Terraços Pleistocênicos (segunda maior unidade geológica da bacia). Os Depósitos Aluvionares Holocênicos, unidade mais recente, aparecem confinados à calha do canal principal no final do médio curso e boa parte do baixo curso.

**Figura 3 – Geologia da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS – Brasil**

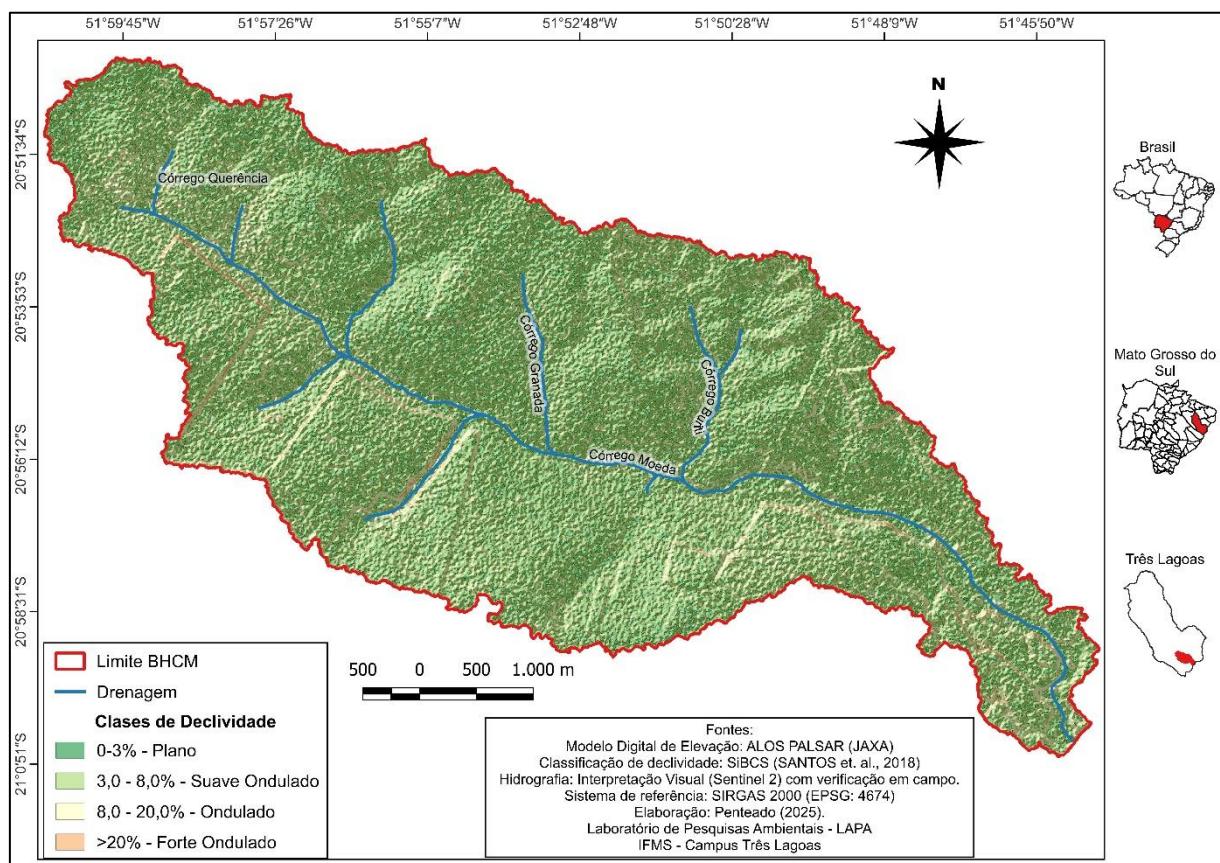


**Organização:** Penteado (2025)

### 3.3- Geomorfologia

De acordo com Silva (2013), o relevo predominante na BHCM varia de plano a suave ondulado, o que é corroborado por Gomes (2016); Medeiros (2016); Medeiros *et al.* (2016, 2017) que identificaram mais de 94% da área da bacia com declividades entre 0 e 9%. Para detalhar espacialmente essa característica, foi elaborado o mapa de declividade (Figura 4) a partir das classes do SiBCS (Santos *et al.*, 2018) - adaptadas à realidade local – integrado a um modelo de sombreamento (*hillsshade*) gerado a partir do Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR.

**Figura 4** – Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS – Brasil



**Organização:** Penteado (2025)

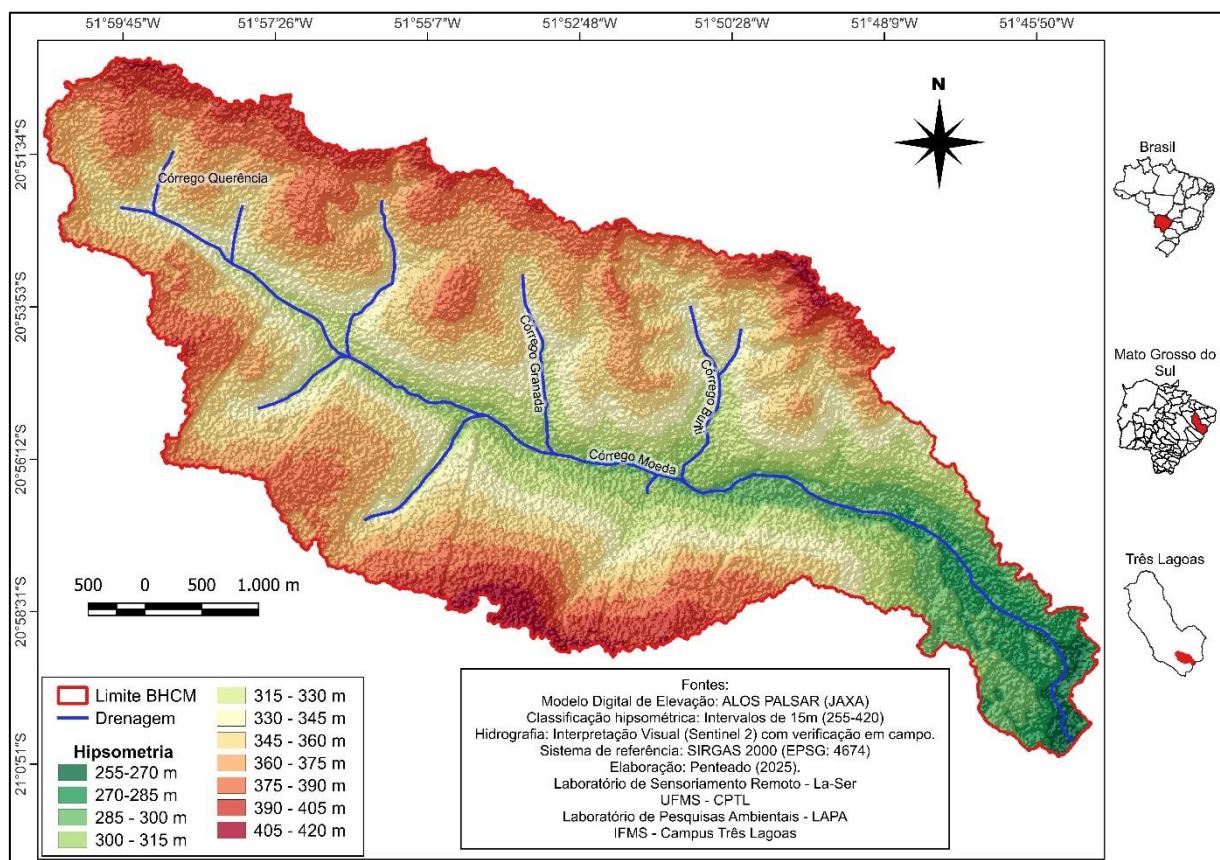
A adaptação da classificação resultou em quatro classes homônimas às do SiBCS (Plano, Suave Ondulado, Ondulado e Forte Ondulado). Vale destacar que a classe 'Forte Ondulado' foi definida com valores inferiores a 41% de declividade, diferentemente do proposto originalmente no SiBCS (20-45%). Conforme evidenciado

na Figura 4, predominam as classes de 0 a 20%, com áreas de forte ondulado restritas às bordas de talhões e feições geomorfológicas específicas.

Medeiros (2016) aponta que as altitudes presentes na bacia variam entre 260 e 420 metros, com predomínio de altitudes entre as cotas de 350 e 390 metros (>50%). O autor, afirma ainda que as menores cotas se encontram na região da foz e o desnível médio da bacia é de 0,65m/km<sup>2</sup>.

A representação hipsométrica (Figura 5) é resultado da combinação do modelo de sombreamento (*hillshade*) com a carta hipsométrica para melhor visualização das feições geomorfológicas.

**Figura 5 – Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS – Brasil**



**Organização:** Penteado (2025)

As diferenças observadas entre a classificação hipsométrica deste estudo e a realizada por Medeiros (2016) para a mesma área refletem distinções metodológicas. Enquanto Medeiros (2016) optou por 16 classes com intervalos de 10 metros (260-420 m), o presente trabalho adotou 11 classes com intervalos de 15 metros (255-420 m). Esta abordagem buscou equilibrar detalhamento e clareza cartográfica,

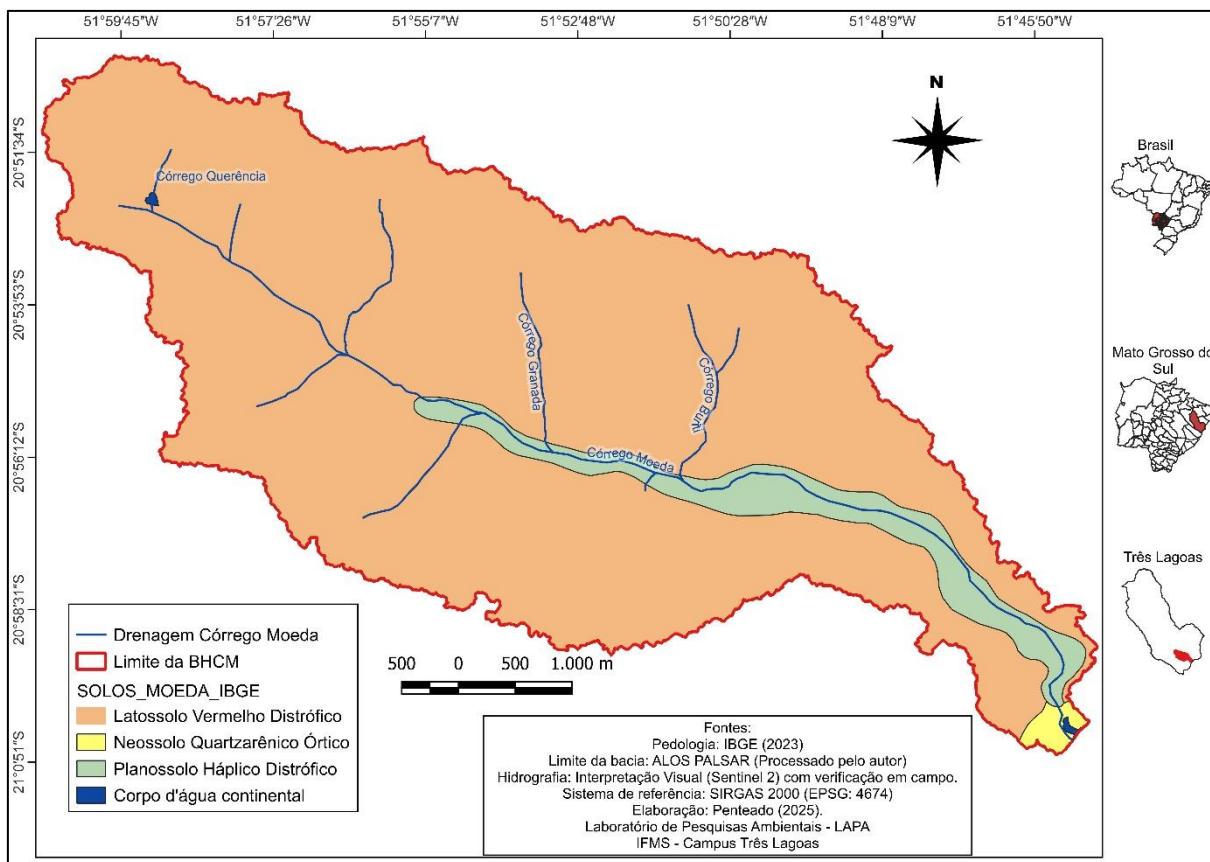
considerando: (i) a resolução do modelo digital de elevação ALOS PALSAR (30m), para a qual intervalos muito finos podem introduzir ruído; (ii) a escala aproximada de representação (1:85.000), que se beneficia de classes mais amplas para melhor legibilidade; e (iii) a inclusão da cota 255 m, ampliando em 5 metros a faixa altimétrica inferior. A opção por 11 classes mantém a capacidade de discriminação dos compartimentos topográficos principais com boa similaridade aos achados de Medeiros (2016).

Complementarmente, Gomes (2016); Medeiros (2016); Medeiros *et al.* (2016, 2017); Silva (2013), destacam o predomínio de rampas longas (>70% entre 0 e 500 m) na BHCM, as quais associadas ao relevo plano-suave ondulado que predomina na bacia (Figura 4), atuam como um condicionante natural à aceleração do escoamento superficial. A combinação desses fatores geomorfológicos, portanto, estabelece um pano de fundo favorável à ocorrência de processos erosivos, os quais serão discutidos no presente trabalho a partir da análise das estradas rurais de leito natural da BHCM.

### **3.4- Pedologia**

A caracterização pedológica da BHCM foi realizada com base no Mapa de Solos do Brasil, na escala 1:250.000, elaborado pelo IBGE, (2018), recortado para os limites da bacia (Figura 6).

**Figura 6 – Pedologia da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS – Brasil**



**Organização:** Penteado (2025)

De acordo com esta fonte, a distribuição de solos é menos complexa do que apontavam os levantamentos anteriores de caráter mais localizado, descritos por Medeiros, (2016). Desta forma, observa-se o predomínio absoluto da ordem dos Latossolos, especificamente a subordem Vermelho e o grupo Distrófico (Latossolo Vermelho Distrófico - LVd), de acordo com a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos *et al.*, 2018).

Conforme descrito no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015) e no SiBCS (Santos *et al.*, 2018), os Latossolos Vermelhos Distróficos são solos minerais, muito profundos, normalmente bem drenados, típicos de regiões de relevo plano a suave ondulado sob condições climáticas tropicais. Eles se formam em avançado estágio de intemperismo e quase sempre apresentam baixa fertilidade natural, com texturas variando de média a arenosa.

Além dos Latossolos que dominam a bacia, identificam-se no baixo curso, associados a feições do relevo planas e de drenagem deficiente, duas ordens de solos de menor expressão: Neossolos e Planossolos. Segundo o Manual Técnico de

Pedologia do IBGE (2015), os Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo), são profundos e arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Já os Planossolos Háplicos Distróficos, de acordo com a mesma fonte, caracterizam-se pela drástica mudança textural no perfil (horizonte superficial arenoso sobre subsuperfície argilosa), o que confere a eles uma drenagem imperfeita e tendência de encharcamento temporário, além de baixa fertilidade natural.

É importante ressaltar que a opção pela base do IBGE em detrimento de levantamentos locais mais detalhados se deu pela indisponibilidade dos dados primários (shapefiles) que permitiriam a espacialização precisa e a intersecção confiável com os pontos de coleta deste estudo. A base do IBGE, por ser oficial, pública e de amplo acesso, garante a transparência e a reproduzibilidade da caracterização aqui apresentada.

### 3.5 Uso e cobertura da terra

Silva (2013), ao realizar levantamentos de uso e ocupação de terra na BHCM para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2011, delimitou seis classes de uso e ocupação: pastagem, vegetação natural campestre, vegetação natural florestal, áreas úmidas, corpos d'água e silvicultura. A Tabela 1, agrupa em quatro classes as informações sistematizadas pela autora a fim de uniformizar a nomenclatura e permitir uma comparação direta com as cinco classes de uso e cobertura da terra adotadas no mapeamento de 2023, que será apresentado e discutido adiante (vegetação nativa, água, pastagem, silvicultura e solo exposto).

**Tabela 1** – Evolução do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda de 1990 a

Classes	2011							
	1990		2000		2010		2011	
	Área (ha)	%						
<b>Vegetação Nativa</b>	8.721,18	35,9	4.387,86	18,1	5.270,13	21,8	6.193,35	25,6
<b>Pastagem</b>	13.132,08	54,0	12.767,49	52,7	8.401,95	34,7	4.383,18	18,1
<b>Silvicultura</b>	948,33	3,9	6.218,46	25,7	9.750,06	40,3	12.914,01	53,4
<b>Água</b>	1.501,92	6,2	838,89	3,5	790,47	3,2	705,69	2,9
<b>TOTAL</b>	24.303,51	100	24.212,70	100	24.212,61	100	24.196,23	100

**Fonte:** Adaptado de Silva (2013). **Organização:** Penteado (2025)

A análise da tabela permite notar o processo de mudanças profundas do uso e ocupação da terra na BHCM ao longo das décadas citadas. Dentre essas mudanças vale destacar a alteração do uso predominante que até o início dos anos 2000 era voltado para pastagens destinadas à pecuária extensiva, mas, com a implantação do complexo VCP-IP e do Distrito Industrial do Córrego Moeda, passou a ser a atividade da silvicultura, que tem por finalidade atender o complexo de papel-celulose formado no município.

A consolidação dessa tendência de mudança é corroborada por outros autores que realizaram o mesmo tipo de levantamento na BHCM posteriormente. Eles também evidenciaram o predomínio do uso da terra para atividades ligadas à produção de matéria-prima destinada ao complexo papel-celulose em detrimento das pastagens destinadas à pecuária extensiva, como é o caso dos trabalhos de Medeiros *et al.* (2018); Medeiros; Gomes; Pinto (2015); e, Souza; Silva; Pinto (2020).

#### **4- Materiais e métodos**

Este capítulo descreve os materiais, métodos e técnicas empregados para operacionalização desta pesquisa, os quais foram delineados para atender e testar a hipótese levantada. Para uma visão geral e sequencial do processo de investigação, o Quadro 1 sintetiza o fluxo metodológico em cinco fases principais, detalhando as Etapas, a Base de Dados, os principais Métodos e Técnicas e os Produtos gerados em cada fase.

**Quadro 1 – Fluxo metodológico para avaliação de perdas de solo em estradas rurais na Bacia do Córrego Moeda – Três Lagoas – MS**

Etapa	Base de Dados	Métodos e Técnicas	Produtos
<b>Fase 1 - Preparação e Delimitação das Unidades Amostrais (UAs)</b>			
1.1 Delimitação da área de estudo	Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (BHCM)	A partir do contexto histórico de ocupação e de pesquisas anteriores. Recorte a partir da ALOS PALSAR.	Delimitação da BHCM
1.2 Identificação de Problemas e seleção de UAs	Inspeção Visual das Estadas por meio da Rodagem - IVER	Delimitação das UAs (adaptado de Eaton; Gerard; Cate, 1987)	Delimitação das UAs
<b>Fase 2 - Caracterização e Coleta de Dados em Campo</b>			
2.1 Caracterização física das UAs	Declividade (L) e Comprimento de rampa (S)	Medidos em campo e aplicados à equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2014)	Determinação do Fator LS da EUPS
	Uso e cobertura da terra (C)	Avaliado durante a IVER com apoio do Avenza Maps. Adoção do fator 'C' baseado em Wischmeier e Smith (1978), Silva (2010) e Back (2023).	Determinação do Fator C da EUPS
	Práticas de Manejo e Conservação (P)	Avaliado em campo a partir da proposta de Bertoni e Lombardi Neto (2014).	Determinação do Fator P da EUPS
2.2 Coleta de amostras de solo	Pontos de coleta dentro das UAs: Pista, Margem Direita e Margem Esquerda	Conjunto de Cravação do tipo HILF - Cilindros biselados com aproximadamente 1000cm <sup>3</sup> . Coleta de amostras indeformadas para análise (IBGE, 2015)	Amostras de solo indeformadas para avaliação.
<b>Fase 3 - Aquisição e Processamento de Dados de Precipitação</b>			
3.1 Dados de Precipitação da Série Histórica	Estação Meteorológica Automática (EMA) da empresa Fibria/Suzano. Resolução mensal	Testes estatísticos de Pettitt, Buishand e Mann-Kendall (software R); Médias históricas anuais e mensais; Classificação em quantis anuais e mensais (Pinkayan, 1966; Monteiro, Rocha e Zanella, 2012; Xavier, Ambrizi e Silva, 2017).	Planilhas com dados sistematizados a partir de cada técnica aplicada
3.2 Dados de Precipitação de Alta Resolução	EMA-Arduino - Alto curso da BHCM	Controle de qualidade dos dados coletados; Organização da série temporal; Contextualização com quantis mensais; Caracterização dos eventos de chuvas erosivas baseado em Bertoni e Lombardi Neto (2014)	Planilhas com dados sistematizados a partir de cada técnica aplicada
<b>Fase 4 - Cálculos e Análises</b>			
4.1 Cálculo da Erosividade	Dados de Precipitação	Valores de R - EI, EI30, médias dos quantis (Bertoni e Lombardi Neto, 2014)	EI, EI30, EI médio por quantil mensal
4.2 Determinação dos demais valores da EUPS	Análise granulométrica	Fator K - Bouyoucos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CASTRO et al., 2011; DECCO, 2021; LIMA et al., 2021; Mannigel et al., 2008)	Fator K - EUPS
	L, S, C e P	Determinados a partir dos dados coletados em campo com base em Bertoni e Lombardi Neto (2014), Wischmeier e Smith (1978), Silva (2010) e Back (2023).	Fatores L, S, C e P da EUPS
4.3 Complementos	Análise Densidade do Solo; Triângulo Textural	Método do Cilindro Volumétrico (Almeida et. al., 2017 - EMBRAPA); Triângulo Textural (LEMOS; SANTOS, 1996)	Densidade geral ; Classes de textura - amostras solo
4.4 Cálculo da Equação Universal de Perdas de Solo (A) - (EUPS).	Integração dos fatores R, K, L, S, C, P	Bertoni e Lombardi Neto (2014), Wischmeier e Smith (1978)	Perda de Solos - diferentes cenários de erosividade, declividade, uso e cobertura
<b>Fase 5 - Síntese e Interpretação</b>			
5.1 Análise comparativa dos cenários	Resultados da aplicação da EUPS	Bertoni e Lombardi Neto (2014), Wischmeier e Smith (1978)	Tabelas e Gráficos: cenários de precipitação, declividade, uso e cobertura da terra em Uas
5.2 Proposição de Estratégias de Manejo	Resultados da aplicação da EUPS	Elaboração de estrutura conceitual e de diretrizes de manejo baseadas na literatura técnica.	Diretrizes de uso e manejo a partir dos cenários críticos

**Organização:** Penteado (2025)

#### **4.1- Delimitação da área de estudo e das Unidades Amostrais (UAs)**

O processo de delimitação da área de estudo esteve diretamente ligado ao contexto histórico de uso e ocupação da BHCM e, consequentemente, à preexistência de trabalhos investigativos sobre diferentes aspectos da paisagem, conforme relatado no capítulo 3. Além disso, outro fator importante que interferiu no processo de escolha da Bacia do Moeda como recorte espacial da pesquisa, está ligado à disponibilidade da série histórica contínua e sem falhas dos dados de precipitação (1983-2017), disponibilizada pela Fibria/Suzano, que permitiu a caracterização das precipitações, conforme estabelecido nos objetivos deste trabalho.

##### *4.1.1- Delimitação da área da bacia hidrográfica*

Uma vez escolhido o espaço-alvo da pesquisa, procedeu-se a delimitação cartográfica da área de estudo, a bacia hidrográfica. A etapa inicial utilizou o Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS PALSAR (30m de resolução) no ambiente do software Global Mapper® no Laboratório de Sensoriamento Remoto (La-Ser/UFMS). Inicialmente, executou-se o mosaico das cenas do MDE no ambiente de processamento do Google Earth Engine (GEE) para composição de uma base altimétrica contínua. Em sequência, realizou-se o cálculo automático da rede de drenagem e divisores topográficos no Global Mapper®, gerando o polígono preliminar do limite da bacia. As etapas posteriores de refinamento incluíram: ajuste manual mediante interpretação das curvas de nível geradas a partir do MDE no ambiente QGIS 3.16, corrigindo imprecisões algorítmicas em áreas de baixa declividade; e, sobreposição a imagem orbital para precisão na interface com o Rio Paraná, assegurando a correta delimitação do exutório (ver polígono resultante na Figura 1).

##### *4.1.2- Identificação de problemas nas estradas e delimitação das Unidades Amostrais.*

O processo de avaliação das estradas para delimitação de Unidades Amostrais ocorreu com base nos pressupostos teóricos descritos no item 2.5 do presente trabalho. Para tanto, partiu-se de adaptações metodológicas realizadas com base nos trabalhos de Eaton; Gerard; Cate (1987); Eaton; Beaucham (1992); Eaton; Gerard;

Dattilo (1988) para realizar a identificação da Rede Viária e estabelecer as unidades menores de identificação e avaliação, conforme sua extensão: Ramais>Seções>Unidades Amostrais. Este procedimento original, também foi adotado por um amplo número de trabalhos nacionais, a exemplo de Ferreira (2004); Fontenele (2001); Oda (1995); Renestro (2023); Ribeiro (2020, 2016); Silva *et al.* (2011).

Em campo, o método foi operacionalizado por meio do procedimento de Inspeção Visual da Estrada por meio da Rodagem (IVER) denominada “*windshield inspection*” (“inspeção de para-brisa” numa tradução literal).

Originalmente, a proposta consiste em trafegar a 40Km/h por toda extensão das estradas para anotar e registrar os possíveis defeitos que podem estar presentes e avaliar a condição de rodagem com o veículo utilizado. Para esta etapa foram utilizados três veículos distintos<sup>1</sup>, com os quais foram realizadas 6 incursões específicas de IVER, perfazendo trajetos de 60 a 80 quilômetros dentro da área da bacia, percorrendo estradas municipais e vicinais, além de outras incursões menores realizadas concomitantemente com o processo de coleta e monitoramento da EMA instalada no alto curso.

As anotações de campo foram realizadas em caderno de campo com apoio de câmera fotográfica do celular<sup>2</sup> e da versão gratuita do aplicativo Avenza Maps®. Os pontos de identificação e interesse foram devidamente marcados no Avenza que permite anotações sobre um mapa em PDF (*Portable Document Format*) georreferenciado. Para tanto, foi importado para o Avenza uma imagem Sentinel-2 do mês de agosto de 2021, recortada para os limites da bacia, que serviu de base para as atividades de campo e anotações.

É importante destacar que os trajetos de IVER (e, consequentemente, todas investigações desta pesquisa) se concentraram em estradas do alto e médio curso da BHCM devido às limitações de acesso às estradas do baixo curso que, apesar de apresentarem caminhos (aparentemente acessíveis), estavam indicadas com placas de ‘acesso restrito’ às margens da via, portanto, respeitou-se as limitações de acesso.

---

<sup>1</sup> 1) Fiat Uno 1.0, ano 2021, 4 portas (locadora); 2) Ford Ranger 3.0 powerstroke, Cabine dupla, 4x4, ano 2010 (IFMS); 3) Renault Sandero 1.0, ano 2014, 4 portas (IFMS). O uso predominante foi do veículo Ranger devido a disponibilidade e maior capacidade de trafegar em ambientes com acesso restritivo aos veículos de menor porte.

<sup>2</sup> Aparelho de celular da marca Samsung, modelo Galaxy A50.

O acesso às áreas do alto e médio curso se deu com base em informações do Mapa Rodoviário da Malha Municipal/Vicinal Rural de Três Lagoas da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil – COMPDEC/TL (Figura 7) e também de informações orais fornecidas por trabalhadores da Fazenda Querência<sup>3</sup>. O reconhecimento das estradas de acesso e a IVER tiveram como ponto de partida as áreas indicadas como estradas municipais e vicinais porque, em sua maioria, as estradas dentro da bacia não possuem indicação no mapa da prefeitura, por se tratar de desdobramentos das ‘estradas de talhão’. Para essas estradas buscou-se atenção à disponibilidade de acesso e de circulação, tomando sempre o cuidado de circular por áreas onde não havia cercas/porteiras restringindo o trânsito ou placas informativas com relação ao uso restrito daquelas estradas.

**Figura 7** – Recorte de informações da área da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda a partir do Mapa Rodoviário da Malha Municipal/Vicinal Rural de Três Lagoas



Fonte: COMPDEC/TL. Adaptação: Penteado (2023).

A realização da IVER, associada à imagem de satélite Sentinel-2 e do mapa de altimetria elaborado a partir do MDE ALOS PALSAR, permitiu identificar que as estradas anotadas como 22 e 23 no mapa rodoviário da prefeitura de Três Lagoas correspondem aos divisores de água da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda em seu

<sup>3</sup> A Fazenda Querência, no alto curso da bacia, serviu como base de apoio estratégico para o desenvolvimento da pesquisa, além de abrigar a Estação Meteorológica Automática utilizada para obtenção dos dados de alta resolução temporal que serão discutidos adiante.

alto e médio curso. A partir dessa informação, passou-se a compreender a ‘Rede Viária da BHC’ como a composição de todas as estradas rurais de leito natural compreendidas neste perímetro para fins de delimitação da área de abordagem deste estudo.

A partir de então, passa-se a adotar a adaptação da metodologia original – que prevê a anotação dos problemas para a criação de um Índice das Condições de Superfície das Estradas Não Pavimentadas (*Unsurfaced Road Condition Index – URCI*). No caso específico desta pesquisa, é feito o uso da IVER para identificar os diferentes tamanhos de trechos e os problemas existentes, mas sem se preocupar com a criação do URCI, pois, neste trabalho a IVER serve de suporte ao processo de investigação dos processos erosivos nas estradas e não à avaliação das estradas propriamente ditas.

Clarificada essa questão, vale ressaltar que a delimitação prática dos Ramais e demais unidades menores (Seções e Unidades Amostrais) dentro da Rede Viária da BHC se deu a partir da identificação prévia das áreas dos talhões de eucalipto em material cartográfico disponibilizado pela Fibria/Suzano (Figura 8) com apoio da imagem Sentinel-2 no Avenza e das anotações de campo tomadas durante realização da IVER.

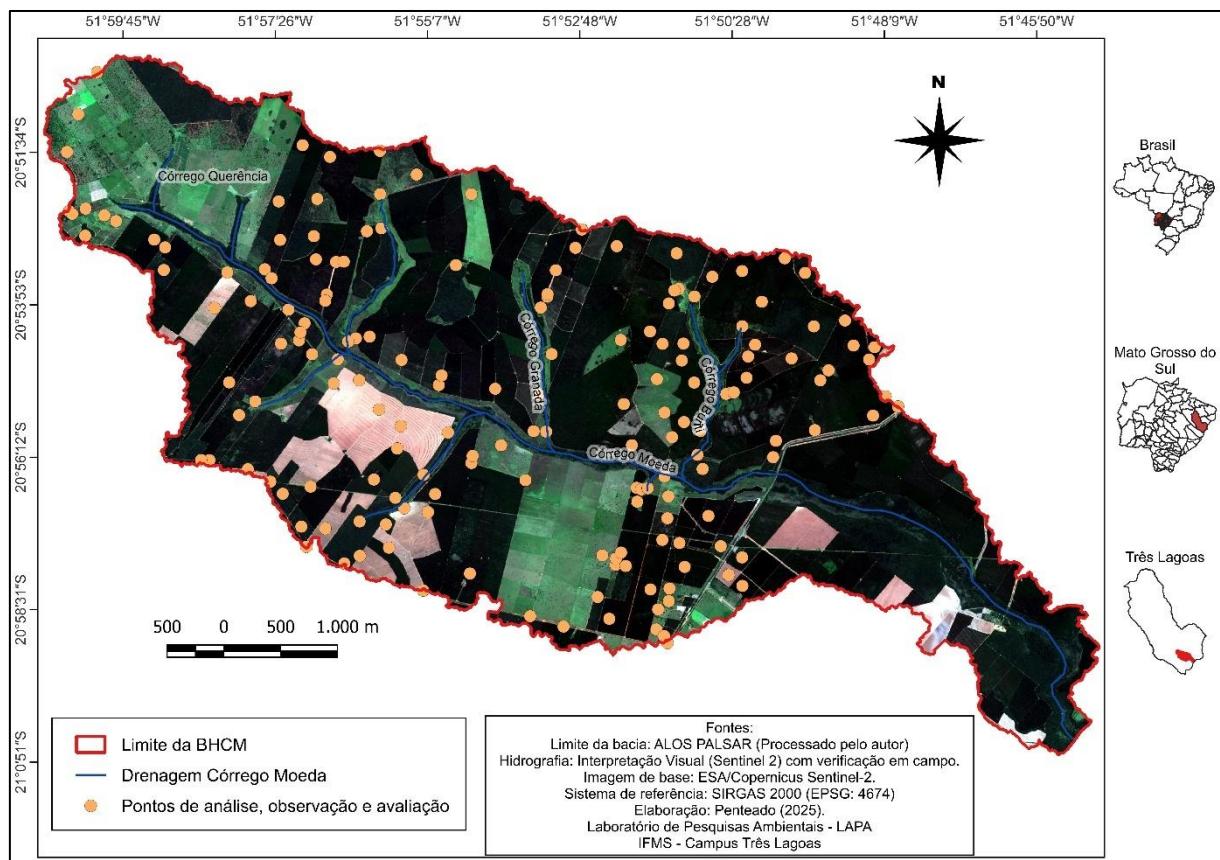
**Figura 8 – Identificação dos talhões de eucalipto da empresa Suzano**



Fonte: Fibria/Suzano (2009)

Esse conjunto de informações obtidas em campo compõe a complexa rede de pontos de análise, observação e avaliação dentro da Rede Viária da BHCM, tomada a partir da IVER, conforme ilustra a Figura 9 e que serviu de suporte para as subdivisões que sucedem.

**Figura 9** – Espacialização dos pontos de análise, observação e avaliação tomados a partir da IVER



**Organização:** Penteado (2025)

Os pontos de análise, observação e avaliação tomados a partir da IVER foram essenciais para delimitação dos Ramais, Seções e Unidades Amostrais dentro da Rede Viária da BHCM por permitirem o reconhecimento das feições erosivas, dos diferentes usos da terra, das práticas de manejo do entorno e, especialmente das condições visuais e de rodagem das vias.

Uma vez definidos os Ramais (trechos de estrada mais longos) a partir das avaliações produzidas, foram estabelecidas as Seções, porções menores dentro dos Ramais, mas que conservam e concentram características comuns de toda extensão do Ramal como: padrão de drenagem, presença de feições erosivas, presença de defeitos na estrada e uso da terra das margens.

Dentro das Seções, foram delimitadas Unidades Amostrais (UAs). Essas, por sua vez, correspondem a trechos de estrada menores dentro das Seções e, no caso específico deste trabalho, variam entre 10 e 60 metros (lineares) de extensão, dependendo da largura da estrada em que estão inseridas, perfazendo uma área de análise que varia de 150 a 500m<sup>2</sup> onde foram encontradas condições homogêneas da Seção e a possibilidade de realização do processo de coleta de amostras de solo da superfície de rolamento das estradas e do seu entorno imediato.

Procurou-se estabelecer a melhor distribuição espacial possível das UAs ao longo das estradas acessíveis a fim de obter amostras representativas das diferentes condições de estrada, bem como de suas eventuais contribuições para os processos erosivos na BBCM. Ao todo, foram definidas 23 Unidades Amostrais ao longo do alto e médio curso da bacia. Nessas UAs, foram coletadas amostras de solo da superfície de rolamento da estrada e de cada uma das margens imediatas, perfazendo um total de 69 amostras de solo, além da tomada de medidas dos demais parâmetros necessários à aplicação da EUPS que serão discriminados no subtópico que se segue.

#### **4.2- Caracterização de parâmetros de análise da área de estudo a partir da coleta de dados de campo**

Uma vez delimitadas as UAs e os pontos de coleta e amostragem, passou-se a realizar os procedimentos para obtenção do conjunto de dados primários necessários à caracterização dos fatores que compõe a Equação Universal de Perdas de Solo dentro de cada UA. Estes elementos serão delineados nos subitens a seguir.

##### *4.2.1- Delimitação do fator topográfico (LS)*

O processo de obtenção do fator topográfico para fins de aplicação na EUPS realizou-se a partir da Equação 2, proposta por Bertoni; Lombardi Neto (2014). Esses autores realizaram observações em talhões de diferentes comprimentos de rampa e graus de declive nos principais tipos de solo do estado de São Paulo, buscando maior aproximação à realidade brasileira em relação à proposta original de Wischmeier; Smith (1978), daí seu uso, em detrimento da referência internacional.

## Equação 2

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (2)$$

Onde,

LS = Fator Topográfico;

C = comprimento da rampa em metros;

D = grau de declive em porcentagem.

Para aplicação da Equação 2 à realidade topográfica de cada uma das Unidades Amostrais, foi realizado o levantamento e medição em campo da declividade (L) e do comprimento de rampa (S).

A declividade média de cada segmento de pista e de seu entorno dentro de cada UA foi delimitada fazendo uso do aplicativo de celular chamado ‘App de Medição, Nível de bolha’ disponibilizado por ‘Whatsticker’ na loja de aplicativos Android®. Essa aplicação possui um clinômetro que fornece valores de inclinação percentual e em graus. A tomada de medidas em campo foi realizada utilizando-se uma superfície plana de madeira como base de apoio para o celular<sup>4</sup>. A partir dessa superfície, houve a tomada da medida de inclinação em diferentes partes da UA, começando pela parte mais alta, depois na parte central e por fim na parte mais baixa. O valor da declividade percentual em cada ponto foi anotado em caderno de campo e, posteriormente, tratado em uma planilha do Microsoft Excel® 2019 a fim de obter a média de declividade para aplicação na Equação 2.

O comprimento de rampa (S), por sua vez, foi obtido a partir da extensão linear da Unidade Amostral de estrada. Essa medida variou dentro da UA de estrada de acordo com a largura da pista e com a presença de alguma forma de manejo nas áreas do entorno, sobretudo nas áreas de eucalipto que mantinham alguma projeção – ainda que suave – das curvas de nível sobre a área das estradas.

De acordo com Eaton; Gerard; Cate (1987), se a estrada for mais estreita que 4,5 metros (15 pés), o comprimento da UA deve ser aumentado, e, se a largura da estrada for maior que 10 metros (35 pés) o comprimento da UA deve ser reduzido. Dessa forma, buscou-se manter a maior uniformidade possível entre as UAs. As exceções, em termos da extensão linear da UA se limitaram, principalmente às estradas dos dois aeroportos existentes dentro da área de estudo. Nesses casos

---

<sup>4</sup> Aparelho de celular da marca Samsung, modelo Galaxy A50.

específicos, o comprimento de rampa ficou limitado a 10 metros devido a largura de 50 metros da pista.

#### *4.2.2- Avaliação da cobertura e das práticas de manejo do solo (Fator C).*

O levantamento das características de uso, ocupação e manejo das diferentes UAs delimitadas na bacia foi realizado com base na IVER. Sua representação espacial está expressa na Figura 9 citada anteriormente que trata dos pontos de análise, observação e avaliação.

Os valores do fator C da EUPS para os usos: pastagem, solo exposto e vegetação nativa foram tomados a partir do trabalho de Wischmeier; Smith (1978). Vale ressaltar nesse ponto que as margens de UAs que apresentaram áreas de solo exposto derivadas do processo de colheita do eucalipto, foram caracterizadas com valores de C baseados na tabela dedicada a esses valores em ‘áreas florestais preparadas mecanicamente’, denominadas “*Drum Chopped*”<sup>5</sup>. Embora essa técnica específica não seja adotada no manejo das áreas às margens das Uas, verificou-se grande similaridade entre sua descrição e a realidade observada em campo.

Para as estradas, adotou-se C=1, por entender que – não havendo nenhuma cobertura manejada – trata-se do cenário mais favorável aos processos erosivos, semelhante ao cultivo morro abaixo (Bertoni; Lombardi Neto, 2014; Nyhan; Lane, 1986; Wischmeier; Smith, 1978).

O único valor de C para uso e manejo da terra que não é abordado de forma direta por Wischmeier; Smith (1978) está relacionado às áreas de eucalipto/silvicultura já consolidadas e sem atividade mecânica recente. Para essas áreas, tomou-se como base o valor de C adotado por Back (2023); Pereira (2006) e Silva *et al.* (2016).

#### *4.2.3- Avaliação das Práticas Conservacionistas (Fator P)*

O estabelecimento dos valores do Fator P, assim como adotado para o Fator C, tiveram como base as observações e anotações de campo para que fossem feitas

---

<sup>5</sup> Essas áreas são equivalentes a agregados de solo moderadamente estáveis na camada superficial do solo ou agregados altamente estáveis no subsolo (solo superficial removido durante a varredura), apenas com vestígios de serapilheira e galhos misturados.

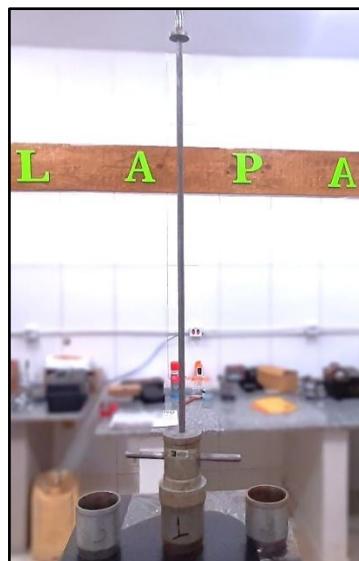
as devidas adaptações de aplicação com base em Bertoni; Lombardi Neto (2014). Foram atribuídos valores  $P=1$  para todas as áreas que não apresentam práticas mecânicas visíveis para controle da erosão e  $P=0,5$  para as áreas de eucalipto plantadas em curvas de nível identificadas nos trabalhos de campo.

#### 4.2.4- Coleta de amostras indeformadas de solo.

O processo de coleta de amostras de solo indeformadas para análise da densidade e da granulometria foi realizado seguindo o procedimento-base do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). As atividades de campo para esta finalidade aconteceram no período de abril a agosto de 2023.

A coleta de amostras de solo do leito de rolagem das estradas e de suas margens foi realizada utilizando um conjunto de cravação do tipo *Hilf* do LAPA (Figura 10) que é composto por cilindros biselados de volume aproximado de  $1000\text{cm}^3$  e aproximadamente 13cm de altura, cabeçote (sapata de apoio sobre o cilindro), haste para deslizamento do peso e soquete de cravação (peso deslizante). O volume calculado de cada cilindro de cravação, bem como sua massa e demais dimensões constam no Anexo A.

**Figura 10** – Conjunto de cravação do tipo *Hilf* - cilindros biselados, cabeçote, haste e soquete.



Fonte: Penteado (2024)

O material coletado em campo com os cilindros biselados foi embalado com papel filme juntamente com os cilindros (amostra indeformada) e acondicionado em

sacos plásticos fechados e devidamente identificados, depois levado para o LAPA para realização do cálculo da Umidade Atual e da Densidade do solo das amostras coletadas (Figura 11 – a), b), c), d)).

**Figura 11** – a) Amostras embaladas para transporte. b) Amostras deformadas (retiradas dos cilindros)  
c) Amostras preparadas para estufa d) Amostras na estufa do LAPA



Organização: Penteado (2023)

#### 4.3- Aquisição e processamento dos dados de precipitação da BHCM

O conjunto de dados de precipitação utilizados nesta pesquisa é composto por duas diferentes fontes de dados: i) banco de dados históricos mensais das precipitações de 1983 a 2017, cedidos pela empresa Fibria/Suzano a partir de uma Estação Meteorológica Automática (EMA-Suzano) no baixo curso da BHCM; e, ii) banco de dados de alta resolução temporal (1 em 1 minuto) do ano de 2023, constituído por registros de uma Estação Meteorológica Automática baseada em Arduino (EMA-Arduino), desenvolvida pelo autor e instalada no alto curso da BHCM, na Fazenda Querência.

##### 4.3.1- Tratamento e processamento dos dados da EMA-Suzano

O primeiro conjunto de dados, recebido da EMA-Suzano, já estava previamente sistematizado em uma planilha do *software Microsoft Excel®* 2019 e continha totais acumulados das precipitações mensais dentro de toda série histórica de 1983 a 2017 sem falhas.

O conjunto dos dados *anuais* foi utilizado para realização de testes estatísticos de Pettitt (mudanças abruptas), Mann-Kendall (tendências) e Buishand (homogeneidade) no *software RStudio* 2024.12.0+467 "Kousa Dogwood" a partir organização manual dos vetores e seu tratamento utilizando o pacote 'trend', associado às rotinas próprias do pacote (mk.test, pettitt.test, bu.test). Estes testes foram escolhidos por serem amplamente utilizados em estudos de homogeneidade e tendências climáticas (Andualem *et al.*, 2024; Back, 2001; Getnet; Bantider Dagnew; Ayal, 2023; Malik *et al.*, 2020; Moro *et al.*, 2025). O conjunto de dados mensais, tratados individualmente dentro da série histórica (ex.: jan 1983 a 2017; fev 1983-2017, etc.) também foi submetido aos testes estatísticos de Pettitt e Mann-Kendall para que fossem avaliadas possíveis mudanças abruptas e tendências, respectivamente.

Além dos testes estatísticos mencionados, o tratamento focal dado à série histórica – tanto ao conjunto de dados anuais, quanto ao conjunto dos dados mensais – está ligado à aplicação da Técnica dos Quantis de acordo com a metodologia proposta por Monteiro; Rocha; Zanella (2012); Pinkayan (1966); Xavier; Ambrizi; Silva (2017).

Os resultados dos testes de Pettitt, Mann-Kendall, Buishand (para o conjunto de dados anuais) e de Pettitt e Mann-Kendall (para o conjunto de dados mensais), assim como os desdobramentos metodológicos da aplicação da técnica dos quantis ao conjunto de dados mensais foram detalhadamente discutidos em Penteado; Porangaba (2025 – no prelo). Já a aplicação da técnica dos quantis ao conjunto de dados anuais será descrita brevemente a seguir.

#### *Aplicação da técnica dos quantis ao conjunto de dados anuais de precipitação da BPCM.*

Primeiramente, foram organizados os valores de precipitação anual a partir da soma dos totais mensais de cada ano da amostra em uma única tabela do *software Microsoft Excel®* 2019. Depois de organizados, os valores anuais de precipitação

foram ordenados do menor para o maior a fim de realizar a aplicação da técnica estatística, conforme descrito por Monteiro; Rocha; Zanella (2012).

Da mesma forma procedida por Penteado; Porangaba (2025), para o tratamento dos dados mensais, a delimitação dos quantis anuais seguiu a proposta de Pinkayan (1966). Nesse modelo, são estabelecidas cinco classes com base na distribuição de probabilidades da série histórica. O cálculo dos intervalos de classe é baseado em quatro limites, tomados a partir de cinco quantis, conforme ilustra a Tabela 2.

**Tabela 2** – Definição das classes de precipitação segundo a técnica dos quantis de Pinkayan (1966)

Classe	Intervalo de Probabilidade	Limites dos Quantis
Muito Seco	Abaixo do percentil 15	Valores $\leq Q(0,15)$
Seco	Entre os percentis 15 e 35	$Q(0,15) < \text{Valores} \leq Q(0,35)$
Normal	Entre os percentis 35 e 65	$Q(0,35) < \text{Valores} \leq Q(0,65)$
Chuvoso	Entre os percentis 65 e 85	$Q(0,65) < \text{Valores} \leq Q(0,85)$
Muito Chuvoso	Acima do percentil 85	$\text{Valores} > Q(0,85)$

**Fonte:** (PENTEADO; PORANGABA, 2025)

Penteado; Porangaba (2025) esclarecem que, apesar de os cinco quantis serem calculados -  $Q(0,15)$ ,  $Q(0,35)$ ,  $Q(0,50)$ ,  $Q(0,65)$ ,  $Q(0,85)$  -, apenas quatro são utilizados como limites efetivos entre as classes, pois o quantil  $Q(0,50)$  – mediana – faz parte da classe Normal, sendo, portanto, seu valor central enquanto os limites efetivos da classe são definidos por  $Q(0,35)$  e  $Q(0,65)$ .

O estabelecimento das ordens quantílicas e a delimitação dos valores de cada quantil foi tomado a partir da proposta descrita por Monteiro; Rocha; Zanella (2012); Penteado; Porangaba (2025); Xavier; Ambrizi; Silva (2017) para a aplicação da Equação 3.

Equação 3

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i]/[(P_{i+1}) - P_i]\} * [(y_{i+1}) - y_i] \quad (3)$$

A partir da aplicação da Equação 3 encontram-se os valores limites de cada percentil (P) para aplicação da classificação proposta por Pinkayan (1966). É mister destacar que, segundo Monteiro; Rocha; Zanella (2012) e Xavier; Ambrizzi; Silva (2017), a distribuição normal dos dados em cada classe após aplicação da Equação

X estaria disposta da seguinte forma: 15% Muito Seco, 20% Seco, 30% Normal, 20% Chuvoso e 15% Muito Chuvoso.

#### *4.3.2- Estação Meteorológica Automática baseada em Arduino para registros de precipitação de alta resolução temporal.*

A opção pela construção de uma Estação Meteorológica Automática baseada em Arduino (EMA-Arduino) decorreu de três fatores principais: Primeiro, a pesquisa demandava dados de precipitação de alta resolução temporal (em escala de minutos), essenciais para o cálculo preciso de índices de erosividade como o EI30; Segundo, os equipamentos comerciais possuem custo proibitivo e sistemas de ‘software fechado’, o que limita o acesso e a adaptabilidade para instituições com menos recursos (Alves, 2018); Terceiro, a série histórica disponível da EMA-Suzano, com resolução mensal, era insuficiente para identificar eventos de chuva individuais, inviabilizando o cálculo do EI30 para compreensão de cenários específicos de precipitação na bacia. Sendo assim, a EMA-Arduino foi concebida como uma solução técnica e economicamente viável para superar essas limitações. O processo de construção, ajustes e comparações com equipamentos de referência do equipamento desenvolvido para esta pesquisa foi publicado nos anais de diferentes eventos (Penteado; Porangaba, 2024; Penteado; Porangaba; Pinto, 2023; Penteado; Pinto; Porangaba, 2023) e apresentado em grupos de discussão específicos para apreciação, avaliação e validação.

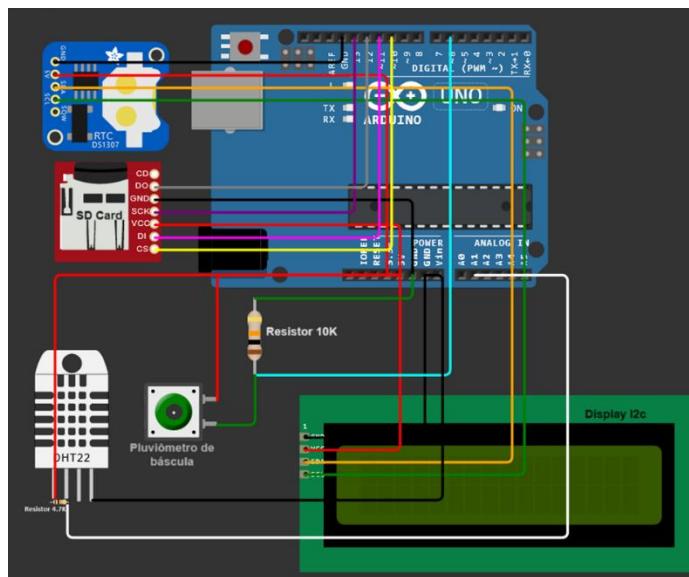
A EMA-Arduino construída para esta pesquisa é composta dos seguintes componentes: um pluviômetro de báscula (com um sensor *reed-switch*) modelo PL1 da marca ‘WRF Comercial’ com precisão de 0,336mm – calibrado conforme Menezes (2019); um sensor de temperatura do ar e umidade relativa do ar da marca AOSONG 2302 (DHT22) de acurácia de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para temperatura e de  $\pm 5\%$  para umidade relativa do ar com resolução de 0,1 tanto para temperatura quanto para umidade relativa do ar (Freitas, 2018; Mota *et al.*, 2018; Smith; Smith, 2022); um módulo relógio *Real Time Clock* (RTC) 1307, um módulo para cartão de memória Micro SD que serve como *datalogger*<sup>6</sup> e um *display LCD (Liquid Crystal Display)* 16x2 para

---

<sup>6</sup> Durante o período de testes do equipamento, ainda na bancada, descobriu-se que cartões de memória com capacidade de armazenamento superior a 1 Gigabyte (Gb) apresentam mau funcionamento e podem travar o sistema – foram testados cartões de 8 Gb e de 2 Gb. Dessa forma, foi preciso recorrer à procura de cartões de memória do tipo micro SD antigos com capacidade de 1 Gb ou menos a fim de tornar viável a execução desse tipo de *datalogger* para EMA.

acompanhamento do funcionamento do equipamento sem necessidade do uso de um computador. Tanto o *display* LCD quanto o relógio RTC adotam o protocolo I2C (*Inter-Integrated Circuit*), desenvolvido pela *Philips semiconductors* que se tornou muito popular em circuitos eletrônicos por permitir o uso simultâneo de até 4 dispositivos iguais numa mesma placa usando apenas as portas de dados (*Serial Data* - SDA) e de relógio (*Serial Clock* – SCL) (Mendonça, [S.d.]). A composição esquemática do circuito, publicada por Penteado; Porangaba (2024) e Penteado; Pinto; Porangaba (2023), está representada na Figura 12. A alimentação do sistema foi realizada com um conjunto de Painel Solar da marca SINOSOLA de 30W, uma bateria de 40 Ampere-hora e um controlador de carga do tipo PWM (*Pulse Width Modulation* – da sigla em inglês) que faz a gestão da carga da bateria e da alimentação do sistema pelo painel solar.

**Figura 12** – Ilustração esquemática do circuito da EMA-Arduino



**Fonte:** PENTEADO; PORANGABA (2024); PENTEADO; PINTO; PORANGABA (2023)

As bibliotecas utilizadas para a elaboração do *script* do conjunto de sensores da EMA-Arduino são, em sua maioria, nativas do Arduino (“dht.h”, “SPI.h”, “SD.h”, “Wire.h”, “I2C\_RTC.h” e “LiquidCrystal\_I2C.h”), apenas o pluviômetro que possui um conjunto específico de comandos fornecido pelo fabricante que não constitui uma biblioteca. A sintaxe dos códigos para formação do *script* da EMA-Arduino aconteceu a partir da organização das bibliotecas disponíveis para cada sensor no Ambiente de Desenvolvimento Integrado do próprio Arduino (IDE – da sigla em inglês).

O intervalo de registro da EMA-Arduino foi definido para 1 minuto, atendendo à demanda de compreensão do ritmo e intensidade das precipitações necessários ao cálculo do EI30.

Para o processo instalação do equipamento na Fazenda Querência – alto curso, próximo à nascente do Córrego Moeda – foi realizada a avaliação do ponto indicado para a instalação da EMA tendo como base os parâmetros estabelecidos no Guia de Instrumentos e Métodos de Observação Meteorológicos (GIMOM) da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2014). Com base nesses parâmetros, o pluviômetro (elemento principal do monitoramento) está enquadrado na classe 2 de localização. Segundo o GIMOM, esse enquadramento de localização do pluviômetro faz com que os resultados possam sofrer uma incerteza adicional estimada de até 5%. A Figura 13 mostra a EMA-Arduino instalada na Fazenda Querência – alto curso da BHCM.

**Figura 13 – EMA-Arduino – Fazenda Querência – Alto curso da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda**



**Fonte:** Penteado (2024)

O monitoramento com a EMA-Arduino gera em torno de 1440 registros diários<sup>7</sup> de cada variável monitorada. Para esta pesquisa, foram tratados apenas os dados

<sup>7</sup> Quando o funcionamento é regular. A menção ao funcionamento correto está relacionada à constante necessidade de manutenções, ajustes e correções do equipamento, seja por questões inerentes ao próprio conjunto (bateria, placa solar, falhas lógicas, bugs de código e outros do gênero), seja por problemas relacionados a fatores naturais e externos (fezes de aves, insetos e aranhas obstruindo o pluviômetro, presença de pequenas rãs nos abrigos ou no pluviômetro, queda de raios, vendavais, entre outros tipos de questões naturais). Esses fatores listados estiveram entre as principais causas de falhas nos registros.

relativos aos registros de precipitação. As informações geradas pelo equipamento foram salvas no cartão de memória da EMA no formato de arquivo “.txt”. A cada visita do processo de monitoramento, o cartão de memória foi removido a EMA para salvamento dos dados no computador, onde o arquivo foi aberto na ferramenta ‘bloco de notas’ do sistema operacional *Windows®*. O conteúdo do arquivo de texto foi copiado para uma planilha do software *Microsoft Excel® 2019*, ambiente em que foi realizada a separação dos dados de precipitação a cada mês do período de monitoramento e sua devida organização, primeiramente em valores acumulados diários e, depois, em eventos de chuva erosiva, conforme literatura de referência citada na seção 2.2.2 (Almeida *et al.*, 2012; Antunes, 2015; Pereira, 1983; Teixeira *et al.* 2022).

O conjunto de dados mensais referente aos acumulados de chuva registrados pela EMA-Arduino durante todo período de monitoramento (dezembro 2022 a janeiro de 2024) foi caracterizado utilizando os resultados do tratamento por quantis da série histórica de 1983-2017 da EMA-Suzano para fins de compreensão do comportamento dinâmico das precipitações registradas com o equipamento na bacia.

#### **4.4 – Organização, processamento e cálculo dos diferentes parâmetros obtidos em campo**

Com os dados de precipitação processados e os parâmetros de campo coletados, esta seção consolida a etapa analítica da pesquisa – a análise laboratorial e a modelagem envolvendo a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo e análises complementares. São descritos os procedimentos para obtenção da Erosividade das chuvas (Fator R), da Erodibilidade dos solos (Fator K) a partir da análise granulométrica, para integração de todos os demais fatores da EUPS a fim de consolidar a modelagem dos cenários de perda de solo (A). Complementarmente, são descritas as metodologias para a análise da densidade e da textura do solo a fim de subsidiar a compreensão e discussão dos processos erosivos na BPCM.

##### *4.4.1- Procedimentos para o cálculo da Erosividade das chuvas (Fator R)*

A compreensão da natureza distinta entre os conjuntos de dados desta pesquisa é essencial para o cálculo do fator R da EUPS. Conforme delineado na seção 2.2.2, o termo EI foi empregado para o cálculo da erosividade a partir das médias históricas de precipitação (método indireto), enquanto EI30 foi utilizado para os valores obtidos a partir dos registros pluviográficos de alta resolução temporal (método direto). A presente seção detalha, portanto, os procedimentos de cálculo e as estratégias metodológicas adotadas para cada uma dessas abordagens.

#### *Cálculo do Índice de Erosividade (EI) a partir das médias históricas*

Para o cálculo do Fator R a partir da série histórica, adotou-se o índice EI, conforme proposto por Bertoni; Lombardi Neto (2014) que segue as adaptações propostas por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) do coeficiente de chuva proposto originalmente por Fournier (1960). Destaca-se, portanto, a aplicação do método padrão apresentado por Bertoni; Lombardi Neto (2014), bem como uma adaptação proposta para considerar a variabilidade intra-anual das chuvas a partir das médias dos quantis mensais.

Todos os dados de precipitação da série histórica para fins dos cálculos do EI foram sistematizados e tratados em planilhas do *software Microsoft Excel®* 2019.

A realização do cálculo do EI foi tomada a partir da Equação 4, desenvolvida por Bertoni; Lombardi Neto (2014):

#### Equação 4

$$EI = 67,355 \cdot (r^2/P)^{0,85} \quad (4)$$

em que:

EI = média mensal do índice de erosão em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

r = precipitação média mensal em milímetros (Normal Climatológica mensal);

P = precipitação média anual em milímetros (Normal Climatológica anual).

Assim, o valor do EI médio anual (Fator R) é a soma dos valores mensais dos índices de erosão.

A fim de compreender a influência das precipitações em cada mês dentro da série histórica avaliada sobre a perda de solos, tomou-se a iniciativa de avaliar os valores de EI mensalmente e sua aplicação na EUPS, além do cálculo padrão utilizando o valor médio anual. Entretanto, para essa avaliação, considerou-se um ajuste metodológico essencial no processo visto a grande variabilidade intra-anual das precipitações no clima Aw.

A Equação 4 considera 'r' a precipitação média mensal (Normal Climatológica para determinado mês). Entretanto, essa média simples, em regiões de clima Aw – como a BHC – é muito suscetível à presença outliers que acabam, consequentemente, mascarando as características das precipitações em determinados meses, sobretudo para os períodos mais secos (como os meses de inverno, no caso da área de estudo).

Para capturar de forma mais fiel à realidade climática da área de estudo, o cálculo do EI foi realizado utilizando, além da Normal Climatológica mensal, o valor médio das precipitações em cada classe dos quantis mensais caracterizados por Penteado; Porangaba (2025). Dessa forma obteve-se o cálculo do Índice de Erosão (EI) para a simulação de meses Muito Secos, Secos, Normais, Chuvosos e Muito Chuvosos adotando como base o valor médio de precipitação da série histórica (Normal Climatológica anual) – para P, e variando os valores de r (mensais) da mesma fórmula a partir da média das precipitações de cada classe dos quantis. A Equação 5 descreve o procedimento de cálculo adotado para obtenção do valor de EI médio de cada classe de quantil ( $EI_q$ ) – posteriormente adotado para simular as perdas de solos sob diferentes cenários de chuva.

#### Equação 5

$$EI_q = 67,355 \cdot (r_{mq}^2/P)^{0,85} \quad (5)$$

Em que:

$EI_q$  = média mensal do índice de erosão em  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$  para a média de cada classe de quantil;

$r_{mq}$  = precipitação média mensal em milímetros de cada classe de quantil;

P = precipitação média anual em milímetros (Normal Climatológica anual).

Ressalta-se, nesse ponto, que o objetivo do ajuste metodológico não é obter valores absolutos de R para cada condição de precipitação – isso já é dado pelos cálculos a partir da Normal Climatológica seguindo a metodologia de Bertoni e Lombardi Neto (2014) –, mas tornar possível ter uma ideia do impacto do aumento ou da redução das precipitações sobre o processo de perda de solos em diferentes cenários de precipitação mensal a partir da simulação com dados reais e possíveis de ocorrer novamente.

Os valores de  $EI_q$  para cada mês foram aplicados à EUPS, mantendo todos os outros parâmetros fixos para criar cenários simulados do impacto da variação da

erosividade ao longo do ano e em cada mês sobre o processo de perda de solos dentro de cada uma das UAs na BHCM.

*Cálculo do Índice de Erosividade (EI30) a partir de dados pluviográficos de alta resolução temporal.*

O processo de tratamento dos dados de alta resolução temporal da EMA-Arduino foi tomado a partir do cálculo do EI30 (método direto), devidamente detalhado por Bertoni e Lombardi Neto (2014) e entendido como a resultante do produto da energia cinética total de cada evento de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos. Neste método, foram analisados separadamente cada evento considerado de ‘precipitação erosiva’ para obtenção dos valores do Índice de erosividade supracitado.

Para identificação de todos os eventos de precipitação erosiva registradas pela EMA-Arduino, foi realizada a busca manual dos eventos de precipitação organizados nas planilhas do *software Microsoft Excel®* 2019 para realização do seu enquadramento nos parâmetros descritos por diferentes autores (Almeida *et al.* 2012; Antunes, 2015; Bertoni; Lombardi Neto, 2014; Lombardi Neto; Moldenhauer, 1992; Pereira, 1983; Teixeira *et al.*, 2022; Wischmeier; Smith, 1978) e devidamente caracterizado na seção 2.2.2 do presente trabalho. Portanto, inicialmente, a série temporal de precipitação foi segmentada em eventos chuvosos individuais. Um evento foi definido como um período de chuva precedido e sucedido por, no mínimo, seis horas consecutivas sem precipitação registrada. Para análise, foram tomados apenas os eventos considerados erosivos – maiores que 10mm no intervalo mencionado ou superiores a 6mm em até 15 minutos.

Uma vez identificados, individualizados e caracterizados, os eventos de precipitação erosiva, foram submetidos ao seguinte procedimento de cálculo que será descrito detalhadamente conforme os tópicos elencados a seguir: a) Cálculo da Intensidade Instantânea; b) Cálculo da Energia Cinética por Unidade de Precipitação (Eci); c) Cálculo da Energia Cinética por minuto; d) Cálculo da Intensidade Máxima em 30 minutos (I30); e) Cálculo da Energia Cinética (Ec) do evento de precipitação; e, f) Cálculo final do Índice de Erosividade (EI30) do evento; g) Cálculo do EI30 mensal.

a) Cálculo da Intensidade Instantânea – Para cada minuto ‘i’ com precipitação ‘ $P_i > 0$ ’, a intensidade de chuva ‘ $i_i$ ’ foi calculada em milímetros por hora (mm/h), conforme a Equação 6:

Equação 6

$$i_i = P_i \cdot 60 \quad (6)$$

Em que:

$i_i$  = Intensidade de chuva por minuto em mm/h;

$P_i$  = Precipitação acumulada no minuto registrado.

Nota: O fator multiplicador ‘60’ corresponde ao total de minutos em uma hora para que se obtenha a intensidade equivalente daquela precipitação em milímetros por hora.

b) Cálculo da Energia Cinética por Unidade de Precipitação (ec) – Para cada intensidade  $i_i$ , a energia cinética por unidade de profundidade de chuva foi calculada utilizando a equação empírica de Bertoni; Lombardi Neto (2014), conforme descrito na Equação 7 a seguir.

Equação 7

$$ec = 0,119 + 0,0873 \cdot \log i_i \quad (7)$$

Nesta equação:

$ec$  = Energia cinética em  $MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ ;

$i_i$  = Intensidade da chuva por minuto em mm/h.

O resultado desta equação fornece o valor da Energia cinética para um evento de uma hora com aquela intensidade de chuva.

c) Cálculo da Energia Cinética por minuto(eci) – Para obtenção da Energia Cinética gerada em cada minuto ‘i’ foi realizado o produto da  $ec$  daquele minuto pelo volume de precipitação registrado naquele minuto ( $eci = ec \cdot P_i$ ).

d) Cálculo da Intensidade Máxima em 30 minutos (I30) – A intensidade máxima em 30 minutos, que representa o pico de intensidade do evento, foi determinada por meio de uma análise de janela deslizante progressiva. Para cada minuto  $i$  – considerado como o início de uma janela de 30 minutos – calculou-se a precipitação acumulada no intervalo  $[i, i+29]$  denotada  $P_{30i}$ . O valor de  $I30$ , em milímetros por hora (mm/h), corresponde ao máximo valor de intensidade derivado dessas janelas.

No Excel®, essa solução ficou organizada com uma coluna contendo a sequência de valores do intervalo P30i [i, i+29], outra coluna contendo o resultado do I30 em mm/h para cada conjunto P30i (P30i.2) – o fator 2 é utilizado para converter a precipitação acumulada em 30 minutos (P30i, em mm) para uma intensidade em base horária (mm/h). Em uma terceira coluna foi realizada a execução da função ‘MÁXIMO(NUM:NUM)’ que equivale a equação 8, a seguir.

Equação 8:

$$I30 = \max(P30i.2) \quad (8).$$

Esta equação fornece o valor do I30 do evento em mm/h.

e) Cálculo da Energia Cinética (Ec) total do evento de precipitação – A obtenção do valor da Energia Cinética total do evento de precipitação é obtida a partir da soma de todos os valores de eci ( $Ec = \sum(eci)$ ).

f) Cálculo final do Índice de Erosividade (EI30) do evento – O valor do EI30 do evento em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$  é obtido, segundo Bertoni; Lombardi Neto (2014) pelo produto da Energia Cinética do Evento (Ec) e a intensidade máxima em 30 minutos (I30), conforme Equação 9.

Equação 9

$$EI30 = Ec \cdot I30 \quad (9)$$

Em que:

$EI30$  = Índice de erosão em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$

$I30$  = Intensidade Máxima da precipitação em 30 minutos (mm/h).

g) Cálculo do EI30 mensal – Para obtenção dos valores de EI30 de qualquer período desejado, utiliza-se “a soma dos valores de EI de cada chuva, isoladamente, em certo período, o qual proporciona uma avaliação numérica da erosividade da chuva dentro daquele período” (Bertoni; Lombardi Neto, 2014, p. 252). Sendo assim, para obtenção dos valores de EI30 de um mês, portanto, são somados todos os valores de EI30 de cada chuva erosiva registrada no mês. Da mesma forma, para obtenção dos valores de EI30 de um ano, devem-se somar os valores de EI30 das chuvas erosivas referentes aquele período.

Cabe ressaltar, conforme já mencionado na seção 4.3.2 deste trabalho e relatada também por Alves (2018); Bertoni; Lombardi Neto (2014); Penteado; Porangaba (2024; 2025); Penteado; Pinto; Porangaba (2023), sobre a dificuldade de realizar este tipo de monitoramento de alta resolução temporal, pois, normalmente as séries de dados apresentam falhas nos registros devido a dificuldade de monitoramento, escassez de equipamentos, falta de equipes dedicadas a este fim, entre outras limitações relacionadas à morosidade e complexidade dos cálculos que também acabam favorecendo o trabalho com EI em detrimento do EI30, segundo Bertoni; Lombardi Neto (2014).

#### *4.4.2- Determinação dos demais fatores da Equação Universal de Perda de Solos*

Uma vez delimitado o processo de obtenção da erosividade das chuvas (Fator R), a etapa seguinte é a caracterização do processo de tratamento das amostras de solos das UAs para obtenção do fator K (erodibilidade do solo) a fim de realizar sua aplicação na EUPS. Os demais fatores (LS, C e P), já caracterizados nas seções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 deste trabalho, serão sistematizados para fins de clareza do processo. A seção também traz a discussão do processo de obtenção da densidade do solo das amostras das UAs como elemento de análise complementar e o processo de integração das variáveis da EUPS para o cálculo da perda de solos estimada (A).

##### *Processo de obtenção da Erodibilidade do solo nas Unidades Amostrais (Fator K)*

A inspeção de campo (IVER) foi fundamental para a escolha metodológica de obtenção do Fator K. Durante o trabalho de campo, observou-se a predominância de feições erosivas como ravinas, areiões e atoleiros nas estradas. A ocorrência dessas feições, conforme documentado em trabalhos anteriores (Fontenele, 2001; Oda, 1995; Ribeiro, 2016) está associada a solos com textura arenosa e baixo teor de argila, condição que favorece a erodibilidade (Albuquerque *et al.*, 2015; Back, 2023; Pereira, 2006).

Diante desse diagnóstico de campo, que indicava solos arenosos e altamente erodíveis, a opção metodológica recaiu sobre o método de Bouyoucos. A escolha

deveu-se ao fato de este método, conforme aplicado por Castro *et al.* (2011); Decco (2021); Lima *et al.* (2021); Mannigel *et al.* (2008), apresentar os maiores valores de erodibilidade justamente para os solos de textura arenosa, representando, portanto, o cenário mais crítico e condizente com a realidade observada na BHCM.

Uma vez definida a metodologia, passou-se a considerar então a Equação 10 (método de Bouyoucos), descrita por diferentes autores (Bertoni; Lombardi Neto, 2014; Castro *et al.*, 2011; Decco, 2021; Lima *et al.*, 2021; Mannigel *et al.*, 2008), para obtenção dos valores de erodibilidade das amostras de solo coletadas na BHCM.

#### Equação 10

$$\text{Fator K} = ((\% \text{areia} + \% \text{silte}) / (\% \text{argila})) / 100 \quad (10)$$

A obtenção da granulometria (percentuais de areia, silte e argila) para aplicação na Equação 10 foi realizada a partir da metodologia de ‘análise granulométrica’ apresentada por Donagemma *et al.* (2017). Para cada ensaio, foram separadas amostras de solo de aproximadamente 20,0000g de cada ponto de coleta – Figura 14 –, (3 pontos de amostragem – nominados ‘P’ – de cada UA), conforme sequência de coleta (de 1 a 23) seguido das letras identificadoras D (para margem direita da estrada no sentido do fluxo da água); C (para porção central do rolamento da estrada); E (para margem esquerda da estrada no sentido do fluxo da água), contabilizando 69 pontos de coleta de amostras de solo.

Separadas as amostras, procedeu-se a análise granulométrica, estruturada nas seguintes etapas: i) dispersão das amostras; ii) separação da areia (areia fina, areia grossa e areia total); iii) determinação de silte e argila pelo método da pipeta. Estas etapas são brevemente ilustradas pelas figuras, conforme a sequência esquemática: i e ii – Figura 15 – a), b), c), d), e), f); ii e iii Figura 16 – a), b), c), d), e), f), g); e, iii Figura 17 – a), b).

**Figura 14** – Exemplo do processo de separação e preparação de amostras para análise granulométrica



**Fonte:** Penteado (2023)

**Figura 15** – a) Amostras no agitador tipo Wagner. b) Retirada da amostra dos frascos para peneira. c) Lavagem da areia para separação da argila e do silte. d) Areia separada. e) Preparação de proveta de sedimentação. f) Secagem da areia em estufa



Fonte: Penteado (2023)

**Figura 16** – a) Provetas de sedimentação preparadas. b) Agitação da suspensão. c) Pipetagem de amostra de argila. d) Secagem das amostras de argila em estufa. e) Agitador de Peneiras usado para separação das frações de areia. f) Frações de areia separadas. g) Pesagem da fração de areia.



Fonte: Penteado (2023)

**Figura 17** – a) Amostras esfriando em dessecador. b) Amostras de argila depois de secas, frias e pesadas



Fonte: Penteado (2023)

O processo de coleta, separação e tratamento das amostras foi distribuído de acordo com a disponibilidade de recursos e materiais do Laboratório de Planejamento

e Gestão de Recursos Hídricos (LABGRH/UFMS) e do Laboratório de Pesquisas Ambienais (LAPA/IFMS). Os resultados dos ensaios de análise granulométrica foram organizados, primeiramente em caderno de campo, depois transcritos para uma planilha do *software Microsoft Excel®* para separação das variáveis granulométricas (Massa da amostra, Areia Total, Areia Fina, Areia Grossa, Argila, Silte).

O fator de erodibilidade (K) foi obtido para cada ponto de coleta mediante a aplicação da equação de Bouyoucos aos dados de granulometria do solo. Para a aplicação da EUPS, optou-se por homogeneizar este parâmetro por classe de solo, conforme prática comum em estudos de erosão em mesoescala. Dessa forma, o valor de K adotado para a classe Latossolo Vermelho Distrófico corresponde à média aritmética dos valores calculados para as 69 amostras distribuídas nesta unidade pedológica.

#### *Valores utilizados para os fatores LS, C e P*

Os fatores topográfico, uso e manejo e práticas conservacionistas já foram devidamente descritos nas seções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 deste trabalho. Os valores do fator topográfico variaram de acordo com a declividade e o comprimento de rampa em cada unidade amostral e serão devidamente apresentados juntamente com os cálculos de perda de solo na seção de resultados e discussões. Os valores de C e P adotados, bem como as fontes de referência para estes valores estão detalhados no quadro 2, a seguir.

**Quadro 2** – Valores dos fatores C (cobertura e manejo) e P (práticas conservacionistas) adotados para os usos identificados em campo na BPCM

Uso da Terra	C	Fonte	P	Fonte
<i>Pastagem</i>	0,003	WISCHMEIER; SMITH (1978, p.32)	1	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)
<i>Campo sujo</i>	0,003	WISCHMEIER; SMITH (1978, p32)	1	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)
<i>Vegetação Nativa</i>	0,001	WISCHMEIER; SMITH (1978, p.33)	1	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)
<i>Eucalipto</i>	0,003	BACK (2023); PEREIRA (2006) e SILVA <i>et al.</i> (2016)	0,5	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)
<i>Solo Exposto/Plantio novo*</i>	0,17	WISCHMEIER; SMITH (1978, p.34)	0,5	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)
<i>Solo Exposto/Estrada</i>	1	(BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; NYHAN; LANE, 1986; WISCHMEIER; SMITH, 1978)	1	BERTONI; LOMBARDI NETO (2014)

Organização: Penteado (2025)

É importante ressaltar que a estratégia de adotar 1 - para ausência; e, 0,5 – para presença de práticas mecânicas destinadas à conservação do solo, advém da observação empírica resultante da IVER e da coleta de amostras de solo das estradas e do entorno, com base na adaptação da proposta de Bertoni e Lombardi Neto (2014).

*Densidade do solo e classe textural como fatores de avaliação complementar*

A análise da densidade do solo foi incorporada ao estudo como um parâmetro complementar de diagnóstico físico, dada sua reconhecida influência nos processos hidrológicos e erosivos (IBGE, 2015). Embora a densidade não integre o cálculo direto da perda de solo (A) da EUPS, a sua determinação pode colaborar com a interpretação dos cenários erosivos, uma vez que: valores elevados de densidade estão diretamente associados à redução da taxa de infiltração, potencializando o escoamento superficial; valores menores de densidade podem indicar solos menos compactados que favorecem a desagragação e o transporte de sedimentos pelas enxurradas (Kastridis, 2020; Lima Farias *et al.*, 2019).

A mensuração da densidade das amostras de solo coletadas foi realizada de acordo com o método do cilindro volumétrico, proposto por Almeida *et al.* (2017),

utilizando as 69 amostras de solo indeformadas, coletadas seguindo os procedimentos do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015), conforme descrito no item 4.2.4 deste trabalho.

Após a execução do procedimento de Almeida *et al.* (2017), aplicou-se a Equação 11 para determinação da densidade de cada amostra.

Equação 11

$$Ds = Ma/V \quad (11)$$

Em que:

$Ds$  = densidade do solo, em g/cm<sup>3</sup>.

$ma$  = massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante em g.

$V$  = volume do cilindro, em cm<sup>3</sup>.

Além da densidade, também foi realizada a avaliação da classe textural das amostras. Para a classificação textural, adotou-se o sistema proposto por Molina Júnior (2017) com base em Lemos; Santos (1996), o qual opera com percentagens e define 13 classes, utilizando-se para isso o Triângulo Textural. A aplicação prática desse sistema foi realizada por meio da ferramenta online ‘Triângulo Textural’, desenvolvida pelo professor João Quoos (IFSC).<sup>8</sup> A realização dessa caracterização, somada ao resultado da EUPS e aos valores de densidade, permitem avaliação mais assertiva sobre a compreensão dos processos erosivos presentes na bacia, uma vez que solos com predominância de areia (sobretudo areia fina) e pouco material ligante (argila) tendem a ser mais suscetíveis à erosão (Albuquerque *et al.*, 2015; Back, 2023; Oda, 1995; Pereira, 2006).

*Integração das variáveis e cálculo da perda de solo (A).*

Com todos os fatores determinados – Erosividade (R), Erodibilidade (K), Topografia (LS), Cobertura e Manejo do Solo (C) e Práticas conservacionistas (P) – procedeu-se o cálculo final da perda de solo média anual (A) em tonelada por hectare por ano (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) para cada Unidade Amostral. A aplicação consistiu na inserção dos valores obtidos para cada fator na Equação X (descrita no item 2.4.2) que representa a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em sua forma completa.

---

<sup>8</sup> FERRAMENTA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL. Desenvolvida por João Quoos (IFSC). Disponível em: [https://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura\\_solo/textura.html](https://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura_solo/textura.html) - acesso em Agosto de 2024.

Este cálculo foi replicado para cada um dos cenários de erosividade (EI – a partir das médias dos quantis e EI30 – meses representativos completos), permitindo a comparação da perda de solo estimada sob diferentes condições de precipitação para uma mesma UA e para as diferentes condições existentes entre as UAs.

#### **4.5- Estratégias de manejo para os cenários críticos avaliados**

A fase final desta pesquisa consiste na elaboração de diretrizes e estratégias de manejo para a mitigação dos processos erosivos e para os problemas identificados nas estradas rurais de leito natural da BHCM. A proposição dessas estratégias não é arbitrária, mas sim fundamentada em uma base metodológica que integra três fontes principais de informação: i) Os resultados da modelagem; ii) O diagnóstico de campo; iii) A literatura técnica especializada.

A descrição dos tópicos a seguir pretende elucidar a abordagem metodológica que será tomada para a adoção a partir de cada estratégia.

- i) Resultados da modelagem: Uso dos cenários de perda de solo (A) como indicador quantitativo para priorizar intervenções, direcionando ações para os locais e situações identificadas como mais críticas (combinações específicas de declividade, uso do solo, precipitação, por exemplo);
- ii) Diagnóstico de campo resultante da IVER: A partir desse diagnóstico como subsídio técnico para escolha do tipo de intervenção, avaliar os registros de problemas morfológicos (ravinhas, areiões, atoleiros, seção transversal e outras anotações) e das condições de uso e manejo da estrada e do entorno para propor as ações mais assertivas para cada contexto específico;
- iii) Literatura técnica especializada: As estratégias formuladas têm como base soluções de engenharia natural e manejo conservacionista já validadas e documentadas na literatura. Os trabalhos consultados abordam desde questões ligadas à avaliação dos problemas com recomendações de manejo (Carvalho, 2022; Eaton; Beaucham, 1992; Eaton; Gerard; Cate, 1987; Ferreira, 2004; Fontenele; Silva Júnior, 2006; Kuleno; Lera, 2020; Renestro, 2023; Ribeiro, 2016), à manutenção rotineira e o controle estrutural da erosão em estradas rurais não pavimentadas a partir de diretrizes ou de estudos de caso (BRASIL - MAPA, 2021; Casarin, 2008; Casarin; Oliveira, 2009; Dias Júnior; Palaro, 2014; Santos *et al.*, 2019).

A integração sistemática dessa triangulação metodológica – Resultado da modelagem, diagnóstico de campo e literatura – constitui, portanto, o método para elaboração da estrutura conceitual que unifique a compreensão dos processos de perda de solos, a partir de propostas contextualizadas e tecnicamente embasadas para a realidade avaliada por esta pesquisa para a Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda.

## 5 – Resultados e discussão

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação do fluxo metodológico delineado no início do capítulo 4, com o intuito de responder à hipótese central desta pesquisa: de que a perda de solos em estradas rurais de leito natural na Bacia do Córrego Moeda é influenciada pela interação entre erosividade das chuvas, declividade e práticas de manejo. A estrutura está organizada para, inicialmente, caracterizar o ambiente de estudo, o processo de delimitação das Unidades amostrais e os fatores condicionantes da erosão destacados da Equação Universal de Perda de Solos (fatores K, LS, C, P), para, em seguida, detalhar o regime de chuvas e a erosividade (fator R). Na sequência, integra-se esses fatores por meio da EUPS, quantificando os valores de perda de solo (A) para os diferentes cenários investigativos. Por fim, analisa-se a influência relativa de cada fator e propõem-se diretrizes de manejo com base nos cenários críticos identificados.

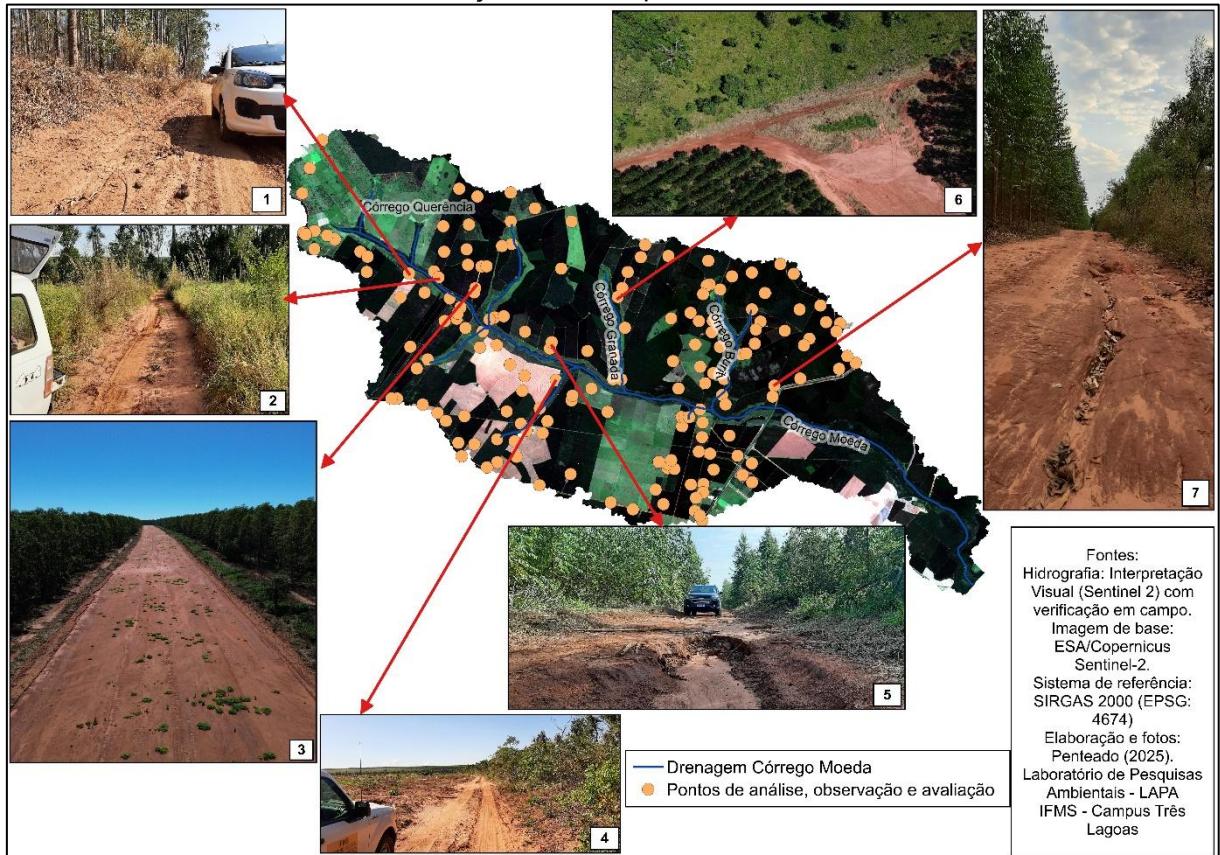
### **5.1- Identificação dos pontos críticos e definição de Unidades Amostrais (UAs) a partir da Inspeção Visual das Estradas por meio da Rodagem (IVER)**

Nesta seção, serão apresentados os pontos críticos observados durante a realização da IVER que permitiram que fosse realizada a escolha e demarcação das UAs dentro da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda para realização do processo de coleta de amostras de solo a fim de obter os fatores da EUPS.

#### *5.1.1- Delimitação das UAs a partir da IVER e delimitação dos pontos de coleta de amostras de solo.*

A Figura 18, representa a espacialização dos pontos de observação realizados durante a IVER com destaque para alguns elementos que contribuíram para demarcação das UAs.

**Figura 18** – Pontos de avaliação e análise anotados durante a IVER. 1- Estrada encaixada próximo à UA-4; 2- Estrada e entorno da UA-2; 3- Vista geral do aeroporto UA-3; 4- Estrada e entorno da UA-7; 5- Feições erosivas próximas à UA-12; 6- Material acumulado (areião/atoleiro) Aeroporto próximo UA-15; 7- Feições erosivas próximas à UA-21



Organização: Penteado (2025)

A realização da IVER permitiu a anotação de 173 pontos de análise, observação e avaliação das estradas e do entorno, além de criar parâmetros empíricos visuais para delimitação da rede de drenagem da bacia. Estes registros, que incluíram desde a desambiguação de feições em imagens de satélite a documentação de áreas críticas, foram fundamentais para a seleção estratégica das 23 Unidades Amostrais e seus 69 pontos de coleta de amostras de solo.

As feições erosivas documentadas pelas fotos presentes na Figura 18 – como estrada encaixada, areião/atoleiro, trechos de erosão em sulcos e vestígios de carreamento de material por erosão laminar – servem como evidência visual qualitativa da dinâmica erosiva ativa na bacia e do papel central das estradas rurais neste processo. Achados semelhantes de feições erosivas em estradas foram encontradas por (Casarin, 2008; Dias Júnior; Palaro, 2014; Lima Farias *et al.*, 2019). Considerando esses aspectos visíveis da paisagem, a seleção das UAs foi intencionalmente direcionada para locais como estes, onde a potencial perda de solos

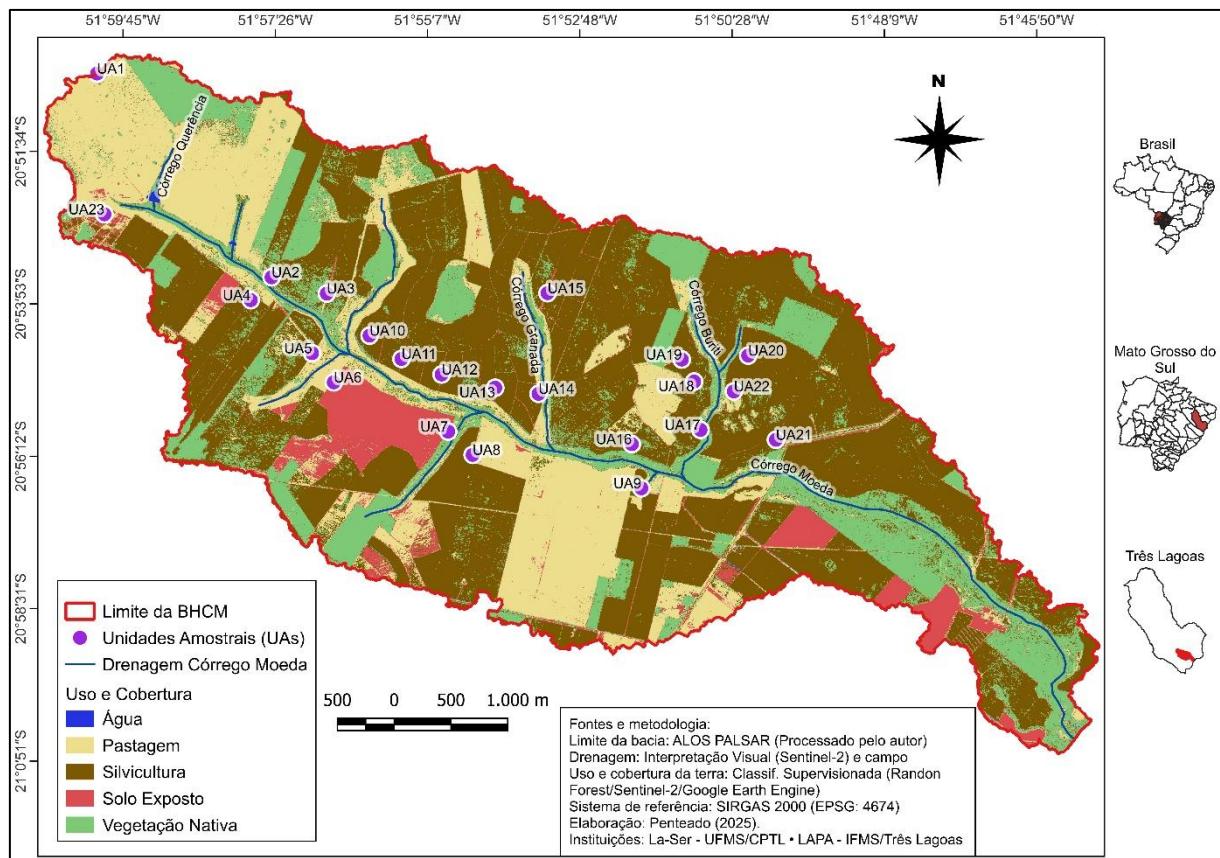
e o transporte de sedimentos para a rede de drenagem eram manifestamente aparentes. Dessa forma, a IVER cumpriu seu papel essencial de garantir que a amostragem subsequente fosse realizada em áreas representativas dos processos erosivos que esta pesquisa busca quantificar.

A uniformidade pedológica da bacia nas porções onde foi possível realizar a IVER, com predomínio do Latossolo Vermelho Distrófico (que padroniza o fator K como homogêneo para toda área de ocorrência deste tipo de solo) e a condição de solo exposto das estradas de leito natural (que padroniza C=P=1 para as estradas), permitiram que o estudo se concentrasse na investigação dos efeitos da erosividade das chuvas (R), da declividade (L), com eventual influência do uso, manejo e práticas mecânicas (C e P) do entorno sobre a perda de solo em um sistema já identificado visualmente como crítico.

## **5.2- Contextualização das Unidades Amostrais na paisagem da área de estudo**

A localização das 23 Unidades Amostrais no contexto da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda é apresentada nos mapas das Figuras 19, 20, 21, 22 e 23. A sobreposição dos pontos de amostragem aos mapas temáticos demonstra que a seleção realizada por meio da IVER buscou capturar a diversidade de cenários existentes dentro do quadro natural da bacia. As UAs foram estrategicamente distribuídas para representar a variabilidade de uso e cobertura (Figura 19) com boa distribuição espacial nas áreas acessíveis para rodagem e coleta de material na bacia, visando especialmente situações previamente identificadas como críticas para erosão. Desta forma, a amostragem garante a investigação de cenários e a simulação de perdas de solo sob diferentes condições de manejo do entorno e de declividade, que se configuram entre os principais fatores de controle, depois da erosividade das chuvas (R).

**Figura 19 – Localização das Unidades Amostrais no Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – 2023**



**Organização:** Penteado (2025)

O mapa da Figura 19 foi gerado a partir de classificação supervisionada com o classificador Random Forest na plataforma do Google Earth Engine (GEE). Para tanto, utilizou-se uma composição de imagens Sentinel-2 do período de abril a setembro de 2023, com treinamento e validação baseados em 1178 pontos de amostragem estratificada. A coleta desses pontos combinou interpretação visual da imagem com o conhecimento do uso e cobertura da terra obtido durante as inspeções de campo (IVER). A nomenclatura e a paleta de cores foram adaptadas da coleção 10 do MAPBiomas, sendo a classe ‘Vegetação Nativa’ correspondente à ‘Formação Savânicas’ do referido projeto. O produto final, com acurácia global de 98,43% (índice Kappa de 0,98), evidencia o domínio da silvicultura na bacia, que ocupa 51,41% da área total (Tabela 3). A pastagem (21,63%) e a vegetação nativa (20,15%) compõem a maior parte do restante da paisagem, enquanto o solo exposto (6,67%) está majoritariamente associado às áreas de preparo para o plantio de eucalipto.

**Tabela 3** – Áreas de cada classe de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – 2023

	Área (ha)	%
<b>Vegetação Nativa</b>	5031	20,15
<b>Água</b>	34	0,14
<b>Pastagem</b>	5402	21,63
<b>Silvicultura</b>	12837	51,41
<b>Solo exposto</b>	1665	6,67
<b>Total</b>	24969	100,00

**Organização:** Penteado (2025)

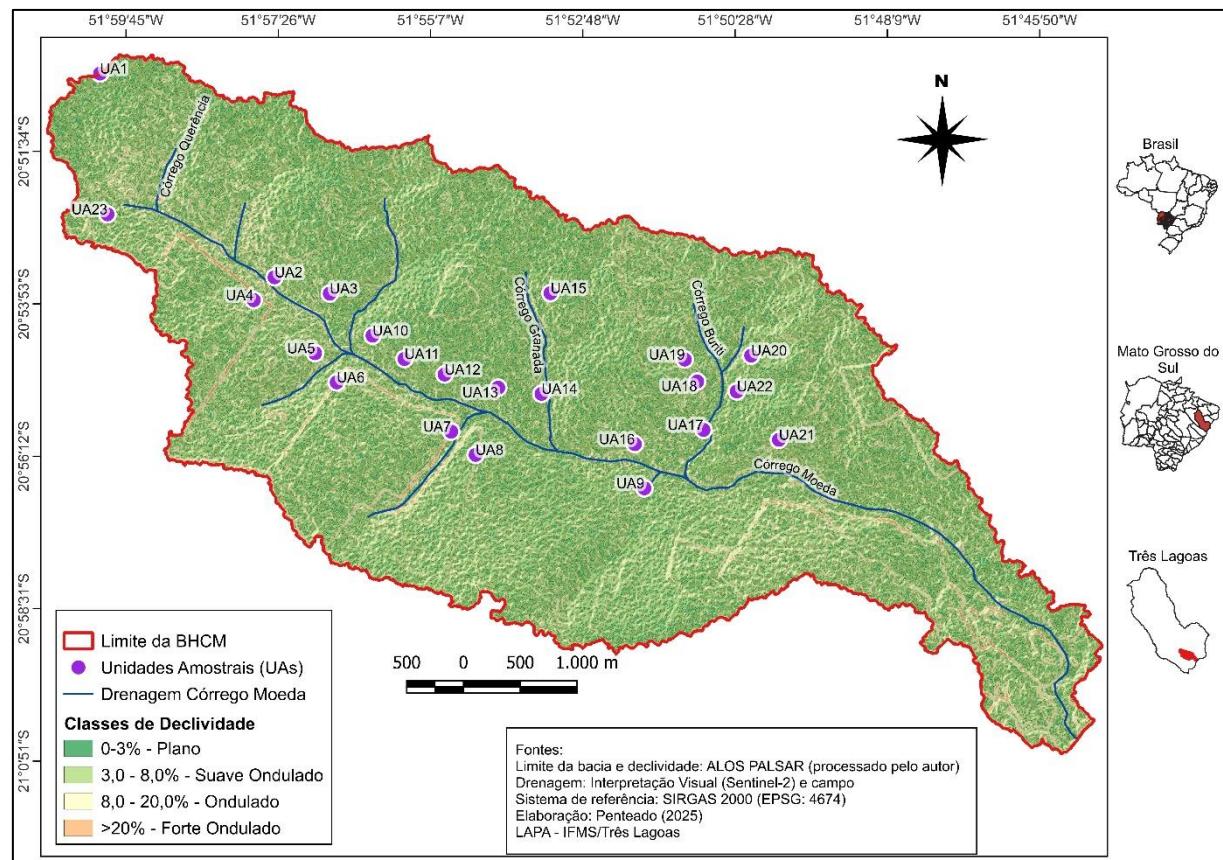
A comparação com os mapeamentos de Silva (2013) para o período de 1990 a 2011 confirma a consolidação e expansão da silvicultura como atividade predominante, em detrimento das áreas de pastagem e vegetação nativa. Este cenário histórico de intensificação do uso do solo tem relevância direta para o processo de compreensão dos fatores potencializadores da perda de solos na bacia.

Diante desse contexto, a consolidação de estradas rurais de leito natural com manejo precário, seu consequente aumento de tráfego e expansão da rede de estradas de talhão, atuam como severos potencializadores da erosão, conforme visivelmente registrado durante a IVER. É justamente sobre essa rede de estradas que as Unidades Amostrais do presente estudo foram delimitadas com objetivo de quantificar, por meio da modelagem com a EUPS, a perda de solo associada a esses elementos da paisagem da BHCM.

Uma vez traçada a contextualização de uso e cobertura, parte-se para os demais aspectos da base física das áreas onde as UAs estão inseridas. As próximas figuras e mapas buscam trazer à tona esse contexto.

A Figura 20 traz a sobreposição das UAs no mapa de declividade da bacia.

**Figura 20** – Localização das Unidades Amostrais no Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



**Organização:** Penteado (2025)

O mapa de declividade (Figura 20) confirma visualmente o relevo predominantemente plano a suave ondulado da bacia, conforme observado por Gomes (2016); Medeiros (2016); Silva (2013). No entanto, a mensuração em campo do fator topográfico (LS) nas 23 UAs (Tabela 4) revela variações locais críticas. Embora a bacia seja majoritariamente plana, os valores de LS variaram de 0,01 a 0,66 – uma amplitude de mais de 60 vezes. Esta variação, que reflete sobretudo as diferenças de declividade (0,07% a 4,37%) em trechos homogêneos de comprimento de rampa, é suficiente para exercer uma influência decisiva no processo de perda de solos, como será demonstrado pela modelagem.

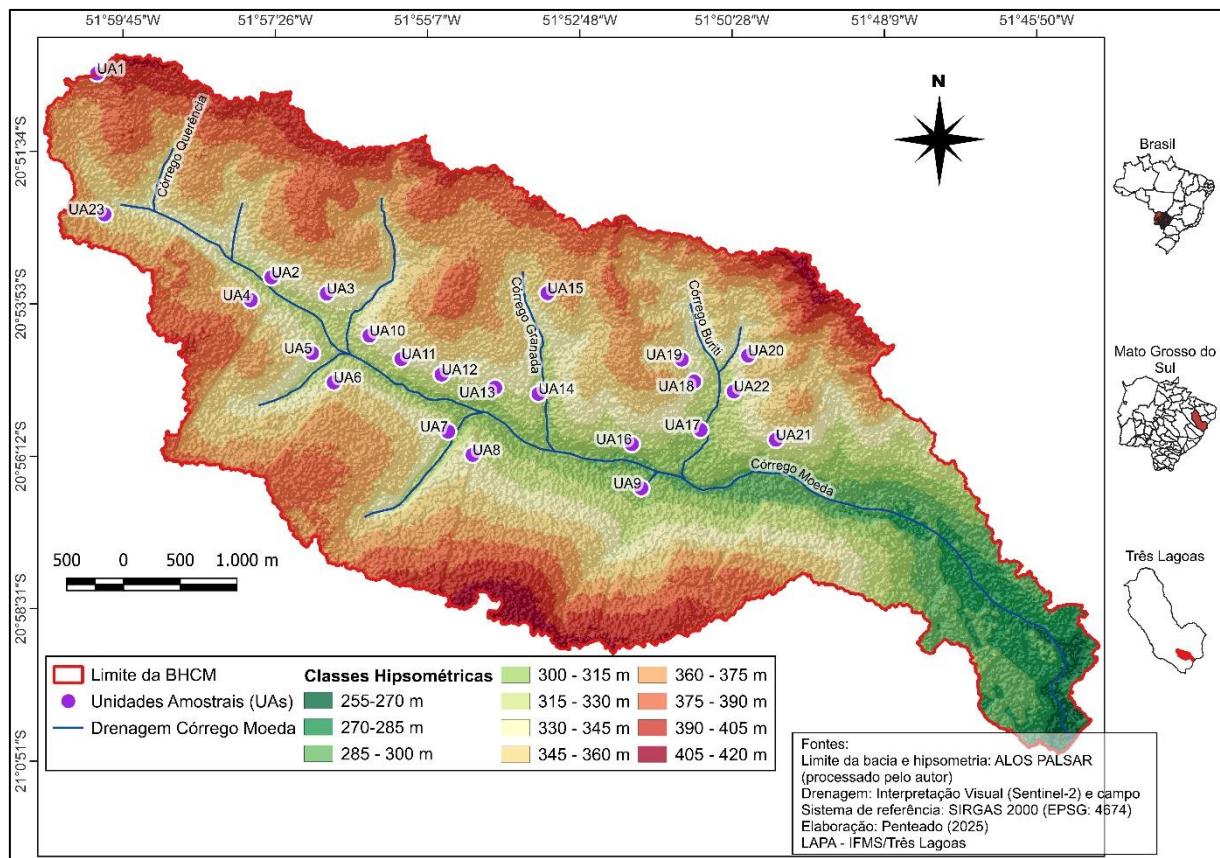
**Tabela 4** – Declividade percentual, Comprimento de rampa e Fator topográfico LS das Unidades Amostrais delimitadas na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda

UA	L (m)	S (%)	LS
1	60	0,67	0,08
2	50	0,70	0,08
3	10	2,73	0,14
4	50	2,68	0,37
5	50	0,07	0,01
6	50	0,37	0,04
7	50	1,07	0,13
8	50	1,23	0,15
9	50	0,20	0,02
10	50	2,83	0,39
11	50	1,07	0,13
12	50	2,37	0,32
13	50	1,83	0,24
14	50	2,40	0,33
15	10	0,97	0,04
16	50	3,20	0,46
17	50	1,47	0,18
18	50	3,77	0,55
19	50	2,73	0,38
20	50	4,07	0,61
21	50	4,37	0,66
22	50	3,20	0,46
23	50	3,20	0,46

Organização: Penteado (2025)

A localização das UAs no mapa hipsométrico da BHCM (Figura 21), também é um componente visual que corrobora com a fundamentação do processo de escolha das UAs.

**Figura 21** – Localização das Unidades Amostrais no Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda

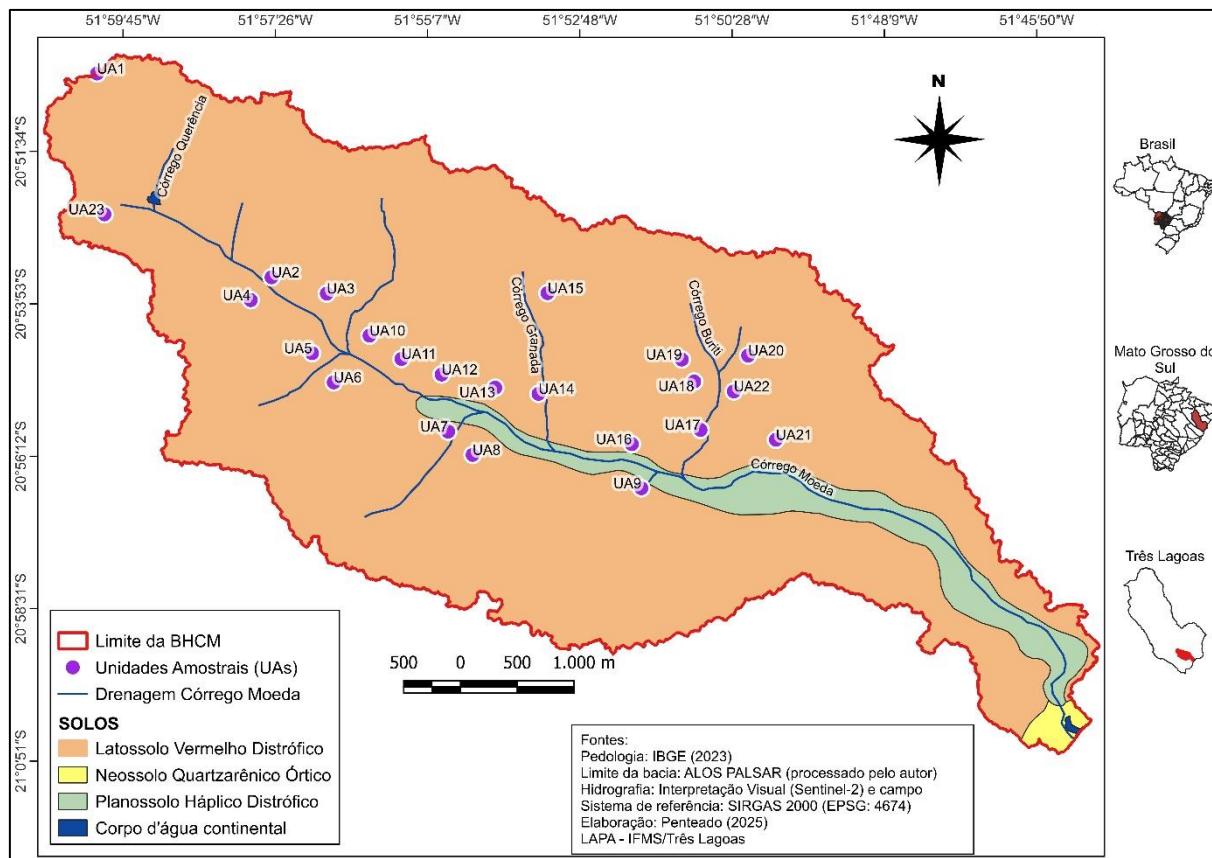


**Organização:** Penteado (2025)

A Figura 21 colabora com a percepção de que a distribuição das UAs em campo está na faixa média de 340 metros – valor médio das anotações com receptor GNSS. Vale ressaltar que ao realizar o processo de escolha das áreas que seriam Unidades Amostrais para coleta de amostras de solo e anotação parâmetros dos demais fatores da EUPS, foi possível perceber que os trechos de estrada que apresentavam homogeneidade de problemas visíveis relacionados à erosão (buracos, sulcos, erosão laminar, entre outros) se encontravam sempre próximos à cota média de altitude, contribuindo para o estabelecimento da maioria das UAs próximo a essas cotas.

A distribuição das UAs no mapa de pedologia da BHCM (Figura 22), confirma que o processo de obtenção dos fatores da EUPS, sobretudo a coleta de amostras de solo, foi realizada integralmente nas áreas identificadas como Latossolo Vermelho Distrófico da bacia, justificando a padronização dos valores de K, já mencionada em seções anteriores.

**Figura 22 – Localização das Unidades Amostrais no Mapa de Pedologia da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda**

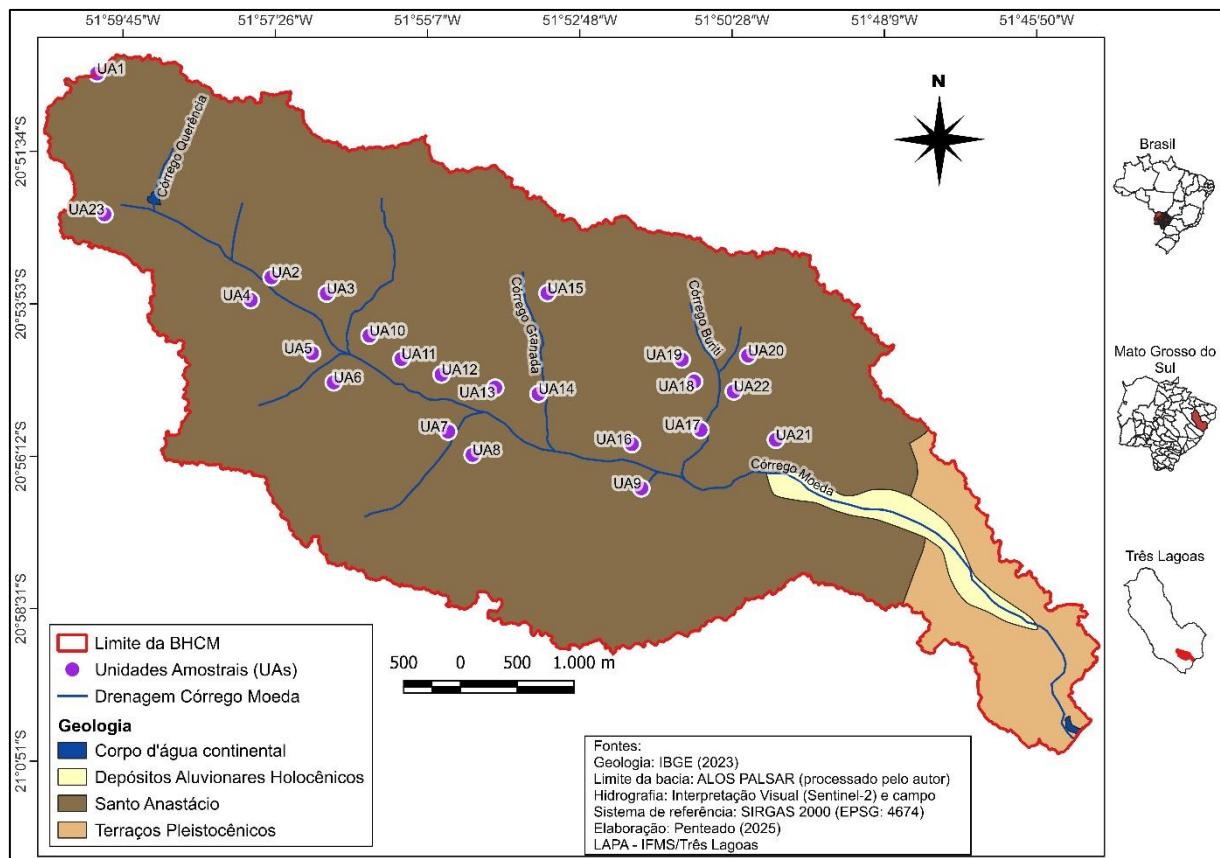


**Organização:** Penteado (2025)

A análise das 69 amostras de solo coletadas nas UAs revelou que, embora o valor de erodibilidade (K) tenha variado, a característica predominante é a alta susceptibilidade à erosão: 76,8% dos pontos amostrais foram classificados com propensão ‘Extremamente Alta’ à erodibilidade ( $K>0,06$ ) segundo parâmetros de classificação apresentados por Castro *et al.* (2011); Lima *et al.* (2021); Mannigel *et al.* (2008). Esta baixa variabilidade relativa em torno de uma condição de fundo já crítica, valida a adoção de um valor médio de K (0,07) para a modelagem, permitindo isolar este fator e concentrar a análise da influência da erosividade das chuvas (R), topografia (LS) e manejo (C,P).

A origem dessa condição pedológica homogênea e erosiva está na geologia da bacia, dominada pela Formação Santo Anastácio em todo alto e médio curso da bacia (Figura 23). Segundo Medeiros (2016), esta unidade é composta predominantemente por areia fina e silte grosso, características que se refletem na gênese dos solos profundos e homogêneos da área de estudo onde estão localizadas as UAs.

**Figura 23 – Localização das Unidades Amostrais no Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda**



**Organização:** Penteado (2025)

Portanto, a sobreposição das Unidades Amostrais aos mapas temáticos de uso da terra, declividade, hipsometria, pedologia e geologia não apenas valida a estratégia amostral como desenha um quadro ambiental da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda. Individualmente, cada mapa contextualiza a paisagem; em conjunto, eles revelam os fundamentos de um sistema onde a perda de solo é uma potencialidade inerente, influenciada pela interação dos fatores. A síntese a seguir busca integrar esses elementos com os dados analíticos de textura e densidade do solo para consolidar essa premissa antes da aplicação da modelagem.

#### 5.2.1- Síntese integrada dos condicionantes da perda de solo

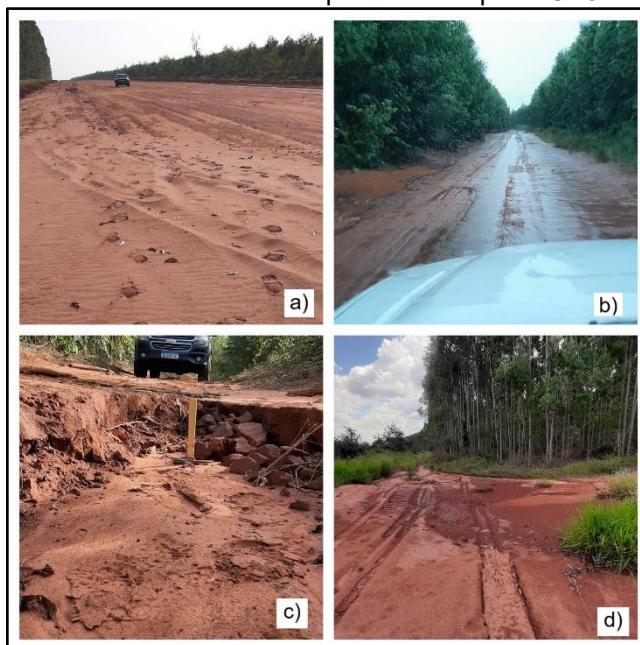
A integração dos mapas temáticos e dos dados de campo coletados permite uma compreensão abrangente dos condicionantes da paisagem que regulam a perda de solo na BHCM. O contexto é de uma paisagem antropizada pelos diferentes usos

da terra, especialmente a silvicultura de eucalipto, cortada por uma rede de estradas de manejo precário, e assentada sobre um substrato geológico-pedológico notavelmente homogêneo e favorável à erosão.

Os resultados das análises granulométricas das 69 amostras de solo corroboram essa condição, revelando a predominância de texturas arenosas: 62,3% das amostras foram classificadas como 'areia franca', 34,8% como 'franco-arenosa' e 2,9% como 'franco argilo-arenosa', mantendo-se, portanto, todas dentro de classes de texturas com altos teores de areia (acima de 70%). Esta composição herdada dos sedimentos arenosos da Formação Santo Anastácio, é o fator intrínseco chave para a alta erodibilidade (K) constatada na bacia.

Conforme apresentado por Albuquerque *et al.* (2015); Back (2023); Pereira (2006), solos com maior de teor de areia possuem menor coesão e são mais suscetíveis à desagregação. As feições erosivas e o grande volume de material acumulado nas partes mais baixas do relevo da malha viária (sobretudo próximas aos córregos) documentadas durante a IVER e as coletas de solo (Figura 24), são a manifestação visível desta condição pedológica intrínseca da paisagem.

**Figura 24** – Feições erosivas documentadas durante a IVER e as coletas de solo. a) Material acumulado ao final da pista do aeroporto UA15; b) material acumulado à margem da pista e água acumulada sobre a pista próximo da UA1; c) Feição erosiva no final da estrada da UA12; d) Material acumulado ao final da pista do aeroporto UA3



**Fonte:** Penteado (2023)

Este potencial erosivo evidenciado pela textura é intensificado pela condiçãoposta ao estado físico do solo no leito de rodagem das estradas. A análise da densidade do solo demonstrou que, em todas as 23 UAs, os valores medidos na pista foram sempre superiores aos das margens, com uma densidade média de 1,89g/cm<sup>3</sup> para as estradas contra 1,68g/cm<sup>3</sup> para as margens. Esta diferença de valores é um indicador direto da compactação causada pelo tráfego e pelas táticas de manejo mecânico, reduzindo a infiltração e potencializando o escoamento superficial.

Diante desse quadro – onde os fatores intrínsecos (K, textura) e antrópicos (compactação, C e P das estradas) se mostram homogêneos e críticos -, a modelagem com a EUPS concentra-se, portanto, em quantificar como as variações na energia do agente erosivo (erosividade – R) e nas variações locais de declividade (LS) atuam sobre este sistema já potencialmente instável, contribuindo para a perda de solo nas estradas rurais de leito natural da bacia.

### **5.3- Dinâmica pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda e delimitação dos valores de erosividade das chuvas (Fator R)**

Esta seção caracteriza o agende dinamizador da erosão hídrica por meio de uma análise integrada da precipitação e da erosividade, estruturada em quatro etapas principais, são elas: Cálculo da erosividade média a partir dos dados históricos; Caracterização das precipitações em quantis e definição de cenários pluviométricos; Contextualização dos dados de Alta resolução temporal de 2023 nos quantis; Cálculo do EI30 a partir dos dados de alta resolução temporal. Esta abordagem multidimensional fornece uma base para o estabelecimento de diferentes cenários de R, abrangendo desde médias históricas até valores específicos de alta resolução temporal para aplicação na EUPS.

#### *5.3.1- Cálculo da erosividade média anual a partir dos dados históricos de precipitação da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda*

A obtenção dos valores das médias mensais de precipitação da BHCM foi obtida a partir da soma dos totais mensais acumulados em cada mês da série histórica e sua posterior divisão pela quantidade de anos (35). O resultado desse cálculo está expresso na Tabela 5.

**Tabela 5** – Média do acumulado das precipitações mensais (1983-2017) e média histórica mensal

	P <sub>med*</sub> (mm)
<b>Jan</b>	226,84
<b>Fev</b>	183,23
<b>Mar</b>	157,65
<b>Abr</b>	89,32
<b>Mai</b>	61,30
<b>Jun</b>	28,46
<b>Jul</b>	19,14
<b>Ago</b>	25,22
<b>Set</b>	71,39
<b>Out</b>	98,58
<b>Nov</b>	150,32
<b>Dez</b>	185,10
<b>Média</b>	108,05

\*Pmed – Precipitação média mensal da série histórica

**Fonte:** Fibria/Suzano. **Organização:** Penteado (2025)

Os valores médios mensais da série histórica servem de base para aplicação direta na Equação 4 de Bertoni e Lombardi Neto (2014) para obtenção dos valores de erosividade média mensal ( $r$ ).

A Tabela 6, por sua vez, traz os valores de precipitação anual acumulada ao longo da série histórica e a média desses valores (soma da precipitação acumulada de cada ano dividida pelo total de anos).

**Tabela 6** – Acumulado das precipitações anuais (1983-2017) e média histórica anual

Ano	P <sub>acum</sub> * (mm)	Ano	P <sub>acum</sub> * (mm)
<b>1983</b>	1318,1	<b>2001</b>	1273,1
<b>1984</b>	1239,2	<b>2002</b>	1079,9
<b>1985</b>	1076,4	<b>2003</b>	1230,5
<b>1986</b>	1365,4	<b>2004</b>	1047,2
<b>1987</b>	1381,7	<b>2005</b>	1425,2
<b>1988</b>	1336,4	<b>2006</b>	1542,6
<b>1989</b>	1592,3	<b>2007</b>	1299,1
<b>1990</b>	1300,5	<b>2008</b>	1560,5
<b>1991</b>	978,9	<b>2009</b>	1613,7
<b>1992</b>	1192,1	<b>2010</b>	1209,9
<b>1993</b>	1131,2	<b>2011</b>	1351,7
<b>1994</b>	1245,3	<b>2012</b>	1197,1
<b>1995</b>	1372,6	<b>2013</b>	935,0
<b>1996</b>	1359,4	<b>2014</b>	1060,7
<b>1997</b>	1683,2	<b>2015</b>	1478,3
<b>1998</b>	1524,5	<b>2016</b>	1157,5
<b>1999</b>	1179,0	<b>2017</b>	1242,8
<b>2000</b>	1398,7	<b>Média</b>	1296,6

\*Pacum – Precipitação acumulada em cada ano da série histórica

**Fonte:** Fibria/Suzano. **Organização:** Penteado (2025)

O valor da média histórica anual (Normal Climatológica da precipitação anual), expresso na tabela, serve para aplicação direta na Equação 4 de Bertoni e Lombardi Neto (2014) e estabelece o valor P padrão para todas as simulações de cenários apresentados neste estudo.

A etapa seguinte à obtenção das médias de precipitação, é a aplicação dos resultados na Equação 4 de Bertoni e Lombardi Neto (2014) para obtenção dos valores de erosividade média mensal (EI). O índice de erosão médio anual, Fator R, corresponde à soma de todos os valores de EI obtidos com a aplicação da equação. Para os dados da BHC, a síntese da aplicação da equação 4 aos valores médios de precipitação obtidos está expresso na Tabela 7, a seguir.

**Tabela 7** – Valores do Índice de Erosividade (EI) – Fator R – com base nas médias mensal e anual de precipitações (1983-2017) da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda

	$P_{med}^*$ mensal	$P_{med}^*$ anual	$EI=67,355(r^2/P)^{0,85}$
<b>Jan</b>	226,84	1296,56	1538,96
<b>Fev</b>	183,23	1296,56	1070,52
<b>Mar</b>	157,65	1296,56	829,08
<b>Abr</b>	89,32	1296,56	315,55
<b>Mai</b>	61,3	1296,56	166,39
<b>Jun</b>	28,46	1296,56	45,15
<b>Jul</b>	19,14	1296,56	23,01
<b>Ago</b>	25,22	1296,56	36,78
<b>Set</b>	71,39	1296,56	215,61
<b>Out</b>	98,58	1296,56	373,22
<b>Nov</b>	150,32	1296,56	764,56
<b>Dez</b>	185,1	1296,56	1089,15
<b>Fator R</b>		<b>6467,99</b>	

\* $P_{med}$  – Precipitação média.

**Fonte:** Fibria/Suzano. **Organização:** Penteado (2025)

O valor obtido para o Fator R a partir da metodologia proposta por Bertoni; Lombardi Neto (2014) – 6467,99 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> – é bastante próximo dos valores médios de erosividade encontrados na literatura que discute a temática para o estado de Mato Grosso do Sul e para Três Lagoas (Medeiros, 2016; Rebucci *et al.*, 2009; Santa'Anna Neto, 1995). Este valor de R, derivado da média histórica das precipitações, representa um cenário de referência para a bacia. A análise a seguir, confirma que esta média anual faz parte de um conjunto de dados homogêneo e sem tendência, nem mudanças significativas, além de estar enquadrada dentro da classe Normal dos quantis anuais.

### 5.3.2- Caracterização das precipitações em quantis e definição de cenários pluviométricos baseados nos quantis para o cálculo da erosividade

Esta subseção se divide em quatro tópicos: caracterização das precipitações anuais segundo a técnica dos quantis; avaliação da homogeneidade, tendências e mudanças abruptas; caracterização das precipitações mensais segundo a técnica dos quantis; e, por fim, definição de cenários pluviométricos baseados nos quantis para o cálculo da erosividade.

*Caracterização das precipitações anuais segundo a técnica dos quantis*

A classificação da série histórica anual (1983-2017) por meio de quantis resultou na definição de cinco cenários pluviométricos, cujos limites e distribuição são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Enquadramento das precipitações da série histórica (1983-2017) nas classes de quantil anual.

1077,8	$\leq$	<b>Muito Seco</b>		
1077,8	<	<b>Seco</b>	$\leq$	1222,4
1222,4	<	<b>Normal</b>	$\leq$	1362,5
1362,5	<	<b>Chuvoso</b>	$\leq$	1553,6
		<b>Muito Chuvoso</b>	>	1553,6

**Fonte:** Fibria/Suzano. **Organização:** Penteado (2025)

Considerando a delimitação dos intervalos de precipitação de cada classe, a Tabela 9 caracteriza, a partir do mesmo esquema de cores da tabela que a antecede, a ocorrência de cada classe ao longo da série histórica.

**Tabela 9** – Caracterização das precipitações (1983-2017) da BHCM de acordo com as classes: Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso

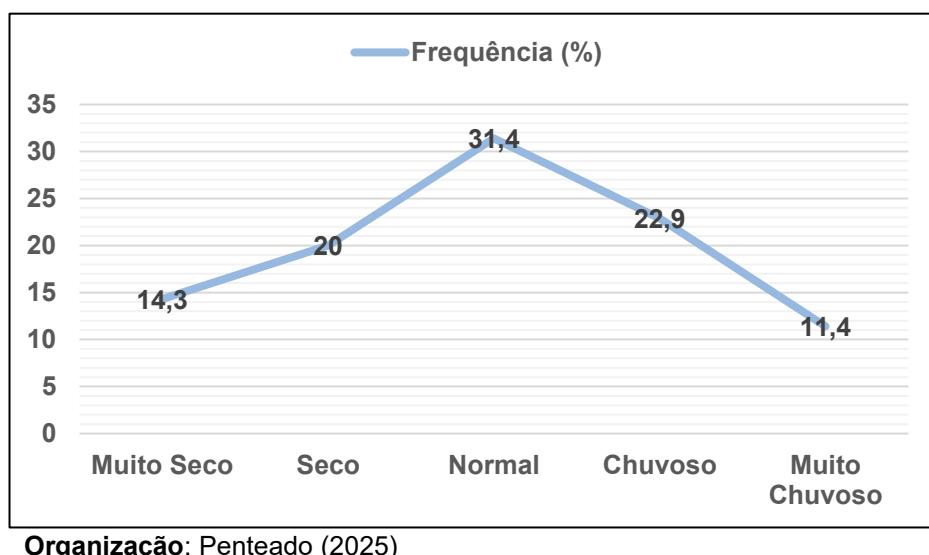
Anos	P (mm)	Anos	P (mm)	Anos	P (mm)	Legenda
2013	934,97	2003	1230,50	1995	1372,60	<b>Muito Seco</b>
1991	978,90	1984	1239,20	1987	1381,70	<b>Seco</b>
2004	1047,20	2017	1242,80	2000	1398,70	<b>Normal</b>
2014	1060,70	1994	1245,30	2005	1425,20	<b>Chuvoso</b>
1985	1076,40	2001	1273,10	2015	1478,30	<b>Muito Chuvoso</b>
2002	1079,90	2007	1299,10	1998	1524,50	
1993	1131,20	1990	1300,50	2006	1542,60	
2016	1157,50	1983	1318,10	2008	1560,50	
1999	1179,00	1988	1336,40	1989	1592,30	
1992	1192,10	2011	1351,50	2009	1613,70	
2012	1197,10	1996	1359,40	1997	1683,20	
2010	1209,90	1986	1365,40			

**Fonte:** Fibria/Suzano. **Organização:** Penteado (2025)

A distribuição percentual dos anos entre as classes de precipitação (Figura 24) mostrou-se bastante aderente à distribuição teórica esperada pela técnica dos quantis. Segundo Monteiro; Rocha; Zanella (2012) e Xavier; Ambrizi; Silva (2017), a distribuição normal para um conjunto de dados de 30 anos estaria disposta com cerca

de 15% dos dados em cada uma das classes extremas (Muito Seco e Muito Chuvoso), 20% dos dados em cada uma das classes intermediárias (Seco e Chuvoso) e 30% na classe Normal. A Figura 25 a seguir demonstra que os resultados do conjunto de dados validam a aplicação do método para a série em análise.

**Figura 25** - Percentual de ocorrência de anos Muito Secos, Secos, Normais, Chuvosos e Muito Chuvosos – BHCM 1983 a 2017



*Avaliação da homogeneidade, tendências e mudanças abruptas das precipitações anuais*

A robustez da série histórica como base para a análise de cenários foi confirmada por testes estatísticos (Tabela 10). Conforme publicado por Penteado; Porangaba (2025), os testes de Mann-Kendall, Pettitt e Buishand indicam, respectivamente ausência de tendência significativa, ausência de mudanças abruptas e homogeneidade na série de precipitação anual.

**Tabela 10** – Resultados da aplicação dos Testes de Mann-Kendall, Pettitt e Buishand aos acumulados anuais de precipitação

Teste	Estatística	p-value	Conclusão
Mann-Kendall	T = -0,042	0,7332	Sem tendência significativa
Pettitt	U = 84	0,7658	Sem mudança abrupta
Buishand	U = 0,079	0,7214	Série homogênea

Fonte: PENTEADO; PORANGABA (2025)

O valor da média histórica anual – 1296,56 mm – situa-se consistentemente dentro do intervalo da classe Normal (1222,4 – 1362,5 mm). Esta concordância entre

a média (Normal Climatológica) e a classificação quantílica reforça a confiabilidade do valor de precipitação média anual com um cenário de referência Normal para os cálculos subsequentes de erosividade.

#### *Caracterização das precipitações mensais segundo a técnica dos quantis*

A aplicação da técnica dos quantis aos dados mensais, detalhada por Penteado; Porangaba (2025), permitiu estabelecer os limiares de precipitação para cada mês e cenários de erosividade. As tabelas e gráficos que se seguem representam esse processo de caracterização. Todos os dados e análises subsequentes constam no material publicado por Penteado; Porangaba (2025).

A classificação da série histórica mensal (1983-2017) por meio de quantis resultou na definição de cinco cenários pluviométricos para cada mês, cujos limites e distribuição são apresentados na Tabela 11.

A análise detalhada dos dados da tabela permite perceber que as chuvas se concentram, predominantemente, durante cinco meses (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março), há dois meses de transição (abril e outubro) e cinco meses correspondentes à estação seca (maio, junho, julho, agosto e setembro). Vale destacar que “essas nuances só podem ser percebidas claramente a partir da análise mensal, pois os meses de transição podem ficar escondidos em análises sazonais e desaparecer em análises anuais” (PENTEADO; PORANGABA, 2025).

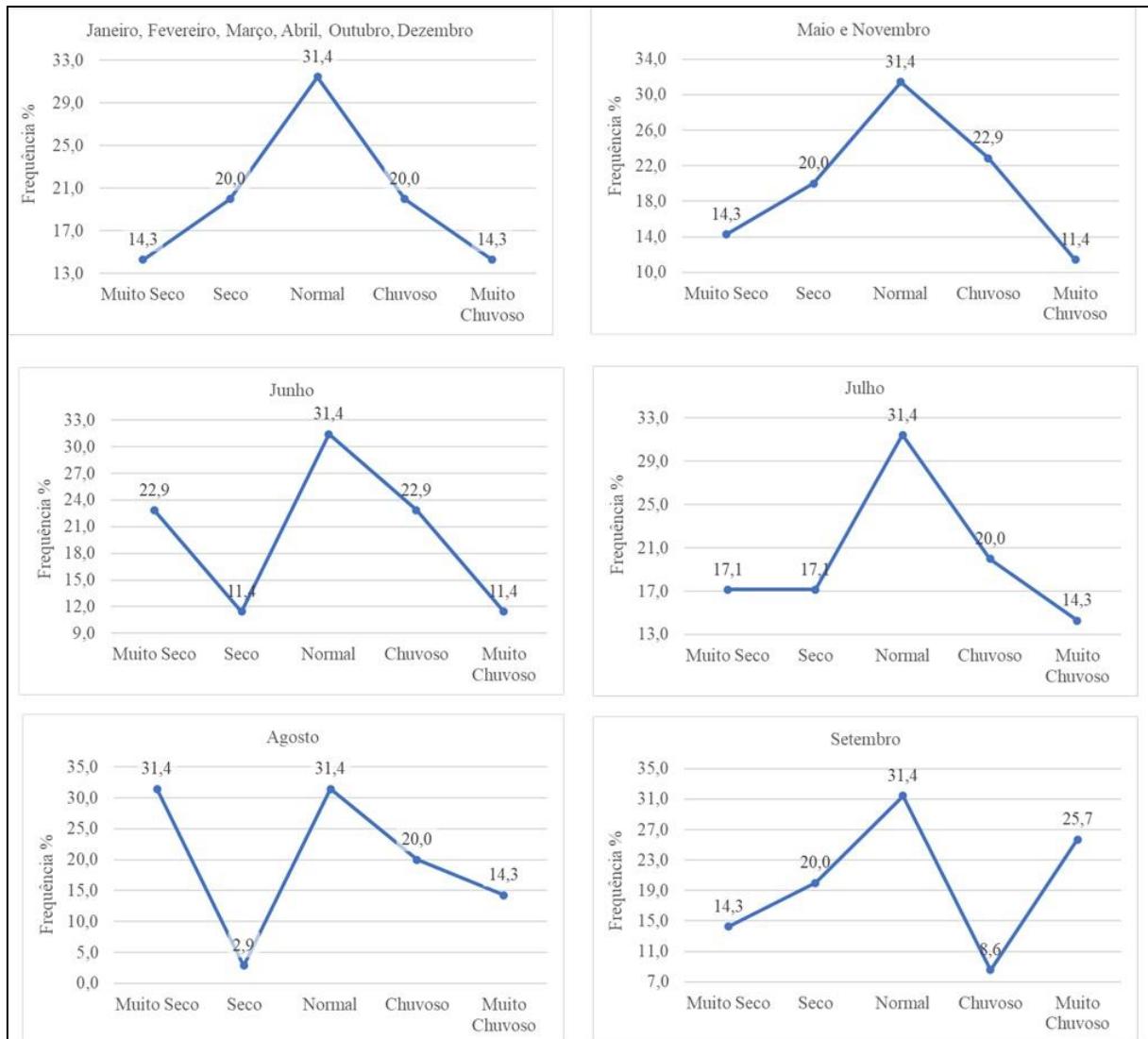
**Tabela 11** – Intervalos de precipitação mensal (mm) por classe climática (Muito Seco a Muito Chuvoso) na série histórica (1983-2017), Três Lagoas – MS

		JANEIRO		FEVEREIRO			
123,4	≤	Muito Seco		79,4	≤	Muito Seco	
123,4	<	Seco	≤ 151,9	79,4	<	Seco	≤ 143,0
151,9	<	Normal	≤ 249,3	143,0	<	Normal	≤ 211,5
249,3	<	Chuvoso	≤ 347,1	211,5	<	Chuvoso	≤ 258,2
		Muito Chuvoso	> 347,1			Muito Chuvoso	> 258,2
		MARÇO		ABRIL			
76,9	≤	Muito Seco		39,8	≤	Muito Seco	
76,9	<	Seco	≤ 117,0	39,8	<	Seco	≤ 69,7
117,0	<	Normal	≤ 181,2	69,7	<	Normal	≤ 97,1
181,2	<	Chuvoso	≤ 220,6	97,1	<	Chuvoso	≤ 127,4
		Muito Chuvoso	> 220,6			Muito Chuvoso	> 127,4
		MAIO		JUNHO			
22,8	≤	Muito Seco		0,0	≤	Muito Seco	
22,8	<	Seco	≤ 36,7	0,0	<	Seco	≤ 5,0
36,7	<	Normal	≤ 71,4	5,0	<	Normal	≤ 26,9
71,4	<	Chuvoso	≤ 96,8	26,9	<	Chuvoso	≤ 63,6
		Muito Chuvoso	> 96,8			Muito Chuvoso	> 63,6
		JULHO		AGOSTO			
0,0	≤	Muito Seco		0,0	≤	Muito Seco	
0,0	<	Seco	≤ 7,6	0,0	<	Seco	≤ 1,0
7,6	<	Normal	≤ 18,6	1,0	<	Normal	≤ 20,1
18,6	<	Chuvoso	≤ 38,1	20,1	<	Chuvoso	≤ 64,2
		Muito Chuvoso	> 38,1			Muito Chuvoso	> 64,2
		SETEMBRO		OUTUBRO			
14,4	≤	Muito Seco		26,6	≤	Muito Seco	
14,4	<	Seco	≤ 44,4	26,6	<	Seco	≤ 75,8
44,4	<	Normal	≤ 90,1	75,8	<	Normal	≤ 119,5
90,1	<	Chuvoso	≤ 102,4	119,5	<	Chuvoso	≤ 155,7
		Muito Chuvoso	> 102,4			Muito Chuvoso	> 155,7
		NOVEMBRO		DEZEMBRO			
74,5	≤	Muito Seco		89,5	≤	Muito Seco	
74,5	<	Seco	≤ 120,7	89,5	<	Seco	≤ 159,5
120,7	<	Normal	≤ 165,9	159,5	<	Normal	≤ 211,3
165,9	<	Chuvoso	≤ 236,9	211,3	<	Chuvoso	≤ 282,5
		Muito Chuvoso	> 236,9			Muito Chuvoso	> 282,5

Fonte: PENTEADO; PORANGABA (2025)

A Figura 26 ilustra a distribuição das frequências das precipitações por classes de quantil para cada conjunto de meses com comportamento homogêneo ou para cada mês com comportamento fora do padrão previsto pela literatura citada no tópico anterior sobre o mesmo tema.

**Figura 26 – Frequência de ocorrência das classes – Três Lagoas – MS – 1983-2017**



**Fonte:** PENTEADO; PORANGABA (2025)

Conforme detalhado em Penteado; Porangaba (2025), a análise de frequência mensal (Figura 26) revela que, para a maioria dos meses (como janeiro, fevereiro, março, outubro e dezembro), a distribuição das classes segue o padrão esperado para a técnica dos quantis, com a classe Normal sendo a mais frequente (32,4% dos dados). No entanto, a análise também expõe a heterogeneidade do regime – típica do clima Aw –, com meses como agosto – onde a classe Muito Seco responde por 31,4%

das ocorrências – e setembro – com Muito Chuvoso atingindo 25,7% - desviando-se significativamente do padrão teórico. Esta variabilidade interanual acentuada em meses críticos corrobora a necessidade de uma abordagem que vá além de um único valor médio mensal.

É justamente para capturar essa complexidade – a forte sazonalidade intra-anual e a significativa variabilidade interanual, visualmente evidente na Tabela 12 – que a estratégia metodológica adotada calcula a média de precipitação para cada uma das cinco classes de quantis, em cada um dos doze meses. Dessa forma, obtém-se, por exemplo, não um único valor para janeiro, mas cinco cenários plausíveis: um janeiro Muito Seco; um janeiro Seco; um janeiro Normal; um janeiro Chuvoso; e, um janeiro Muito Chuvoso, cada um com seu valor de precipitação médio representativo. Estes cenários mensais, baseados na real ocorrência histórica – inclusive dos meses mais atípicos –, fornecem, portanto, valores de precipitação fisicamente consistentes e representativos da variabilidade existente na bacia. A ideia não é estabelecer um valor de  $R$  real a partir dos dados, mas simular cenários baseados na realidade que pode tornar a acontecer. Desse modo, os cenários quantílicos serão utilizados para o cálculo da erosividade estimada e a subsequente modelagem da perda de solo (A) com a EUPS.

**Tabela 12** - Acumulados mensais de precipitação (1983-2017) caracterizados por classes de quantil da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1983	216,0	156,0	75,4	104,7	133,0	20,7	25,4	0,0	80,5	159,0	155,8	191,6
1984	248,9	55,1	197,6	95,6	13,1	0,0	0,0	62,2	41,7	146,2	139,3	239,5
1985	117,4	216,6	197,7	249,8	61,0	3,6	20,4	7,5	32,2	18,4	114,5	37,3
1986	176,1	210,8	220,6	70,1	62,4	0,0	18,0	160,7	66,8	72,8	96,0	211,1
1987	262,7	224,3	162,7	118,2	70,1	8,5	13,7	16,5	58,0	117,8	205,9	123,3
1988	255,0	184,5	220,6	142,0	66,9	10,0	0,0	0,0	14,1	85,7	68,7	288,9
1989	342,3	209,0	277,1	40,6	26,0	16,6	35,3	57,6	113,0	19,0	172,0	283,8
1990	334,7	36,0	130,2	110,0	25,8	11,0	10,0	63,4	161,1	65,1	121,3	231,9
1991	141,5	243,7	166,3	72,5	0,8	56,0	13,5	0,0	0,0	90,2	29,8	164,6
1992	129,9	148,0	202,8	96,7	55,7	0,0	15,0	31,5	205,7	158,0	67,0	81,8
1993	135,5	168,5	97,3	125,2	86,0	42,0	0,0	18,0	67,2	23,6	224,9	143,0
1994	318,3	170,7	130,6	64,0	43,0	25,8	16,0	0,0	17,2	67,9	197,8	194,0
1995	150,7	372,7	180,7	70,6	20,8	44,0	8,9	0,0	113,7	113,6	138,1	158,8
1996	130,5	387,9	133,6	89,0	25,8	31,5	6,3	10,3	14,3	31,2	154,6	344,4
1997	288,0	145,8	114,7	206,7	96,2	99,0	5,1	2,9	40,5	155,2	306,9	222,2
1998	71,8	291,2	266,3	116,3	133,7	0,0	6,9	77,2	109,7	141,0	29,5	280,9
1999	319,3	227,2	176,3	39,2	31,1	23,1	0,0	0,0	97,7	23,4	142,7	99,0
2000	195,7	250,5	315,5	22,3	0,0	0,0	24,6	68,2	143,3	39,4	159,9	179,3
2001	152,6	141,7	179,5	69,0	66,0	3,5	46,1	19,5	91,5	63,0	236,8	203,9
2002	228,8	255,2	80,0	2,6	142,8	0,0	58,0	18,0	51,0	82,0	95,0	66,5
2003	248,0	118,0	189,5	95,0	32,0	31,0	5,0	22,4	25,2	173,7	130,8	159,9
2004	83,4	51,5	15,0	129,3	82,6	9,5	10,0	0,0	3,7	248,2	183,0	231,0
2005	468,1	42,0	79,1	42,7	95,2	43,5	55,1	0,0	75,1	100,8	139,0	284,6
2006	166,7	407,2	148,4	81,5	37,0	3,4	27,7	43,3	75,1	181,2	89,2	281,9
2007	418,5	198	142,6	85,4	54,4	0	51,9	1	17	77,7	164,2	88,4
2008	412,5	270,7	108,5	213,7	86,4	0	0	6,9	46,2	127,5	146	142,1
2009	149,1	196,1	182,9	3,8	74,2	41,3	30,8	76,4	135,2	154,4	277,9	291,6
2010	449,7	180,1	118,5	63,8	36,2	2,9	0	0	67,5	83,9	83,4	123,9
2011	218,8	101,5	458,5	70,9	4,1	21,1	0,5	3,3	14,5	123,4	172,5	162,6
2012	191,78	106,43	87,88	59,44	81,2	219,46	8,13	0	99,06	13,46	119,89	210,32
2013	126,75	136,65	51,56	98,81	27,18	77,22	29,21	1,01	87,37	53,84	34,8	210,57
2014	121,16	87,37	85,34	121,67	45,21	5,84	98,8	0	120,65	125,72	177,03	71,88
2015	57,41	226,81	239,78	64,51	45,5	61,7	16,5	21,84	148,34	101,5	279,75	214,63
2016	185,93	121,16	52,83	72,64	187,19	69,60	4,32	88,14	62,49	103,13	118,87	91,19
2017	425,95	74,17	32	17,78	96,8	14,2	8,89	5,08	2,03	109,47	288,28	168,14

Legenda
Muito Seco
Seco
Normal
Chuvoso
Muito Chuvoso

**Fonte:** PENTEADO, PORANGABA (2025)

*Definição de cenários pluviométricos baseados nos quantis para o cálculo da erosividade*

A aplicação da Equação 5 de Bertoni e Lombardi Neto (2014) adaptada às médias de precipitação de cada classe quantílica mensal resultou nos valores de erosividade simulada ( $El_q$ ) apresentados na Tabela 13. Para contextualizar os cenários, a primeira coluna exibe o valor de referência calculado a partir da média climatológica mensal das precipitações da série histórica.

**Tabela 13** – Valores de  $El_q$  simulados para cada mês em cada classe de precipitação com base na média das precipitações de cada quantil mensal em  $MJ.mm.h^{-1}.mês^{-1}$

	<b>Media série</b>	<b>Muito Seco</b>	<b>Seco</b>	<b>Normal</b>	<b>Chuvoso</b>	<b>Muito Chuvoso</b>
<b>Jan</b>	1538,96	320,88	658,69	1271,01	2515,97	4655,09
<b>Fev</b>	1070,52	124,98	492,85	1027,86	1633,04	3152,91
<b>Mar</b>	829,08	92,52	339,86	777,42	1260,36	2637,17
<b>Abr</b>	315,55	18,99	150,14	271,75	474,94	1121,35
<b>Mai</b>	166,39	5,00	47,17	139,25	303,54	754,92
<b>Jun</b>	45,15	0,00	1,22	15,37	94,34	494,29
<b>Jul</b>	23,01	0,00	2,11	11,30	42,86	169,65
<b>Ago</b>	36,78	0,00	0,15	7,50	91,79	344,82
<b>Set</b>	215,61	3,39	41,03	193,56	357,38	669,30
<b>Out</b>	373,22	23,95	143,56	362,45	670,12	1078,17
<b>Nov</b>	764,56	102,14	398,11	716,63	1202,50	2311,94
<b>Dez</b>	1089,15	165,95	565,64	1107,21	1732,34	2456,95

Organização: Penteado (2025)

A análise da Tabela 13 evidencia duas dinâmicas cruciais para a erosão hídrica na bacia. A primeira é a grande variabilidade interanual. Tomando janeiro como exemplo, a erosividade salta de 320,88  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$  em um cenário Muito Seco para 4655,09  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$  em um Muito Chuvoso – uma diferença de mais de 14 vezes para um mesmo mês. A segunda é a marcante variabilidade intra-anual, onde um janeiro Normal (1271,01  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$ ) chega a ser mais de 112 vezes mais erosivo que um julho Normal (11,30  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$ ). Esta expressiva variabilidade – interanual e intra-anual – demonstra que o potencial erosivo na bacia é regido por flutuações de ordem de magnitude, corroborando a premissa central deste estudo.

Com estes valores de  $El_q$  estabelecidos para cada cenário, tem-se, finalmente, o Fator R quantificado para compor um conjunto de simulações junto aos demais fatores da EUPS na etapa de modelagem da perda de solo.

*5.3.3- Contextualização dos dados de alta resolução temporal de 2023 nos quantis*

Os cenários de erosividade derivados dos quantis históricos, apresentados na seção anterior, representam a variabilidade climática de longo prazo. No entanto, a modelagem da perda de solos também se beneficia da validação e do detalhamento proporcionado por dados empíricos de alta resolução temporal. A EMA-Arduino, instalada na Fazenda Querência – alto curso da bacia, registrou a precipitação ao longo de 14 meses (dez/2022-jan/2024) com resolução de um minuto, capturando o ritmo e a intensidade dos eventos chuvosos registrados. Contudo, uma série de intercorrências operacionais – como danos por intempéries, problemas com a energia, obstruções e falhas nos sensores – restringiu a janela de dados contínuos e confiáveis aos meses de dezembro/2022, janeiro, abril, maio, junho e julho de 2023.

O enquadramento dos totais pluviométricos dos meses completos nos quantis históricos está expresso na Tabela 14, a seguir.

**Tabela 14** – Precipitação acumulada – meses completos EMA-Arduino – alto curso da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda

Mês	Pacum (mm)	Classificação Quantis
<b>Dezembro (2022)</b>	190,8	Normal
<b>Janeiro (2023)</b>	164,3	Normal
<b>Abri (2023)</b>	170,7	Muito Chuvoso
<b>Maio (2023)</b>	86,7	Chuvoso
<b>Junho (2023)</b>	108,6	Muito Chuvoso
<b>Julho (2023)</b>	3,0	Seco

Organização: Penteado (2025)

A análise da tabela revela um padrão Normal em dezembro e janeiro, um desvio extremo positivo (Muito Chuvoso) em abril, e uma variabilidade atípica nos demais. Diante deste panorama, a análise subsequente focará nos meses de janeiro (Normal) e abril (Muito Chuvoso).

A justificativa dessa escolha se baseia em três motivos premissas: i) garantir a robustez, utilizando apenas os dados de mais alta qualidade e representatividade climática; ii) contextualizar temporalmente a análise, focando no ano de 2023, o

mesmo ano das atividades de coleta de amostras e parâmetros físicos das UAs em campo; e, iii) selecionar meses com base no potencial erosivo real do mês e dos eventos chuvosos ocorridos no mês.

Mesmo classificados como Chuvoso e Muito Chuvoso em termos de volume acumulado, os meses de maio e junho foram caracterizados por eventos de baixa intensidade e longa duração, gerando alto volume total, porém com baixa energia cinética. Janeiro e abril, por sua vez, registraram eventos com picos de alta intensidade (12,1mm em 14 minutos; 60,14mm em 36 minutos, respectivamente). Eventos dessa magnitude são os principais responsáveis pela desagregação e transporte de sedimentos. Desta forma, a análise concentra-se nos dois meses que efetivamente representam a manifestação física do agente erosivo em seu maior potencial na bacia, fornecendo a base mais relevante para o cálculo do EI30.

#### *5.3.4- Cálculo do EI30 a partir dos dados de alta resolução temporal*

O processo de filtragem dos eventos de precipitação erosiva nos meses focais da análise ocorreu a partir da inspeção visual de todo conjunto de dados de cada mês que compõe a caracterização. O caráter de seleção para caracterização das chuvas erosivas foi definido na seção 2.2.2 deste trabalho e sua síntese está expressa na Tabela 15. O procedimento de cálculo executado para a amostragem selecionada está pormenorizado na seção 4.4.1.

**Tabela 15** – Precipitações erosivas dos meses de janeiro e abril de 2023 registradas pela EMA-Arduino – alto curso da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda – com detalhamento de picos

Data	P (mm)	Observações	
02/01/2023	16,46	Pico de 9,41 mm em 15min	das 14:44 as 15:03
03/01/2023	19,49	Pico de 10,42 mm em 11 minutos	das 16:50 as 17:02
20/01/2023	16,13	Pico de 12,10 mm em 14 minutos	das 14:19 as 14:33
21/01/2023	16,13	Pico de 8,40 mm em 10 minutos	das 12:21 as 12:31
28/01/2023	10,75	Pico de 6,38 mm em 12 minutos	das 14:52 as 15:04
30/01/2023	14,11	Sem picos expressivos	Chuva fraca contínua das 5:30 até 13
31/01/2023	13,78	Sem picos expressivos	chuva fraca contínua das 15 até 19:29
12/04/2023	63,50	Pico 58,13 mm em 33min ou 60,14 mm em 36 min Pico de 3,02 mm em 1 minuto	das 17:27 as 18 ou das 17:27 as 18:03 17:36
25/04/2023	13,44	sem picos registrados	Chuva fraca com intervalo de 4 horas entre elas
26/04/2023	49,06	Pico 11,42 mm em 15minutos	das 2:24 as 2:39
27/04/2023	13,78	sem picos registrados	Chuva fraca contínua das 4:35 as 6:50

**Fonte:** EMA-Arduino. **Organização:** Penteado (2025)

Os dados presentes na Tabela 15 reforçam a justificativa de escolha desses dois meses para realização do cálculo do EI30. Picos expressivos de precipitação em quase todos os eventos chuvosos presentes no mês tipicamente chuvoso – janeiro – detalham a relevância de se conhecer os valores de energia cinética e de EI30 para um mês caracterizado como Normal de acordo com a classificação em quantis, enquanto picos demasiadamente fortes e expressivos em um mês climaticamente transicional de declínio das precipitações – abril –, revelam grande poder erosivo de uma situação extrema em um mês caracterizado como Muito Chuvoso. Os acumulados de precipitação de cada evento também são um dado que chama bastante atenção. Enquanto janeiro teve sete eventos de chuva erosiva com cinco deles apresentando picos de precipitação e maior distribuição de dias de chuva ao longo do mês, abril, por sua vez, teve quatro eventos, porém com picos de energia bastante concentrados. Vale ressaltar também que o evento do dia 26 foi precedido e sucedido por eventos de precipitação contínua potencializando ainda mais os efeitos erosivos dada condição de encharcamento do solo.

A Tabela 16 apresenta a síntese dos cálculos da energia cinética (Ec) de cada evento ( $Ec_{evento}$ ) em  $MJ.ha^{-1}.mm^{-1}$ , da intensidade máxima em trinta minutos (I30) de

cada evento ( $I30_{evento}$ ) em  $mm.h^{-1}$  e o resultado da aplicação da Equação 9, apresentada por Bertoni e Lombardi Neto (2014), para obtenção do  $EI30$  em para cada um dos eventos em  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ . Ao final também é apresentada a soma dos valores de  $EI30$  para cada mês ( $EI30$  jan e  $EI30$  abr) das precipitações registradas pela EMA-Arduino no ano de 2023.

**Tabela 16** – Energia cinética (Ec), Intensidade máxima em 30 minutos (I30), Índice de erosão (EI30) de cada evento de precipitação erosiva de janeiro e abril de 2023 e EI30 total de cada mês

Data	$Ec_{evento} (MJ.ha^{-1}.mm^{-1})$	$I30_{evento} (mm.h^{-1})$	$EI30 (MJ.mm. ha^{-1} h^{-1})$
02/01/2023	4,017	24,192	97,190
03/01/2023	4,965	22,848	113,431
20/01/2023	4,173	29,568	123,400
21/01/2023	4,058	22,176	90,001
28/01/2023	2,670	23,893	63,785
30/01/2023	3,322	6,048	20,090
31/01/2023	3,261	14,784	48,213
12/04/2023	18,550	108,864	2019,462
25/04/2023	3,130	8,736	27,343
26/04/2023	11,981	37,632	450,859
27/04/2023	3,314	17,472	57,905
<b><math>EI30</math> jan</b>			556,109
<b><math>EI30</math> abr</b>			2555,568

Fonte: EMA-Arduino. Organização: Penteado (2025)

A análise da Tabela 16 quantifica o impacto dramático dos picos de intensidade no potencial erosivo. Enquanto os eventos de janeiro com picos expressivos (a exemplo do dia 20/01) geraram  $EI30$  acima de 123  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ , as chuvas sem picos no mesmo mês (por exemplo do dia 31/01) produziram valores inferiores a 50  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ . Esta diferença é ainda mais extrema em abril, onde o evento do dia 12/04, com  $I30$  de 108,86mm/h, resultou em um  $EI30$  de 2019,462  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ . O  $EI30$  total de abril (2555,6  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ ) chega a ser 4,6 vezes maior que o de janeiro (556,1  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}$ ) e, de forma ainda mais impactante, corresponde a aproximadamente 39,5% do valor do Fator R médio anual histórico (6467,99  $MJ.mm. ha^{-1} h^{-1}.ano^{-1}$ ). Em outras palavras, um único mês extremo foi responsável por cerca de 40% do potencial erosivo esperado para um ano inteiro considerado Normal. Esta constatação consolida a grande diferença de potencial erosivo entre os cenários e demonstra, de forma inequívoca, que a erosividade é majoritariamente concentrada em eventos extremos de alta intensidade, e não distribuída uniformemente pelo volume total de chuva.

Os valores de EI30 total para cada mês - 556,1 MJ.mm. ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para janeiro e 2555,6 MJ.mm. ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para abril – constituem, portanto, os valores finais do Fator R derivados de dados de alta resolução temporal. Eles representam, respectivamente, a erosividade mensal de um cenário de chuva típico e de um cenário extremo. Com o Fator R agora totalmente caracterizado – tanto a partir de cenários históricos (seção 5.3.1), quantílicos (seção 5.3.2), quanto de valores específicos de alta resolução temporal (esta seção 5.3.4) –, todos os elementos estão prontos para serem integrados na modelagem da perda de solo, que se inicia na próxima seção.

#### **5.4 – Integração das variáveis ambientais da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e cálculo da perda de solos.**

Esta seção apresenta e discute os resultados da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), integrando as variáveis ambientais coletadas em campo com os cenários de erosividade (R) gerados a partir da série histórica e de dados de alta resolução temporal do ano de 2023. A análise está organizada em quatro etapas sequenciais: i) a avaliação da perda de solo anual (A) conforme aplicação clássica da EUPS; ii) a simulação de cenários mensais de perda de solo baseados nos quantis de precipitação; iii) a modelagem da perda de solo com os valores de EI30 de alta resolução temporal para janeiro e abril de 2023 em Unidades Amostrais representativas; e, iv) uma análise comparativa da influência do Fator R – obtido a partir da média histórica, dos quantis mensais e de dados de alta resolução temporal de janeiro e abril de 2023 – sobre a perda de solo (A) em Unidades Amostrais estratégicas.

##### *5.4.1- Perda de solo anual na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda*

A integração de todas as variáveis ambientais da EUPS coletadas em campo na fórmula apresentada por Bertoni; Lombardi Neto (2014) – adaptada de Wischmeier; Smith (1978) – permite vislumbrar o cenário estimado da perda de solo anual na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda nas Unidades Amostrais estudadas. O resultado desta integração pode ser visualizado na Tabela 17 que contém além da integração dos fatores (R, K, LS, C e P) que resultam na perda de solo anual estimada (A) (em ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), os valores de densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), a classe textural e a classe

de uso e cobertura de cada ponto de coleta de amostra nas 23 unidades amostrais devidamente identificadas pela letra P (ponto de coleta) seguida do número da Unidade Amostral e da posição relativa do ponto dentro da Unidade Amostral (D – margem Direita, C – porção Central da estrada, E – margem Esquerda).

**Tabela 17** – Fatores R, K, LS, C e P da Equação Universal de Perdas de Solo, Perda de Solo Anual estimada de Unidades Amostrais na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (A) e elementos de análise complementar. Legenda: P=Ponto de coleta de amostra; n=número sequencial da Unidade Amostral de coleta; X=posição relativa do ponto de coleta em relação à estrada (sendo: D=margem Direita; C=porção Central da estrada; E=margem Esquerda); \*D=Densidade do Solo

PnX	EUPS						Complementos		
	R ( $MJmmha^{-1}h^{-1}ano^{-1}$ )	K	LS	C	P	A (tonha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	D* (g/cm <sup>3</sup> )	Classe textural	Uso e cobertura
P1D	6467,99	0,07	0,08	0,003	1	<b>0,11</b>	1,39	Franco Arenoso	Pastagem
P1C	6467,99	0,07	0,08	1	1	<b>37,52</b>	1,82	Franco Arenoso	Estrada
P1E	6467,99	0,07	0,08	0,003	1	<b>0,11</b>	0,94	Franco Argiloso Arenoso	Pastagem
P2D	6467,99	0,07	0,08	0,003	1	<b>0,11</b>	1,69	Franco Arenoso	Campo Sujo
P2C	6467,99	0,07	0,08	1	1	<b>35,22</b>	1,87	Areia Franca	Estrada
P2E	6467,99	0,07	0,08	0,003	1	<b>0,11</b>	1,70	Areia Franca	Campo Sujo
P3D	6467,99	0,07	0,14	0,003	0,5	<b>0,10</b>	1,65	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P3C	6467,99	0,07	0,14	1	1	<b>63,67</b>	1,87	Areia Franca	Estrada
P3E	6467,99	0,07	0,14	0,003	0,5	<b>0,10</b>	1,71	Areia Franca	Silvicultura
P4D	6467,99	0,07	0,37	0,003	0,5	<b>0,26</b>	1,80	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P4C	6467,99	0,07	0,37	1	1	<b>171,72</b>	1,84	Franco Arenoso	Estrada
P4E	6467,99	0,07	0,37	0,003	0,5	<b>0,26</b>	1,72	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P5D	6467,99	0,07	0,01	0,003	1	<b>0,01</b>	1,66	Areia Franca	Campo Sujo
P5C	6467,99	0,07	0,01	1	1	<b>2,33</b>	1,85	Franco Arenoso	Estrada
P5E	6467,99	0,07	0,01	0,003	0,5	<b>0,00</b>	1,59	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P6D	6467,99	0,07	0,04	0,17	0,5	<b>1,41</b>	1,72	Areia Franca	Plantio Novo
P6C	6467,99	0,07	0,04	1	1	<b>16,60</b>	1,91	Areia Franca	Estrada
P6E	6467,99	0,07	0,04	0,003	1	<b>0,05</b>	1,60	Areia Franca	Campo Sujo
P7D	6467,99	0,07	0,13	0,001	1	<b>0,06</b>	1,46	Areia Franca	Mata Nativa
P7C	6467,99	0,07	0,13	1	1	<b>58,11</b>	1,85	Areia Franca	Estrada
P7E	6467,99	0,07	0,13	0,17	0,5	<b>4,94</b>	1,76	Areia Franca	Plantio Novo
P8D	6467,99	0,07	0,15	0,003	1	<b>0,21</b>	1,78	Areia Franca	Campo Sujo
P8C	6467,99	0,07	0,15	1	1	<b>68,50</b>	1,80	Areia Franca	Estrada
P8E	6467,99	0,07	0,15	0,003	0,5	<b>0,10</b>	1,61	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P9D	6467,99	0,07	0,02	0,003	1	<b>0,02</b>	1,64	Franco Arenoso	Campo Sujo
P9C	6467,99	0,07	0,02	1	1	<b>8,03</b>	1,89	Franco Arenoso	Estrada
P9E	6467,99	0,07	0,02	0,003	0,5	<b>0,01</b>	1,77	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P10D	6467,99	0,07	0,39	0,003	0,5	<b>0,27</b>	1,69	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P10C	6467,99	0,07	0,39	1	1	<b>183,11</b>	1,94	Franco Arenoso	Estrada
P10E	6467,99	0,07	0,39	0,003	0,5	<b>0,27</b>	1,86	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P11D	6467,99	0,07	0,13	0,003	0,5	<b>0,09</b>	1,71	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P11C	6467,99	0,07	0,13	1	1	<b>58,11</b>	2,00	Areia Franca	Estrada
P11E	6467,99	0,07	0,13	0,003	0,5	<b>0,09</b>	1,76	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P12D	6467,99	0,07	0,32	0,003	0,5	<b>0,22</b>	1,61	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P12C	6467,99	0,07	0,32	1	1	<b>148,53</b>	1,97	Areia Franca	Estrada
P12E	6467,99	0,07	0,32	0,003	0,5	<b>0,22</b>	1,78	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto

P13D	6467,99	0,07	0,24	0,003	0,5	<b>0,16</b>	1,84	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P13C	6467,99	0,07	0,24	1	1	<b>109,47</b>	1,98	Franco Arenoso	Estrada
P13E	6467,99	0,07	0,24	0,003	0,5	<b>0,16</b>	1,88	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P14D	6467,99	0,07	0,33	0,003	0,5	<b>0,23</b>	1,72	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P14C	6467,99	0,07	0,33	1	1	<b>150,75</b>	1,89	Areia Franca	Estrada
P14E	6467,99	0,07	0,33	0,003	1	<b>0,45</b>	1,73	Areia Franca	Campo Sujo
P15D	6467,99	0,07	0,04	0,003	0,5	<b>0,03</b>	1,80	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P15C	6467,99	0,07	0,04	1	1	<b>18,78</b>	1,83	Franco Argiloso Arenoso	Estrada
P15E	6467,99	0,07	0,04	0,003	0,5	<b>0,03</b>	1,68	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P16D	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,65	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P16C	6467,99	0,07	0,46	1	1	<b>211,68</b>	1,89	Areia Franca	Estrada
P16E	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,67	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P17D	6467,99	0,07	0,18	0,003	0,5	<b>0,13</b>	1,59	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P17C	6467,99	0,07	0,18	1	1	<b>84,54</b>	1,84	Areia Franca	Estrada
P17E	6467,99	0,07	0,18	0,001	1	<b>0,08</b>	1,57	Areia Franca	Mata Nativa
P18D	6467,99	0,07	0,55	0,003	0,5	<b>0,39</b>	1,75	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P18C	6467,99	0,07	0,55	1	1	<b>256,86</b>	1,93	Franco Arenoso	Estrada
P18E	6467,99	0,07	0,55	0,003	0,5	<b>0,39</b>	1,78	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P19D	6467,99	0,07	0,38	0,003	0,5	<b>0,26</b>	1,62	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P19C	6467,99	0,07	0,38	1	1	<b>175,50</b>	1,94	Areia Franca	Estrada
P19E	6467,99	0,07	0,38	0,003	0,5	<b>0,26</b>	1,57	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P20D	6467,99	0,07	0,61	0,003	0,5	<b>0,42</b>	1,74	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P20C	6467,99	0,07	0,61	1	1	<b>281,15</b>	1,85	Franco Arenoso	Estrada
P20E	6467,99	0,07	0,61	0,003	0,5	<b>0,42</b>	1,70	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P21D	6467,99	0,07	0,66	0,003	0,5	<b>0,46</b>	1,71	Areia Franca	Silvicultura/Eucalipto
P21C	6467,99	0,07	0,66	1	1	<b>305,76</b>	1,92	Franco Arenoso	Estrada
P21E	6467,99	0,07	0,66	0,003	0,5	<b>0,46</b>	1,74	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P22D	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,54	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P22C	6467,99	0,07	0,46	1	1	<b>211,68</b>	1,92	Franco Arenoso	Estrada
P22E	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,75	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P23D	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,62	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto
P23C	6467,99	0,07	0,46	1	1	<b>211,68</b>	1,84	Franco Arenoso	Estrada
P23E	6467,99	0,07	0,46	0,003	0,5	<b>0,32</b>	1,80	Franco Arenoso	Silvicultura/Eucalipto

**Organização:** Penteado (2025)

Os resultados da Tabela 17 revelam, de forma categórica, o papel das estradas rurais de leito natural como elementos hiperintensificadores dos processos erosivos na paisagem. Em todas as 23 UAs, a perda de solo anual estimada para a porção central da pista de rolamento (PnC) é de ordens de magnitude superior à das suas respectivas margens, independentemente do uso e cobertura desse entorno. Enquanto as margens, sob vegetação nativa, pastagem ou silvicultura (Fator C entre 0,001 e 0,17), apresentaram perdas de solo pouco significativas, sempre inferiores a 0,5 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, os valores nas estradas (Fator C=1) variam de 2,33 a 305,76 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Em certos pontos, como a estrada da UA 21 (P21C), este elemento

chega a ser mais de 600 vezes mais erosivo do que suas próprias margens. Este padrão consistente demonstra que, independentemente do uso do entorno, a condição de solo exposto e compactado da estrada é o principal vetor da erosão da bacia.

Para as estradas, no cenário apresentado, o fator que mais explica a variação interna da perda de solo é o fator topográfico (LS) – especialmente a declividade. Os valores mais críticos de perda de solo ( $A>200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) estão concentrados nas UAs com maior fator LS (18, 20 e 21), que ultrapassa 0,5. Por outro lado, a UA5, com menor LS (0,01), apresenta a menor perda de solo entre as estradas (2,33  $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Esta correlação direta evidencia que, em um sistema onde K, C e P são constantes para as estradas, o relevo atua como amplificador natural do processo erosivo desencadeado pela chuva.

Em síntese, este cenário anual consolida a base da hipótese desta pesquisa. A perda de solo é influenciada por uma interação hierárquica de fatores: as estradas atuam como fontes primárias (devido aos fatores C e P), cujo potencial erosivo é então modulado pela declividade (LS). A uniformidade dos solos (K) e da erosividade anual (R) nesta análise inicial permitiu isolar o efeito dessas variáveis morfológicas e de manejo. Os cenários seguintes testarão como esta dinâmica responde às variações sazonais mensais e extremas da chuva (Fator R).

#### *5.4.2- Cenários mensais estacionais de perda de solo baseados nos quantis de precipitação em Unidades Amostrais selecionadas*

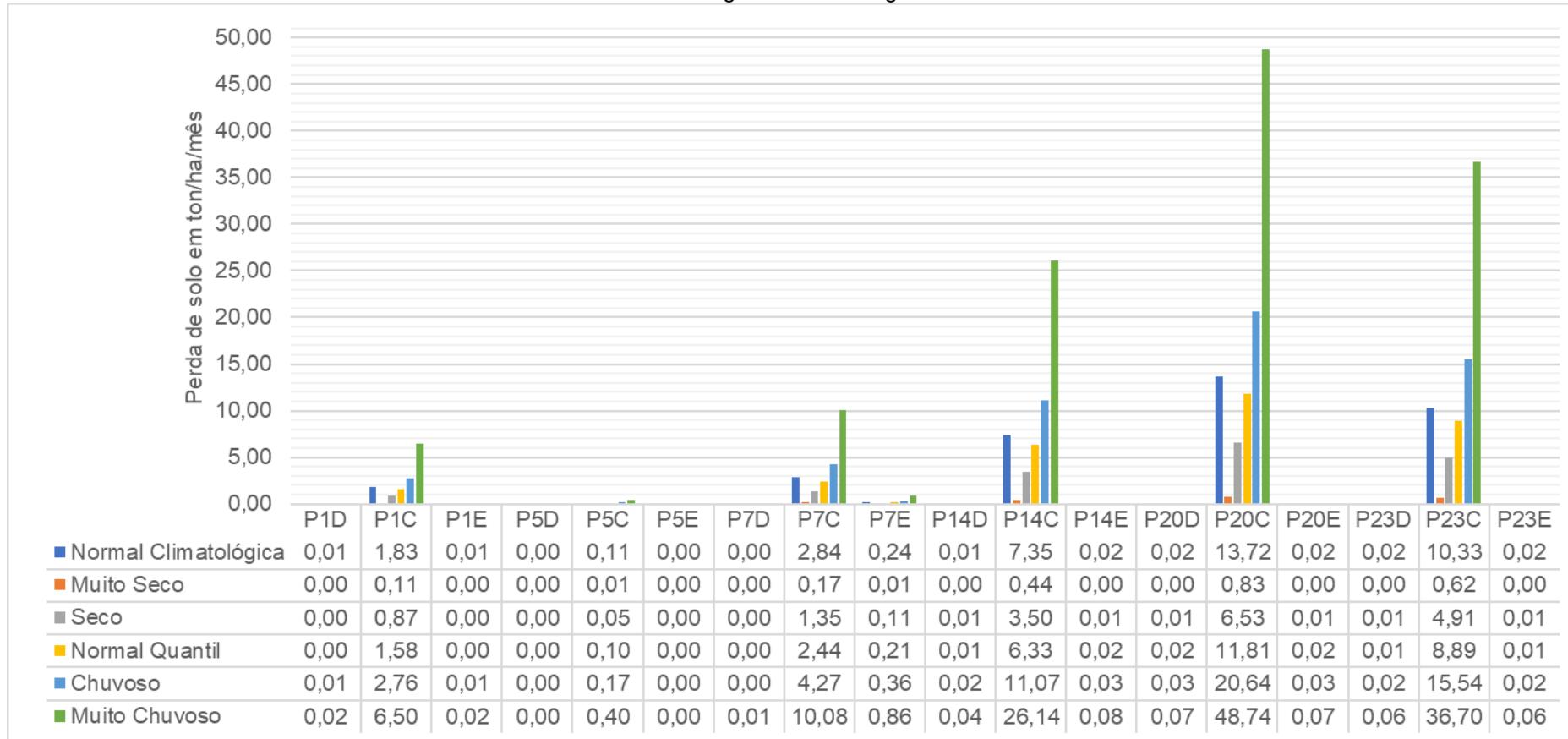
Em regiões de clima Aw, como a área de estudo, a marcante sazonalidade das chuvas se desdobra em uma significativa variabilidade intra-anual (mensal) do potencial erosivo. Esta subseção avança além das médias anuais para capturar essa dinâmica, apresentando cenários de perda de solo baseados nos quantis de precipitação para meses-chave representativos do regime hidrológico da BHCM. A análise foca em Unidades Amostrais estrategicamente selecionadas para representar a variabilidade de uso, cobertura e, principalmente, de declividade. Os resultados completos com os cenários para todo conjunto de meses, Unidades Amostrais e classes quantílicas encontram-se no Apêndice A.

Para esta análise, foram selecionados os meses de janeiro (auge da estação chuvosa), abril (mês transicional); julho (auge da estação seca) e outubro (mês

transicional). Quanto às UAs, a seleção priorizou uma amostragem estratégica que abrange a distribuição espacial na bacia e captura o gradiente de declividade observado, desde patamares próximos de 0% até aproximadamente 4%.

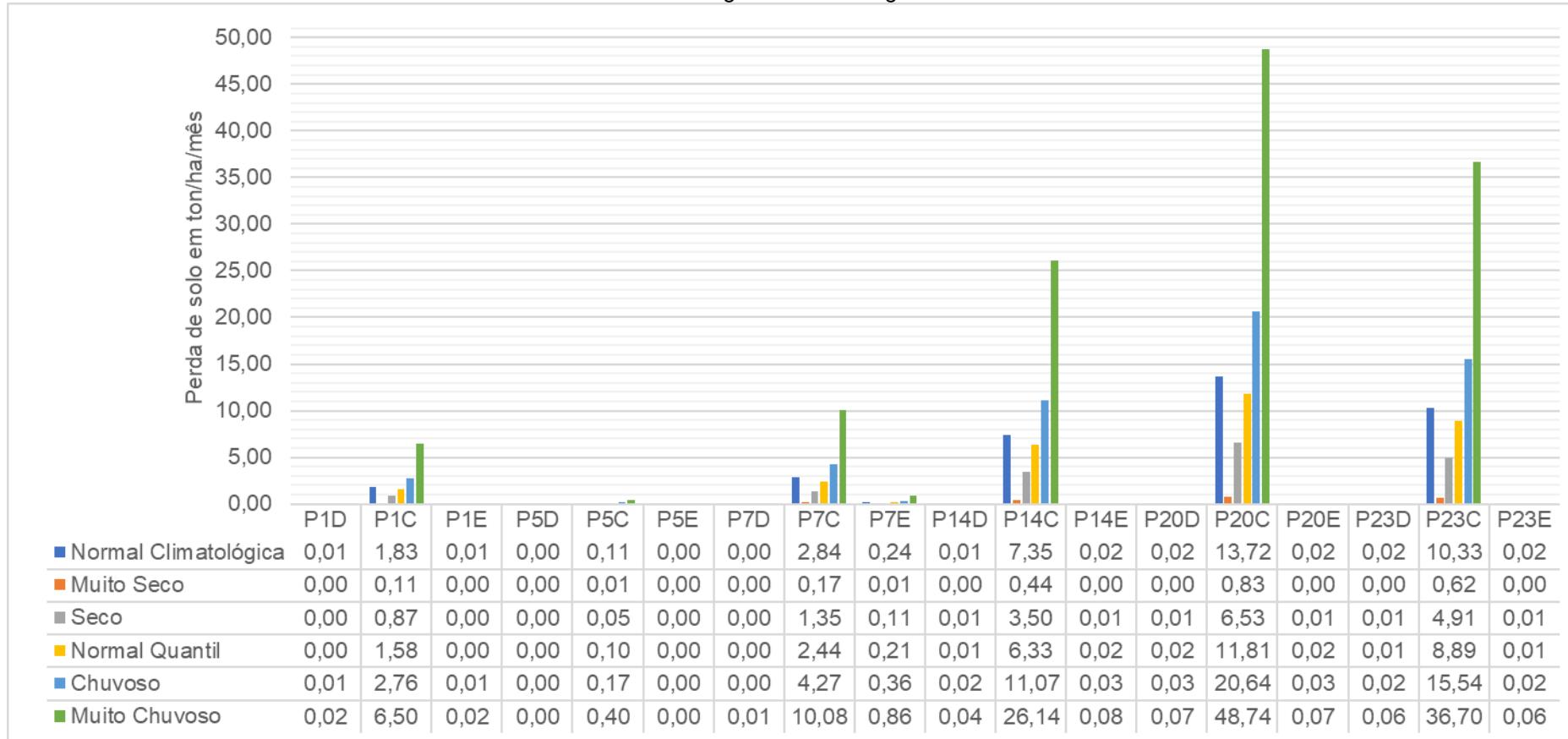
Os gráficos das Figuras 27, 28, 29 e 30 apresentam, para cada um desses meses representativos, os valores de perda de solo nas UAs estratégicas, contrastando a média histórica (Normal Climatológica) com a gama completa de cenários quantílicos (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso).

**Figura 27** – Variação da perda de solo (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) em janeiro frente a diferentes cenários de erosividade (R) nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



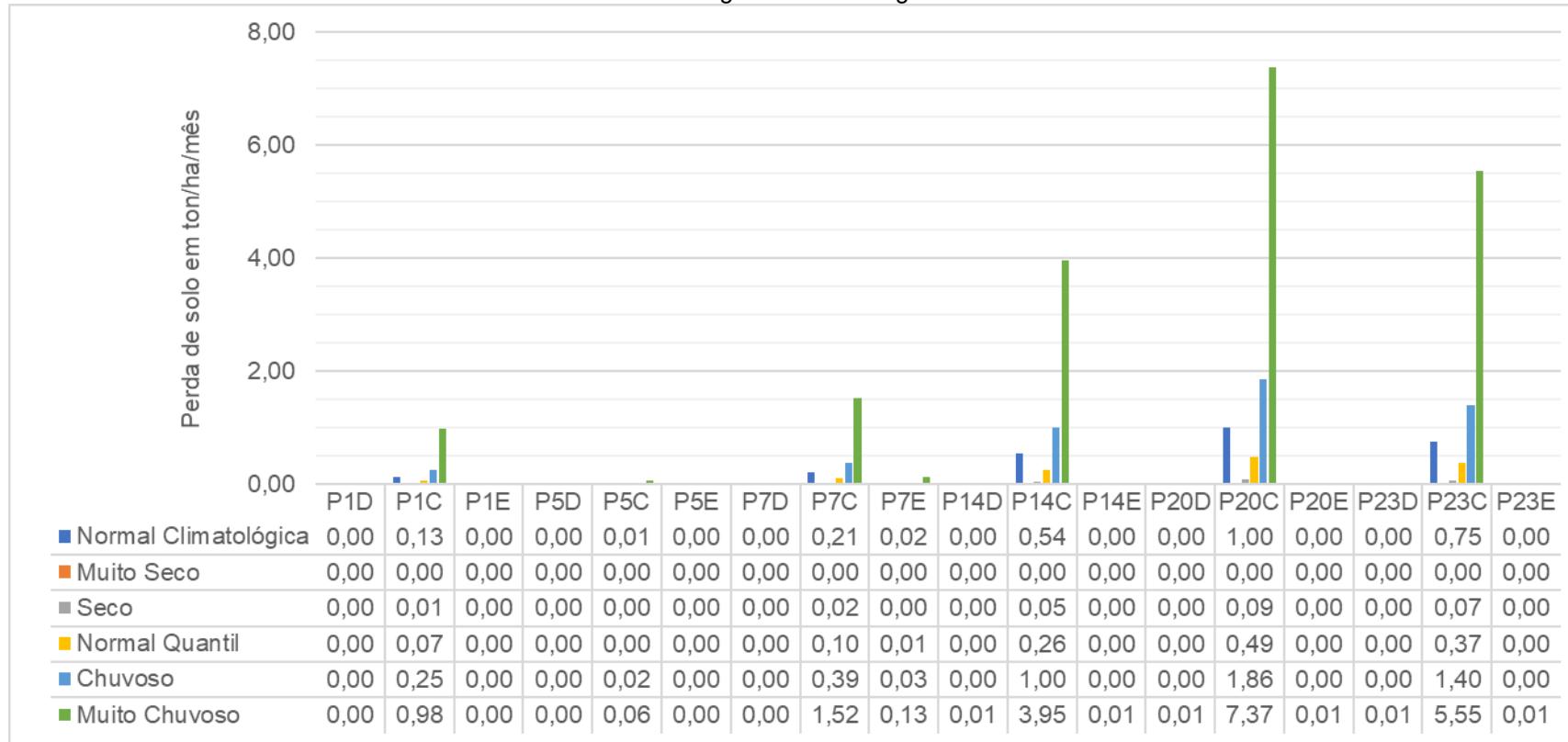
Organização: Penteado (2025)

**Figura 28** – Variação da perda de solo (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) em *abril* frente a diferentes cenários de erosividade (R) nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



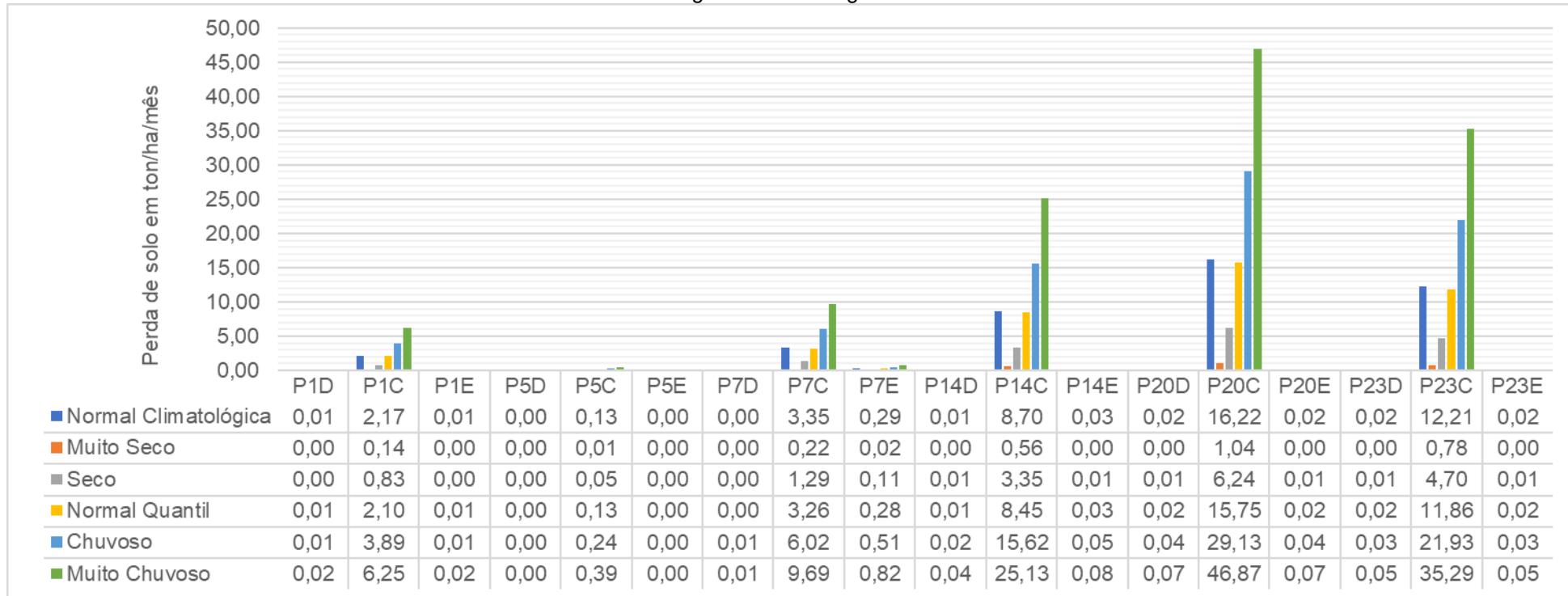
Organização: Penteado (2025)

**Figura 29** – Variação da perda de solo ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ ) em julho frente a diferentes cenários de erosividade (R) nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



Organização: Penteado (2025)

**Figura 30** – Variação da perda de solo (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) em *outubro* frente a diferentes cenários de erosividade (R) nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



Organização: Penteado (2025)

A análise dos cenários mensais salienta que o potencial de erosão na bacia é regido pela interação de dois elementos dinâmicos: a sazonalidade climática e a exposição do solo.

Em todos os meses e cenários, as perdas nas margens com cobertura vegetal (PnD/PnE) são pouco significativas (em geral, inferiores a  $0,5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ), reforçando o papel protetor da vegetação. Uma exceção notável são as áreas de Plantio Novo (ex.: P7E), onde a cobertura de restos vegetais e as curvas de nível atenuam, mas não eliminam, as perdas – que podem chegar a  $\sim 3,5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  em um janeiro Muito Chuvoso.

O foco do risco erosivo, portanto, concentra-se de forma preponderantemente e quase integral nas estradas (PnC). Embora a compactação possa conferir certa resistência ao impacto das gotas, ela promove a geração de escoamento superficial. É nessa condição de solo exposto e com escoamento concentrado que as estradas se tornam as principais fontes de sedimentos na paisagem.

#### *A magnitude da variabilidade climática das precipitações*

O impacto da variabilidade interanual das precipitações na BHCM é expressivo. Tomando como exemplo a estrada da UA20 (P20C) em janeiro, a perda de solo salta de  $13,95 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  em um cenário Muito Seco para  $202,35 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  em um Muito Chuvoso – uma variação de mais de 14 vezes. Este padrão de amplificação se repete em todos os meses, demonstrando que a flutuação natural do clima é o principal controlador da magnitude do processo erosivo na bacia.

Sendo assim, a sazonalidade define a janela de risco. Enquanto o auge da estação seca (julho) apresenta perdas pouco significativas mesmo sob cenários extremos, o período chuvoso (janeiro) constitui a verdadeira estação crítica. É notável, no entanto, que um evento extremo em meses de transição, como um abril Muito Chuvoso, pode gerar perdas superiores a  $48 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  (P20C), rivalizando com a erosividade de um janeiro típico. Isto destaca que eventos extremos podem redefinir o risco erosivo, independentemente da época do ano.

#### *A declividade como amplificador final*

A declividade atua de forma consistente como o amplificador final e linear do processo em todos os cenários. A UA5 ( $L= 0,07\%$ ;  $LS \sim 0,01$ ) apresenta as menores perdas, enquanto a UA20 ( $L=4,07\%$ ;  $LS 0,61$ ) exibe os valores mais críticos. Em um

janeiro Normal, por exemplo, a estrada da UA20 pode ser até 120 vezes mais erosiva que a da UA5. Esta relação direta demonstra que, uma vez estabelecida a fonte (a estrada) e deflagrado o agente (a chuva), o relevo local dita a intensidade final do processo de perda de solo, funcionando como o estágio decisivo de amplificação da energia erosiva.

*5.4.3- Modelagem da perda de solo com valores de EI30 de alta resolução temporal para janeiro e abril de 2023 em Unidades Amostrais selecionadas.*

A aplicação dos valores de EI30, calculados a partir dos dados da EMA-Arduino para cada evento erosivo, permitiu modelar a perda de solo com um nível de detalhe inédito para a bacia. Mantendo os demais fatores da EUPS (K, LS, C, P) como parâmetros fixos, foi possível simular cenários realistas de perda de solo para cada evento individual e para os totais mensais de janeiro e abril de 2023. A análise foca nas mesmas Unidades Amostrais estratégicas (UAs 1, 5, 7, 14, 20, 23), o que permite isolar e quantificar o efeito específico da precipitação real registrada no ano de campo.

A Tabela 18 consolida os resultados desta modelagem de alta resolução temporal, apresentando os valores de perda de solo para cada ponto de coleta (PnX), discriminados por evento chuvoso e totais mensais. A tabela também retoma as informações ambientais de cada ponto (uso e cobertura, densidade, textura e declividade).

**Tabela 18** – Variações de perda de solo – totais de janeiro e abril de 2023 (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>); totais de perdas em eventos de precipitação erosiva (ton.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) nos meses de janeiro e abril de 2023 em Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda com fatores de avaliação complementar

	JAN/23	02jan	03jan	20jan	21jan	28jan	30jan	31jan	ABR/23	12/abr	25/abr	26/abr	27/abr	Uso e cobertura	D g/cm <sup>3</sup>	Classe textural	Decliv %
P1D	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,01	0,00	Pastagem	1,39	Franco Arenoso	0,67
P1C	<b>3,23</b>	0,56	<b>0,66</b>	<b>0,72</b>	<b>0,52</b>	<b>0,37</b>	<b>0,12</b>	<b>0,28</b>	<b>14,82</b>	<b>11,71</b>	<b>0,16</b>	<b>2,62</b>	<b>0,34</b>	Estrada	<b>1,82</b>	Franco Arenoso	<b>0,67</b>
P1E	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,01	0,00	Pastagem	0,94	Franco Argiloso Arenoso	0,67
P5D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mata Nativa	1,66	Areia Franca	0,07
P5C	<b>0,20</b>	0,03	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,92</b>	<b>0,73</b>	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>0,02</b>	Estrada	<b>1,85</b>	Franco Arenoso	<b>0,07</b>
P5E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,59	Areia Franca	0,07
P7D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	Mata Nativa	1,46	Areia Franca	1,07
P7C	<b>5,00</b>	0,87	<b>1,02</b>	<b>1,11</b>	<b>0,81</b>	<b>0,57</b>	<b>0,18</b>	<b>0,43</b>	<b>22,96</b>	<b>18,14</b>	<b>0,25</b>	<b>4,05</b>	<b>0,52</b>	Estrada	<b>1,85</b>	Areia Franca	<b>1,07</b>
P7E	0,42	0,07	0,09	0,09	0,07	0,05	0,02	0,04	1,95	1,54	0,02	0,34	0,04	Plantio Novo	1,76	Areia Franca	1,07
P14D	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,02	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,72	Areia Franca	2,40
P14C	<b>12,96</b>	2,27	<b>2,64</b>	<b>2,88</b>	<b>2,10</b>	<b>1,49</b>	<b>0,47</b>	<b>1,12</b>	<b>59,56</b>	<b>47,07</b>	<b>0,64</b>	<b>10,51</b>	<b>1,35</b>	Estrada	<b>1,89</b>	Areia Franca	<b>2,40</b>
P14E	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	0,14	0,00	0,03	0,00	Campo Sujo	1,73	Areia Franca	2,40
P20D	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	0,13	0,00	0,03	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,74	Franco Arenoso	4,07
P20C	<b>24,17</b>	4,22	<b>4,93</b>	<b>5,36</b>	<b>3,91</b>	<b>2,77</b>	<b>0,87</b>	<b>2,10</b>	<b>111,08</b>	<b>87,78</b>	<b>1,19</b>	<b>19,60</b>	<b>2,52</b>	Estrada	<b>1,85</b>	Franco Arenoso	<b>4,07</b>
P20E	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	0,13	0,00	0,03	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,70	Franco Arenoso	4,07
P23D	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,10	0,00	0,02	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,62	Franco Arenoso	3,20
P23C	<b>18,20</b>	3,18	<b>3,71</b>	<b>4,04</b>	<b>2,95</b>	<b>2,09</b>	<b>0,66</b>	<b>1,58</b>	<b>83,64</b>	<b>66,09</b>	<b>0,89</b>	<b>14,76</b>	<b>1,89</b>	Estrada	<b>1,84</b>	Franco Arenoso	<b>3,20</b>
P23E	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,10	0,00	0,02	0,00	Silvicultura/Eucalipto	1,80	Franco Arenoso	3,20

Organização: Penteado (2025)

O conjunto de dados empíricos de alta resolução temporal confirma e reforça o papel das estradas como a principal fonte de perda de solos na BBCM. A perda de solo nas estradas (PnC) é sistematicamente de ordem de magnitude superior à das margens (PnD/PnE). Este padrão mantém-se notavelmente estável em todos os eventos de chuva erosiva, independentemente da sua intensidade. Na UA7, por exemplo, a estrada (P7C) apresentou consistentemente 12 vezes mais perda de solo do que a área de Plantio novo (P7E) em todos os eventos. Essa constância revela um comportamento previsível da paisagem, o que é uma informação valiosa para o planejamento de intervenções e pode ser colocada como um dos achados mais relevantes para o manejo conservacionista porque se repete para todas as situações das UAs avaliadas nesta seção.

Essa constância da razão de perda de solo entre estrada e margem (e também entre diferentes estradas), não é um artefato do modelo, mas a confirmação de que, para uma mesma configuração de paisagem (K, LS, C, P fixos), a EUPS se comporta como um sistema constante e previsível em resposta ao Fator R. Na prática, isso significa que, conhecida a perda de solo de um evento padrão, é possível estimar com confiança a perda para eventos futuros de maior ou menor magnitude naquele mesmo local, se mantidas as mesmas condições de paisagem, oferecendo uma ferramenta robusta para dimensionamento de práticas conservacionistas.

#### *A declividade como amplificador fundamental do processo*

Em um sistema onde R, K, C e P são constantes para cada unidade de paisagem, a declividade surge como fator crítico que dita a intensidade final da erosão. Seu efeito é mais pronunciado nas estradas, onde a falta de resistência ao escoamento transforma as pistas de rolamento em verdadeiros ‘córregos temporários’ durante as chuvas (Figura 31). A comparação entre as UAs 5, 14 e 20 (com declividades de ~0%, ~2% e ~4%, respectivamente) ilustra este efeito de amplificação: as perdas na estrada da UA14 (P14C) são cerca de 65 vezes superiores às da UA5 (P5C), enquanto as perdas comparadas entre os extremos de declividade (P5C x P20C) é cerca de 120 vezes maior no trecho de maior declividade em comparação com o menor gradiente de inclinação.

**Figura 31** – Escoamento superficial concentrado (córrego temporário) sobre a pista de rolamento próximo à UA1 - janeiro de 2024



**Fonte:** Penteado (2024)

A análise dos dados de alta resolução temporal também permitiu constatar que o maior salto proporcional entre intervalos de gradientes de declividade nas perdas de solo ocorre nas faixas de declividade mais baixas. O aumento da declividade de 0,07% (UA5) para apenas 0,67% (UA1) é suficiente para multiplicar as perdas na estrada por um fator de 16 vezes em todos os eventos, enquanto essa proporção é da ordem de aproximadamente 2 vezes nos demais intervalos de gradiente. Este resultado alerta que mesmo variações topográficas consideradas modestas são capazes de disparar o processo erosivo quando associadas a estradas não manejadas. Em toda bacia, o maior contraste é observado justamente entre os extremos do gradiente topográfico: a estrada da UA20 (maior declividade), como dito anteriormente, pode contribuir cerca de 120 vezes mais para perda de solo que a estrada da UA5 (menor declividade).

Em termos de números absolutos, é evidente que as maiores declividades acabam tendo os maiores valores de perda de solos, mas em termos proporção e desencadeamento do processo erosivo, os dados mostram que é preciso olhar com cuidado e atenção às variações de declividade de menor gradiente, mesmo àquelas aparentemente sutis.

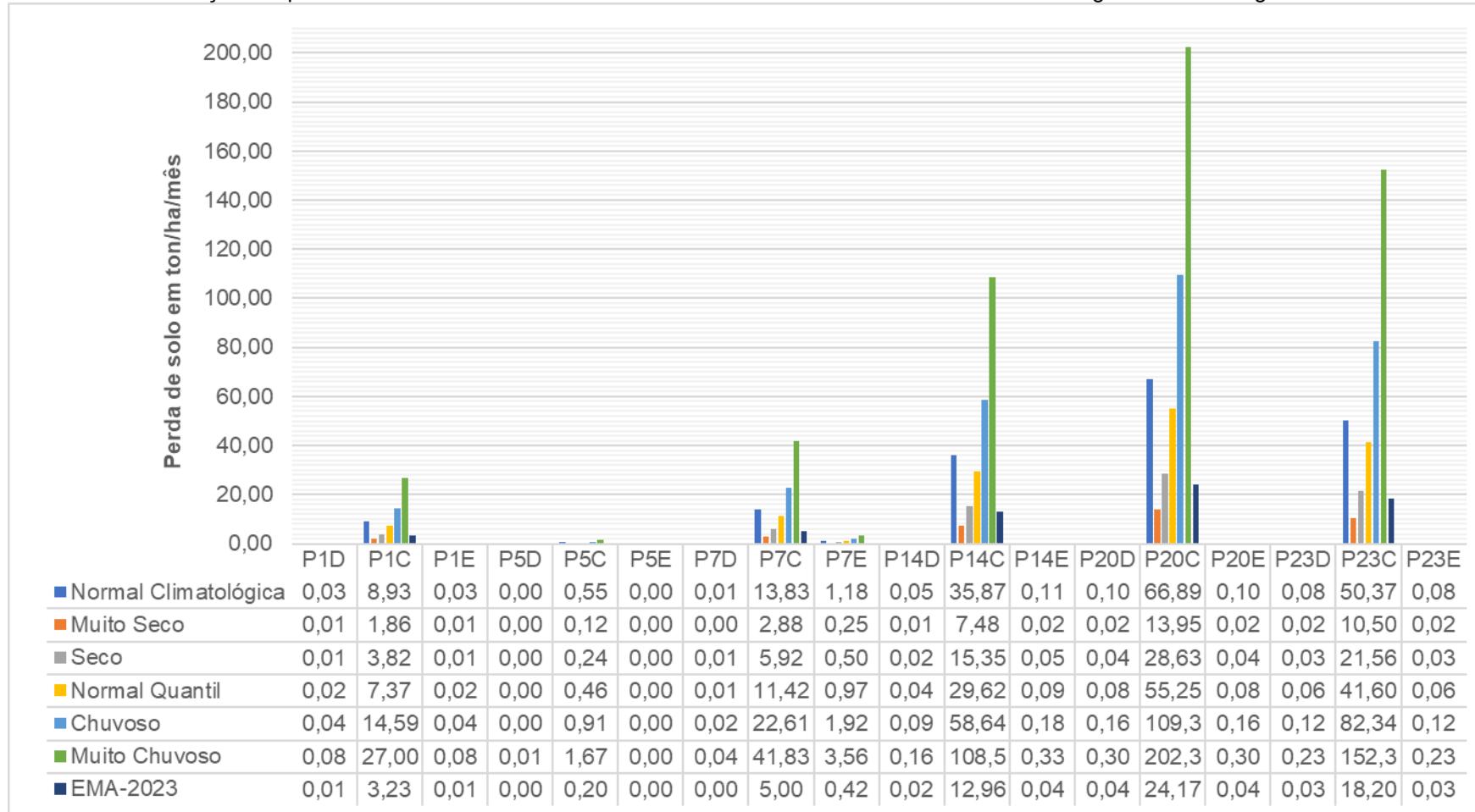
Em conjunto, estes resultados demonstram que a interação entre a exposição do solo (estradas) e o relevo (declividade) cria um sistema de risco previsível. O efeito amplificador de pequenos incrementos de declividade sobre a perda de solo fornece um critério claro e quantitativo para a priorização de intervenções. A próxima e última etapa desta análise integrará estes dados empíricos aos cenários modelados, consolidando uma visão ampla para o planejamento conservacionista estratégico na bacia.

*5.4.4- Influência do Fator R obtido por diferentes formas (média, quantis, EMA) sobre a modelagem de perda de solos (A) em Unidades Amostrais selecionadas*

Esta última etapa analítica consiste em integrar a visualização dos resultados obtidos pelas diferentes formas de obtenção do Fator R – média histórica, média dos quantis e dados de alta resolução temporal – às informações das unidades amostrais estratégicas a fim de compreender como esses dados se interrelacionam e corroboram a comprovação da hipótese de que as estradas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda contribuem de maneira expressiva para perda de solos e para o desencadeamento de processos erosivos.

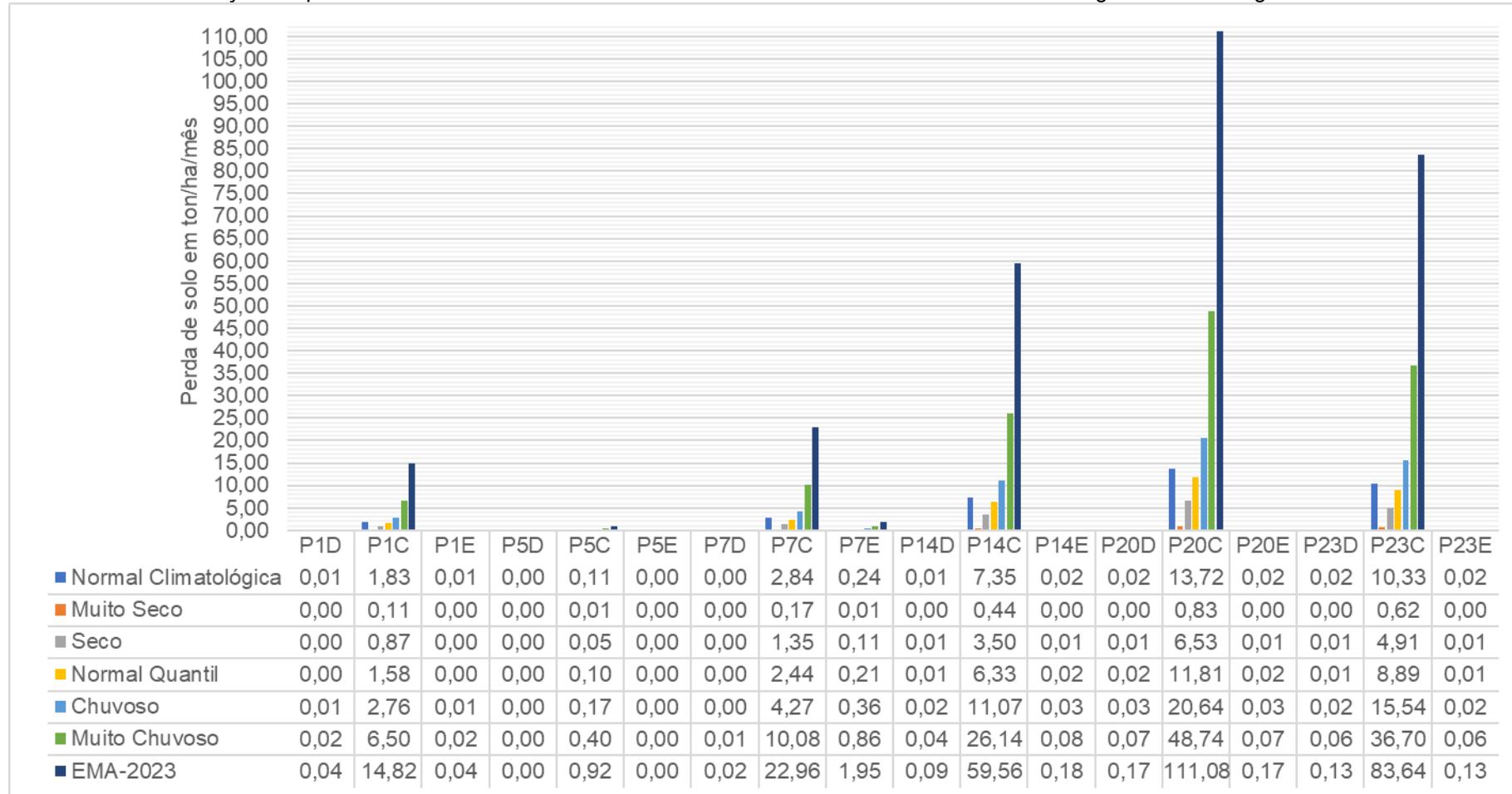
Os gráficos das Figuras 32 e 33 apresentam, para os meses de janeiro e abril – delimitados a partir da qualidade dos dados e da representatividade dos registros realizados pela EMA-Arduino –, os valores de perda de solo nas UAs estratégicas já apresentadas anteriormente, contrastando a perda de solos em diferentes cenários de precipitação – média histórica (Normal Climatológica), os cenários quantílicos médios (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso) e os dados de alta resolução temporal.

**Figura 32** – Variação da perda de solo (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) em janeiro frente a diferentes cenários de erosividade (R) – média histórica, média quantis, dados alta resolução temporal EMA-Arduino 2023 - nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



Organização: Penteado (2025)

**Figura 33** – Variação da perda de solo (ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) em *abril* frente a diferentes cenários de erosividade (R) – média histórica, média quantis, dados alta resolução temporal EMA-Arduino 2023 - nas Unidades Amostrais selecionadas da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda



Organização: Penteado (2025)

Notadamente, a contribuição expressiva das estradas (PnC) e o efeito da declividade seguem como características predominantes do processo de perda de solos na BHCM. O salto expressivo manifesto nas áreas de estrada de cada Unidade Amostral demonstra um aumento exponencial da perda de solo a cada variação positiva do gradiente de declividade, com destaque para os eventos de alta magnitude do mês de abril e para os cenários Muito Chuvosos simulados para janeiro.

Como destacado na seção 5.3.4, o mês de janeiro apresentou mais eventos erosivos com picos de precipitação do que abril, entretanto, a magnitude dos eventos é bastante distinta. Os acumulados de chuva registrados em dois eventos extremos de abril geraram uma energia muito maior que a soma de todos os eventos de janeiro, proporcionando, consequentemente, perdas de solo mais expressivas em todas as UAs, o que realça a importância da intensidade e da altura pluviométrica dos eventos individuais, e não apenas sua frequência.

#### *Validação do modelo e proximidade com a realidade*

A comparação direta entre os dados modelados e os valores reais de 2023 valida a robustez da abordagem por quantis. Para janeiro, cuja precipitação total ficou no limiar inferior da classe Normal, os valores de perda de solo medidos pela EMA-Arduino se aproximaram consistentemente dos cenários modelados para um janeiro Seco, com uma diferença de apenas ~15% para menos, como pode ser verificado pela proximidade dos valores das linhas EMA-2023 e Seco na tabela de apoio do gráfico da Figura 30. Este ajuste fino demonstra que o modelo não apenas captura a magnitude geral, mas também responde com sensibilidade a variações sutis nos totais pluviométricos, refletindo a realidade de campo com fidelidade considerável.

#### *O poder dos eventos extremos e os ajustes das janelas de maior risco erosivo*

O caso de abril revela a face mais crítica do processo de perda de solo. O evento extremo registrado gerou perdas de solo ~2,3 vezes superiores (aumento de ~128%) até mesmo ao cenário mais severo (Muito Chuvoso). Este resultado, contudo, não representa uma anomalia completamente fora da realidade da bacia. A análise demonstra que a perda de solo baseada nos dados de alta resolução temporal observada em abril equiparou-se, em magnitude, à estimada para um cenário de janeiro Chuvoso, com base na série histórica

Este paralelo é elementar, pois evidencia que, embora um evento de tal porte seja atípico para abril, a paisagem da bacia hidrográfica já esteve sujeita a cargas erosivas dessa magnitude em outros períodos do ano, conforme registrado no histórico climático. Portanto, o evento de abril não introduz um risco erosivo desconhecido, mas sim redistribui e estende para o mês transicional de abril uma janela de risco de perda de solo que já era conhecida para o verão. Isso demonstra que eventos extremos podem redefinir a janela de risco sazonal, impondo uma carga erosiva típica dos meses mais chuvosos em um período de transição

#### O refinamento conceitual: Normal Climatológica x quantil Normal

Um dos refinamentos mais importantes proporcionado pela técnica dos quantis é a distinção entre a Normal Climatológica – a média aritmética da série – e a classe Normal, obtida a partir da técnica dos quantis. Esta diferença é crucial em meses de estação seca como junho, julho e agosto. Para estes períodos, a Normal Climatológica frequentemente se enquadra na classe Chuvoso dos quantis. Isto ocorre porque a média é elevada pela presença de eventos extremos raros e isolados (*outliers*), enquanto a classe Normal dos quantis representa de fato a condição mais provável e recorrente: a de seca ou baixas quantidades de chuvas. Portanto, a modelagem por quantis não apenas captura a variabilidade, mas corrige uma distorção inerente ao uso da média, oferecendo uma base muito mais realista e representativa para o planejamento.

#### *Implicações da proposta de abordagem para o manejo nas UAs da BHCM*

Do ponto de vista do manejo, esta análise fornece um roteiro claro. A previsibilidade do sistema, observada na relação constante entre os fatores (como a declividade e a perda de solo), permite o dimensionamento preciso de intervenções. O conhecimento dos cenários críticos históricos, validados pelos dados de alta resolução temporal, direciona o foco de eventuais ações e intervenções para onde o risco é maior. Finalmente, a confirmação do potencial de eventos extremos fora da estação chuvosa exige uma estratégia resiliente, que não se restrinja a uma janela sazonal fixa.

Em síntese, o conjunto de simulações realizados transcende o exercício de modelagem. Ele constitui um banco de dados de cenários plausíveis fundamentado nos registros históricos da dinâmica das precipitações da bacia. Os valores de perda

de solo obtidos não se restringem a um mês ou ano específico, mas representam estimativas robustas para alturas de chuva que já ocorreram e, portanto, podem se repetir – seja como uma seca extrema em um mês tipicamente chuvoso, ou uma tempestade intensa em um período de transição. Esta abordagem fornece, assim, uma base quantitativa e fisicamente consistente para orientar o planejamento conservacionista. Na seção seguinte, estes resultados são sintetizados em uma nova estrutura conceitual que unifica a compreensão dos processos de perda de solo e direciona a priorização de intervenções de manejo.

### **5.5- Uma abordagem conceitual para o manejo: A *Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida***

Os resultados apresentados ao longo deste capítulo consolidam a premissa de que as estradas rurais de leito natural constituem o principal elemento potencializador e o caminho preferencial para a perda de solos na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda. Para além da diagnose quantitativa, a análise integrada dos dados e a observação *in loco* permitiram identificar um padrão sistêmico que unifica a compreensão dos processos de perda de solo e, consequentemente, de erosão na bacia. Este padrão é conceituado aqui como *Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida*.

Este conceito descreve a situação em que o planejamento viário, dentro do contexto histórico de uso e ocupação, foi orientado prioritariamente por critérios logísticos que induziram a criação de canais retilíneos artificiais e preferenciais, as estradas. Estas vias, de geometria relativamente alongada e retilínea, direcionam o escoamento superficial e sua carga de sedimentos de maneira eficiente e direta para as adjacências dos corpos d’água (áreas de app, mata galeria e vegetação nativa), funcionando como artérias de transporte que ligam as áreas – comprovadamente eficientes – de produção de sedimentos ao sistema fluvial.

#### *5.5.1- Evidências da conectividade: os problemas como sintomas de um sistema complexo*

A manifestação prática da Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida na paisagem da BHCM se dá por meio de problemas específicos de manejo, que deixam

de ser falhas isoladas para se tornarem evidências sintomáticas do sistema disfuncional. A Figura 34 – recortada do mapa da Figura 8 da seção 4.1.2 – oferece uma evidência cartográfica direta deste fenômeno, ilustrando como o traçado retilíneo das estradas de talhão no alto e médio curso da bacia – em preto – cria uma rede de canais preferenciais que conduzem o escoamento superficial diretamente para a rede de drenagem – em azul.

**Figura 34** – Evidência cartográfica do padrão de Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda.

Legenda: Linhas pretas – limites de talhão/estradas; Linhas azuis – drenagem; Linha vermelha irregular: limite da bacia; Elementos gráficos remanescentes são originais do mapa-base sem relevância para esta análise



Fonte: Fibria/Suzano. **Adaptado por:** Penteado (2025)

Conforme ilustrado na Figura 34, a geometria da paisagem das estradas, moldada pelo planejamento florestal, evidencia a conectividade. O traçado retilíneo dos talhões (linhas pretas) impõe uma malha viária que funciona como uma rede de drenagem artificial, canalizando o escoamento de forma eficiente e perpendicular aos corpos d'água (linha azul). Este arranjo espacial, portanto, não é acidental, mas sim inerente ao sistema de produção implementado, corroborando o caráter induzido do processo.

Enquanto a Figura 34 expõe a arquitetura do sistema em escala *lato*, a investigação de campo revela os mecanismos operacionais que concretizam essa conectividade empírica. Os problemas de manejo emergem, na verdade, como sintomas previsíveis deste sistema estruturalmente disfuncional do ponto de vista da mitigação da perda de solo e dos processos erosivos. Esses problemas podem ser categorizados em duas frentes principais: aqueles que otimizam o fluxo e aqueles que falham em dissipá-lo.

#### *Geometria que optimiza o fluxo*

O greide inadequado, sem quebras de declividade longitudinal, e a seção transversal que não dissipam o escoamento do leito carroçável da estrada não são meras questões de manutenção; são os mecanismos primários que optimizam a conectividade. Eles concentram e aceleram fluxos de água e sedimentos ao longo do eixo retilíneo da estrada (Kuleno; Lera, 2020; Ribeiro, 2020, 2016). As imagens da Figura 31 da seção 5.4.3 evidenciam esse processo, ilustrando os córregos temporários que se formam sobre as estradas durante as chuvas. Este desenho viário macro conecta-se diretamente a um processo em escala de detalhe: o tráfego de veículos que gera “segregação dos agregados” (Eaton; Gerard; Cate, 1987), em que o material solto se acumula nas margens (formando bermas) e no centro da pista (formando o facão) – Figura 35, canalizando e direcionando ainda mais o fluxo, aprofundando a conectividade induzida e iniciando feições erosivas como sulcos (Alvis; Luce; Istanbulluoglu, 2023; Eaton; Beaucham, 1992; Eaton; Gerard; Cate, 1987; Eaton; Gerard; Dattilo, 1988; Oda, 1995; Ribeiro, 2016; Santos *et al.*, 2019).

**Figura 35** – Evidências de campo do processo erosivo decorrentes da geometria e da segregação dos agregados. a) Bermas na lateral da pista próximo a UA23; b) Facão com escoamento direcionado para trilhas de roda em estrada encaixada próxima à UA1



**Fonte:** Penteado (2024)

#### *A dissipação ineficiente ou inadequada*

Uma vez otimizado e concentrado pela geometria da via, o fluxo carece de elementos eficazes para dissipar sua energia. A investigação de campo revela que a presença de estruturas de drenagem na BHCM é esparsa, insuficiente ou, em alguns casos, inadequada para a magnitude do fluxo induzido. A existência de algumas bacias de contenção e sangrias não é capaz de compensar o problema sistêmico: a falta de planejamento integrado e contínuo para quebrar a conexão estrada-córrego. Em muitos trechos da bacia, a manutenção com motoniveladora aprofunda involuntariamente os canais de escoamento, enquanto a falta de canaletas e a disposição incorreta de algumas sangrias mostram uma desconexão entre a prática de manejo pontual e a compreensão do sistema hidrológico como um todo, como evidenciado pela Figura 33. Problemas semelhantes são relatados por Casarin (2008); Casarin; Oliveira (2009); Demarchi *et al.* (2003); Ferreira (2004); Oda (1995); Ribeiro (2016); Santos *et al.* (2019).

Portanto, não se trata de uma ausência absoluta, mas de uma dissipação crítica e insuficiente. Esta configuração permite que o escoamento superficial acelere, desencadeando processos erosivos ao longo da pista (erosão laminar e em sulcos) e, principalmente, no ponto de descarga final (formação de atoleiros, areiões e ravinas), onde as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de mata galeria acabam sobrecarregadas (BRASIL - MAPA, 2021; Demarchi *et al.*, 2003; Ribeiro, 2016; Santos *et al.*, 2019), conforme ilustra a Figura 36.

**Figura 36** – Evidências de campo dos processos erosivos decorrentes da dissipação ineficiente de energia da enxurrada na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda.

Legenda: a) Ponto final de descarga da estrada do aeroporto UA15; b) Erosão em sulco ao longo do curso da estrada da UA12; c) Material acumulado sobre a pista de acesso da UA7 – erosão laminar; d) Ravinamento de ~80cm na estrada do aeroporto UA3



**Fonte:** Penteado (2023)

A confirmação da natureza sistêmica e induzida do problema está justamente nisso: o sistema viário foi concebido e mantido de forma a não priorizar a ruptura sistemática da conectividade. A implantação correta e generalizada das práticas de manejo centrada em estratégias já propostas para estradas no território brasileiro (BRASIL - MAPA, 2021; Casarin, 2008; Casarin; Oliveira, 2009; Demarchi *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2019) tem, portanto, um objetivo unificador: promover uma desconexão estratégica eficaz, criando áreas de escape que reduzam a velocidade e redirecionem o fluxo antes que sua energia se torne destrutiva.

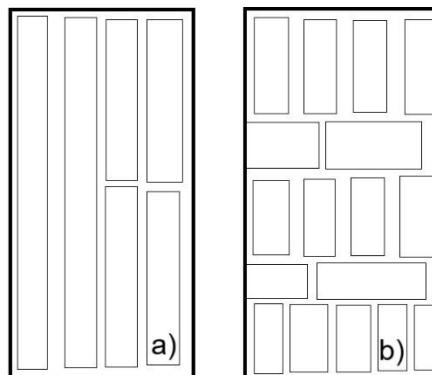
#### *5.5.2- Diretrizes para desconexão estratégica*

Diante do diagnóstico da Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida, as diretrizes de manejo deixam de ser um conjunto de ações isoladas e assumem um propósito unificador estratégico: quebrar sistematicamente a eficiência do sistema em transportar água e sedimentos. As propostas são organizadas em três escalas de intervenção, da mais complexa para a mais simples de ser executada: i) o redesenho da malha viária; ii) a correção da geometria da pista; iii) a implantação de dissipadores de energia.

##### *Redesenho da malha viária*

A intervenção mais profunda, porém, de maior impacto a longo prazo, envolve o redesenho da malha viária para desconectar as estradas dos corpos d'água. Isso pode ser alcançado pela fragmentação dos talhões retangulares alongados, criando unidades menores e desalinhados entre si. Essa estratégia quebra a continuidade retilínea, obrigando o fluxo a ser interceptado pela cobertura vegetal (eucalipto, pastagem ou vegetação nativa) antes de ganhar velocidade e volumes críticos, aproximando a drenagem artificial do padrão dendrítico natural. A Figura 37 apresenta um conjunto de blocos para tentar ilustrar estas situações. O alinhamento das estradas com as curvas de nível, já observado pontualmente na bacia, deve ser generalizado e intensificado, especialmente nos segmentos de maior declividade.

**Figura 37** – Blocos ilustrativos do padrão de talhões: a) atual; b) proposta de dendritização



**Organização:** Penteado (2025)

### *Correções na Geometria da pista*

A intervenção mais imediata e fundamental é a correção da seção transversal das estradas. A maioria das vias na BHCM carece de abaulamento central e cimento para as laterais, concentrando o escoamento no leito carroçável – esse defeito é amplamente descrito e discutido na literatura como “seção transversal inadequada” (Dias Júnior; Palaro, 2014; Ferreira, 2004; Fontenele, 2001; Oda, 1995; Ribeiro, 2016; Santos *et al.*, 2019). A implantação de um perfil transversal adequado, com valetas laterais, é a base para direcionarativamente a água para fora da pista, criando condições para que ela seja captada e manejada por estruturas de drenagem. Esta é a pré-condição para evitar a concentração de fluxo que leva à erosão laminar, em sulco, ao ravinamento e à segregação dos agregados.

Paralelamente, é necessário um manejo adequado do greide. A prática observada durante algumas vezes em campo de revestimento com cascalho no período pré-colheita, ilustra a complexidade desta questão. Embora eleve temporariamente o nível da pista – soterrando feições erosivas e melhorando a trafegabilidade –, a ausência de um material ligante e a estrutura pedológica de textura predominantemente arenosa da bacia fazem com que o material acabe disperso pelo tráfego, pelo escoamento ou ainda acabe incorporado aos substratos mais inferiores do subleito das estradas ao longo dos anos. Esta solução, portanto, atua como um curativo que o próprio sistema desfaz a médio prazo, não alterando a lógica do traçado retilíneo e mantendo as conexões do sistema estrada-córrego com o atenuante de uma rugosidade.

### *Implantação de dissipadores de energia: pontos de fuga controlada*

Uma vez direcionada pela seção transversal, o fluxo requer pontos de fuga controlada e dissipadores de energia. A implantação de vazantes (bigodes, sangrias), valetas e canaletas laterais é urgente e viável. Em trechos críticos, lombadas ou plataformas transversais com declividade próxima a zero podem ser incorporadas ao greide para criar zonas de desaceleração temporária. Essas estratégias também são amplamente documentadas pela literatura (BRASIL - MAPA, 2021; Casarin, 2008; Casarin; Oliveira, 2009; Ribeiro, 2016; Santos *et al.*, 2019) A manutenção regular dessas estruturas é crucial para evitar que se obstruam e percam sua função. Isso vale para as (poucas) caixas de retenção existentes.

Em conjunto, essas diretrizes visam substituir a lógica do fluxo contínuo pela da interceptação e dissipação sistemáticas. A priorização deve recair sobre as áreas de maior declividade e maior contribuição erosiva, identificadas nos cenários críticos modelados. A proteção final dos pontos de descarga nas APPs e matas galeria será uma consequência natural da eficácia dessas intervenções a montante, reduzindo drasticamente a carga de sedimentos que chega nessa parte da paisagem.

#### *5.5.3- Síntese e implicações para o planejamento*

Em síntese, a adoção do conceito de Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida busca superar a simples listagem de problemas e soluções ao fornecer uma estrutura conceitual para explicação da dinâmica erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda de forma sistêmica. As diretrizes propostas, fundamentadas nesse conceito, orientam um planejamento de manejo que evolui da reação aos danos para a gestão proativa dos fluxos de água e sedimentos. Esta abordagem conceitual também pode servir como um modelo analítico para o planejamento conservacionista em outras bacias hidrográficas onde a infraestrutura viária tenha layout de traçado com características semelhantes.

## 6- Considerações Finais

O presente capítulo conclui a avaliação da dinâmica de perda de solos na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, sintetizando as evidências que corroboram o papel central das estradas rurais de leito natural neste processo. As considerações finais organizam-se em resposta aos objetivos estabelecidos, confirmando a hipótese de que a contribuição erosiva dessas estradas é influenciada pela interação entre erosividade das chuvas, a declividade e as práticas de manejo. Por fim, são discutidas as implicações dos resultados, suas contribuições para o campo da Geografia Física e algumas perspectivas de desdobramentos para trabalhos futuros.

O primeiro passo para a modelagem consistiu em caracterizar o agente desencadeador dos processos de perda de solo: a chuva. A aplicação dos testes de Buishand, Mann-Kendall e Pettitt à série histórica da BHCM comprovou uma dinâmica homogênea, livre de tendências significativas ou mudanças abruptas. A subsequente distribuição por classes de quantis revelou, contudo, a variabilidade crítica intrínseca ao clima Aw, sobretudo na classificação mensal que manifestou flutuações pronunciadas. Esta caracterização fundamentou a criação de três cenários de erosividade (Fator R): i) a média histórica ( $EI = 6467,99 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ); as médias das classes de quantis (que variaram de  $0,15 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$  em um agosto Muito Seco até  $4655,09 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$  em um janeiro Muito Chuvoso); iii) os dados de alta resolução temporal da EMA-Arduino, que capturaram a variabilidade de eventos individuais (de  $\sim 4 \text{ MJ.mm. ha}^{-1} h^{-1}$  a  $\sim 109 \text{ MJ.mm. ha}^{-1} h^{-1}$  entre os eventos). O enquadramento desses últimos dados nos quantis foi essencial para definir cenários críticos representativos de EI30, elucidando a grande variabilidade interanual e intra-anual da erosividade no clima Aw.

A obtenção dos demais fatores da EUPS apoiou-se na adaptação da metodologia de Inspeção Visual das Estradas por meio da Rodagem (IVER), que permitiu delimitar 23 Unidades Amostrais (UAs) e coletar 69 amostras de solo. Os resultados estabeleceram um valor médio de erodibilidade (K) de 0,07, enquanto o Fator LS variou de 0,01 a 0,61. Para as estradas, os fatores C e P foram fixados em 1 (solo exposto e sem práticas conservacionistas), contrastando com os valores inferiores atribuídos às margens com cobertura vegetal. A análise complementar do solo revelou texturas predominantemente Arenosas/Franco-Arenosas e uma densidade significativamente maior no leito carroçável em relação às margens.

A integração das variáveis ambientais da EUPS e elementos complementares permitiu vislumbrar o cenário estimado das perdas de solo anuais, por classe de quantil e para eventos recentes a partir de dados de alta resolução temporal. Os resultados do cenário anual com R, K fixos, permitiram isolar o efeito da declividade, do uso e cobertura e das práticas de manejo sobre a perda de solos na BHCM, revelando o grande poder de contribuição das estradas sobre a perda de solo. Registraram-se perdas pouco significativas para as margens com algum tipo de cobertura vegetal (predominantemente inferiores a  $0,5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) chegando a valores superiores a  $300 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na estrada da UA com maior declividade, uma diferença de ~600 vezes.

Os valores de A (perda de solos) obtidos a partir das classes de quantil reforçam o caráter determinante da contribuição das estradas para o processo e revelam a sazonalidade como importante elemento regulador. Da mesma forma que nos cenários das médias, o cenário quantílico também revela que as perdas de solo nas margens vegetadas são pouco significativas (em geral, inferiores a  $0,1 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ) mesmo em meses críticos como janeiro Muito Chuvoso, enquanto o foco do risco erosivo concentra-se preponderantemente nas estradas com perdas mais expressivas em UAs onde a declividade é maior (variando de ~7  $\text{ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  – em um julho Muito Chuvoso a ~49  $\text{ton.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$  na mesma classe quantílica de janeiro – 7 vezes mais para a mesma pista, em diferentes períodos do ano). Sendo assim, os cenários quantílicos permitem concluir que a sazonalidade estabelece uma janela climática sazonal clara de risco de perda de solo potencial que só é rompida mediante a ocorrência de eventos extremos fora desse enquadramento. Complementarmente, a análise das perdas de solo com base nos quantis permitiu constatar que a declividade atua de forma consistente como amplificador final do processo mostrando que uma vez estabelecida a fonte (estrada), deflagrado o agente (chuva) o relevo local determina a intensidade final do processo de perda de solo – comprovado pela constância de variação de perdas entre as estradas ao longo do ano em diferentes unidades amostrais.

A análise da perda de solo a partir dos valores de EI30 empíricos mantendo fixos K, LS, C e P para cada UA permitiu a simulação de cenários realistas de perda de solo (A) para cada evento individual e para os totais mensais de janeiro e abril de 2023. Esta aplicação corrobora as aplicações anteriores ao demonstrar que a perda de solo nas estradas é sistematicamente de ordem de magnitude maior que nas

margens. A comprovação desse dado com base empírica revelou um comportamento de constância de magnitude de perda de solo entre as diferentes classes de uso e entre as estradas (exemplo: A estrada da UA7 apresentou 12 vezes mais perdas que sua margem esquerda em todos os eventos). Essa constância revela um comportamento previsível da paisagem mediante aplicação da EUPS que pode contribuir para o planejamento de ações práticas de manejo conservacionista. Na prática, isso significa que, conhecida a perda de solo de um evento padrão, é possível estimar com confiança a perda para eventos futuros de maior ou menor magnitude naquele mesmo local, se mantidas as condições da paisagem.

Corroborando o processo de perda de solo de acordo com o gradiente de declividade constatado nos cenários dos quantis, a análise dos dados de alta resolução temporal, permitiu avaliar que os maiores contrastes de perda de solo estão entre as classes extremas de declividade. Entretanto, o maior salto proporcional entre intervalos de gradientes ocorre nas declividades mais baixas, evidenciando que mesmo variações topográficas modestas podem deflagrar expressivo aumento de perdas de solo em sistemas não manejados ou de manejo precário.

A avaliação integrada de todos os cenários de perda de solo (média histórica, quantis e alta resolução temporal) permitiu concluir que as estradas, bem como a declividade são características dominantes do processo de perda de solo na BHCM. Concomitantemente, permitiu também a validação da abordagem por quantis a partir dos dados de alta resolução temporal, uma vez que os valores de A medidos a partir dos dados de alta resolução temporal se aproximaram consistentemente dos cenários modelados com dados médios dos quantis (janeiro-EMA próximo ao limiar Seco com variação de ~15% menos comparado à classe Seco para o mesmo mês dos quantis). Além disso, o registro de eventos extremos pela EMA-Arduino em abril de 2023, permitiu compreender que, apesar de estarem cerca de 128% acima da classe Muito Chuvoso dos quantis para abril, não se representam uma anomalia à realidade climática esperada para a bacia, uma vez que se assemelham à magnitude de um cenário de janeiro Chuvoso dos quantis, portanto, com lastro de ocorrência na série histórica e, portanto, não inserindo um risco desconhecido, mas redefinindo a janela de risco sazonal.

Um dos refinamentos mais importantes proporcionado pela abordagem dos quantis é a distinção entre a Normal Climatológica e a classe quantílica Normal nos meses críticos da estação seca. Nesses períodos a Normal climatológica se enquadra

na classe Chuvoso dos quantis devido a presença dos *outliers* na série histórica. A classificação por quantis corrige essa distorção porque insere a condição mais provável e recorrente de seca ou baixas quantidades de chuva mascarada pela média, oferecendo uma base muito mais realista e representativa para o planejamento estratégico na BHCM.

A síntese das simulações permite compreender que este exercício vai além da modelagem, ele se constitui um banco de dados de cenários plausíveis fundamentado em registros históricos da dinâmica das precipitações na BHCM. Os valores de perda de solo não se restringem a um mês ou ano específico, mas representam estimativas robustas para alturas de chuva que já ocorreram e, portanto, podem se repetir, constituindo uma base quantitativa e fisicamente consistente para orientar o planejamento conservacionista por revelar um padrão sistêmico da dinâmica erosiva e de perda de solos na bacia.

O comportamento sistêmico das estradas como principal deflagrador dos processos de perda de solo e erosão na BHCM, permitiu cunhar uma abordagem conceitual para explicação dessa dinâmica erosiva, a Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida. Esta abordagem considera o processo histórico de uso e ocupação da bacia como indutor, portanto, determinante, para o estabelecimento das formas retilíneas das estradas que geram conectividade entre o fluxo hidráulico das chuvas sobre essas estruturas com a rede de drenagem fluvial da bacia amplificando os processos erosivos em áreas de descarga de sedimentos. As diretrizes propostas, fundamentadas neste conceito, orientam o planejamento para evoluir da reação aos danos para a gestão proativa dos fluxos de água e sedimentos a partir da desconexão estratégica dos fatores desencadeadores da perda de solos e dos diferentes tipos de erosão. A abordagem conceitual pode servir como modelo analítico para o planejamento conservacionista em outras bacias hidrográficas onde a infraestrutura viária tenha layout de traçado com características semelhantes.

Reconhecidamente, a modelagem com a EUPS é uma estimativa, portanto é sempre recomendável a validação empírica contínua das previsões a partir da avaliação em escala de detalhe com a avaliação de parcelas de erosão, com o monitoramento sedimentológico, com a simulação de diferentes intensidades de chuva para avaliação das perdas em parcelas representativas e com a dinâmica hidrossedimentológica. Como sugestões adicionais de trabalhos e investigações futuras, recomenda-se ainda: o refinamento da atribuição dos valores de C e P para

as diferentes classes de uso, conservação e práticas de manejo; a implementação e o monitoramento em caráter experimental das diretrizes de manejo propostas em algumas UAs críticas; e, a expansão do estudo para incluir diferentes tipos de estradas (cascalhadas, pavimentadas) para uma análise comparativa ainda mais abrangente.

Por fim, o resultado deste trabalho demonstra, por meio de uma abordagem multi-escalar, que hipótese inicial é plenamente válida: a contribuição erosiva das estradas rurais de leito natural é efetivamente influenciada pela interação sinérgica entre a erosividade das chuvas, a declividade do terreno e as práticas de manejo. No contexto da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, as estradas consolidam-se como a fonte primária de sedimento, a declividade atua como amplificador decisivo da perda de solo, e o manejo (ou sua ausência) constitui o elemento de controle passível de intervenção. A abordagem conceitual da Conectividade Hidrológica Retilínea Induzida emerge, portanto, não apenas como uma explicação para a dinâmica erosiva local, mas como um modelo analítico transferível para áreas com dinâmicas de paisagem semelhante, fornecendo um arcabouço para o planejamento conservacionista em bacias hidrográficas análogas. Esta abordagem possibilita a evolução de uma gestão reativa para uma gestão proativa dos fluxos hidrossedimentares, fundamentada no entendimento sistêmico, portanto, complexo, da paisagem.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. *et al.* Fragilidade de solos: Uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (Orgs.). Solos Frágeis: Caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília-DF: EMBRAPA, 2015. p. 25–50.
- ALMEIDA, Cristiana O. S. *et al.* Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: Distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 2, p. 142–152, 29 nov. 2012.
- ALMEIDA, Brivaldo Gomes de *et al.* Densidade do Solo. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* (Orgs.). Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2017. p. 65–75.
- ALMEIDA FILHO, L. da S.; ALEIXO, N. C. R. Anos-padrão de precipitação pluvial e temperatura do ar em Coari/AM. Cidades verdes, v. 08, n. 19, p. 56–70, 2020.
- ALVES, Leonardo Sehn. CIÊNCIA CIDADÃ POR MEIO DE ESTAÇÕES MODULARES: CONSTRUINDO AS CONDIÇÕES PARA UM MONITORAMENTO METEOROLÓGICO COLABORATIVO. Dissertação de mestrado—Porto Alegre: UFRGS, 27 fev. 2018.
- ALVIS, A. D.; LUCE, C. H.; ISTANBULLUOGLU, E. How does traffic affect erosion of unpaved forest roads? Environmental Reviews, v. 31, n. 1, p. 182–194, 1 mar. 2023.
- ANDRADE, J. S.; ALEIXO, N. C. R.; OLIVEIRA, L. B. Dinâmica Pluvial em Manaus e Ritmo Climático em Ano-Padrão Chuvoso. Revista Científica ANAP Brasil, v. 13, n. 29, p. 107–117, 2020.
- ANDUALEM, Tesfa Gebrie *et al.* Multi-Method Comparative Analysis of Hydroclimatic Trends and Variability in Dry Creek Catchment, South Australia. Earth Systems and Environment, v. 8, n. 4, p. 1751–1776, 29 dez. 2024.
- ANTUNES, Adriano de Souza. Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba - SP. São Paulo: Universidade de São Paulo, 11 set. 2015.
- ARANHA-SILVA, Edima *et al.* Industrialização, Dinâmica territorial e Implicações Socioambientais em Mato Grosso do Sul/BR. Revista Geográfica de América Central, v. 2, p. 1–15, 2011.
- ARMOND, Núbia Beray; SANT'ANNA NETO, João Lima. ENTRE EVENTOS E EPISÓDIOS: RITMO CLIMÁTICO E EXCEPCIONALIDADE PARA UMA ABORDAGEM GEOGRÁFICA DO CLIMA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, p. 5–28, 1 ago. 2017.
- BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e Conservação dos Solos:

conceitos, temas e aplicações. 9. ed. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil, 2014. p. 195–227.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 5, p. 717–726, 2001.

BACK, A. j. Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica: aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos. *Boletim Técnico EPAGRI*, n. 210, p. 1–81, jun. 2023.

BARATELLI, A. E. S.; MEDEIROS, G. N. de; LUIZ, L. F. A expansão do eucalipto e a dinâmica da pecuária no município de Três Lagoas/MS. *Pegada on line*, v. 21, n. 3, p. 161–182, 2020.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. *Conservação do Solo*. 9. ed. São Paulo - SP, Brasil: Ícone, 2014.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *In:* GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). *Erosão e Conservação de solos: conceitos temas e aplicações*. 9. ed. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil, 2014. p. 269–300.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In:* VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. 3. ed. Rio de Janeiro - RJ : Bertrand Brasil, 2010. p. 153–192.

BRASIL. LEI 9433/97. . 8 jan. 1997.

BRASIL. RESOLUÇÃO N.32 - CNRH. . 15 out. 2003.

BRASIL. LEI N° 14142, DE 19 DE ABRIL DE 2021. . 2021.

BRASIL - MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Estradas Rurais - Orientações para construção, adequação e manutenção*. . 2021, p. 42.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRASNPORTE - DNIT. *Manual de Conservação Rodoviária*. Rio de Janeiro - RJ: [S.n.].

CAMARGO CORRÊA, C. M. Perdas do solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no planalto catarinense. *Tese*—Curitiba - PR: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 25 nov. 2005.

CÂNDIDO, Bernardo Moreira *et al.* Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1565–1575, out. 2014.

CARVALHO, D. F. de; *et al.* Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 7–14, 2005.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães de. As Bacias Hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 36, p. 26–43, 2014.

CARVALHO, Maria Julia Oliveira. Avaliação subjetiva da qualidade do tráfego em estradas não pavimentadas. Trabalho de conclusão de curso—Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 15 dez. 2022.

CASARIN, R. D. Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. *Dissertação de mestrado*—Botucatu: UNESP, ago. 2008.

CASARIN, Rui Donizete; OLIVEIRA, Eduardo Luiz de. *CONTROLE DE EROSÃO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS, UTILIZANDO SISTEMA DE TERRACEAMENTO COM GRADIENTE ASSOCIADO A BACIAS DE CAPTAÇÃO*. *IRRIGA*, v. 14, n. 4, p. 548–563, 18 jun. 2009.

CASTRO, W. J. de *et al.* Erodibilidade de solos no Cerrado Goiano. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, p. 305–320, 2011.

CHECCHIA, T. Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo de emergia na Bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner - Santa Catarina. *Dissertação de mestrado*—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

CNT, . CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. *Anuário CNT do Transporte - Estatísticas consolidadas - 2022*. [S.I.: S.n.].

CORBO, Anna Regina *et al.* CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO (RJ) PELA TÉCNICA DOS QUANTIS. *In: JOÃO PESSOA - PARAÍBA - BRASIL*: ago. 2021.

DA SILVA, Gustavo Henrique Pereira; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; TEIXEIRA, Danielle Cardozo Frasca. Análise temporal da temperatura e das chuvas a partir da técnica dos quantis aplicada às cidades de Rancharia-SP e Presidente Prudente-SP. *Terra Livre*, v. 1, n. 58, p. 223–250, 2022.

DECCO, H. F. Modelagem e distribuição espacial e temporal de processos erosivos em solos formados de arenito e basalto no Paraná - BR. *Tese de Doutorado*—Londrina - PR: Universidade Estadual de Londrina , 2 jul. 2021.

DELCOL, Rafaela Fabiana Ribeiro; BAPTISTA, Aryel Brunelli. ANÁLISE DOS VAZIOS URBANOS NA ÁREA CENTRAL DE TRÊS LAGOAS-MS. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 13, n. 1, p. 469–490, 1 mar. 2024.

DELCOL, Rafaela Fabiana Ribeiro; MILANI, Patricia Helena. A produção do espaço urbano em Três Lagoas – MS com base na dinâmica demográfica. *GEOGRAFIA* (Londrina), v. 31, n. 2, p. 87, 3 jul. 2022.

DEMARCHI, L. C. *et al.* Adequação de Estradas Rurais. *Campinas - SP*: [S.n.].

DIAS JÚNIOR, G. dal B.; PALARO, K. L. Avaliação da necessidade de readequação de estradas rurais: Estudo de caso em trecho de estrada não pavimentada no município de Pato Branco(PR). Trabalho de Conclusão de Curso - TCC—Pato Branco: UTFPR, 2014.

DONAGEMMA, Guilherme Kangussu *et al.* Análise Granulométrica. *In:* TEIXEIRA, Paulo César *et al.* (Orgs.). Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2017. p. 95–116.

DUBREUIL, Vincent *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. Confins, v. 37, n. 37, 24 set. 2018.

EATON, R. A.; BEAUCHAM, R. E. Unsurfaced Road Maintenance Management. [S.I. : S.n.].

EATON, R. A.; GERARD, S.; CATE, D. W. Rating Unsurfaced Roads - A field manual for measuring maintenance problems. Special Report - US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory, 14 out. 1987.

EATON, R. A.; GERARD, S.; DATTILO, R. S. A method for rating unsurfaced roads. Northern Engineer, v. 21, p. 30–40, 1988.

FERREIRA, Fábio Mutti. Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não-pavimentada. Dissertação de mestrado—Campinas - SP: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 26 maio 2004.

FONTENELE, H. B.; SILVA JÚNIOR, C. A. P. da. Apreciação de método de avaliação das condições superficiais das estradas rurais não pavimentadas utilizadas no escoamento da safra agrícola. *In:* Ponta Grossa - PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, ago. 2006. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/agronomia/37%20APRECIACAO%20DE%20METODO%20AVALIA%20DAS%20CONDICOES%20SUPERF%20ESTRA%20RU.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2024

FONTENELE, Heliana Barbosa. Estudo para adaptação de um método de classificação de estradas não pavimentadas às condições do município de São Carlos/SP. Dissertação de Mestrado—São Carlos - SP: Universidade de São Paulo (USP), 26 nov. 2001.

FOURNIER, Frédéric. Climat et Érosion - La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Paris: PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE, 1960.

FREITAS, Marina de. Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo. Trabalho de Conclusão de Curso—Porto Alegre: UFRGS, 2018.

GALDINO, S. *et al.* Modelagem espacial da erosão do solo para diferentes usos da terra em áreas cultivadas com seringueiras em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo: 0103-7811. Campinas - SP: [S.n.].

GETNET, Girma Tilahun; BANTIDER DAGNEW, Amare; AYAL, Desalegn Yayeh. Spatiotemporal variability and trends of rainfall and temperature in the tropical moist montane ecosystem: Implications to climate-smart agriculture in Geshy watershed, Southwest Ethiopia. *Climate Services*, v. 30, p. 1–9, abr. 2023.

GOMES, Weslen Manari. Fragilidade potencial natural da bacia hidrográfica do córrego moeda, Três Lagoas/MS. Dissertação de mestrado—Três Lagoas - MS: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 24 ago. 2016.

GRACE III, J. M. Determining the Range of Acceptable Forest Road Erosion: ASABE Annual International meeting. Providence - RI: [S.n.].

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e conservação de solos: conceitos, temas e aplicações* . 9. ed. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil, 2014. p. 17–55.

HAWKS, Brent S. *et al.* Linkages between Forestry Best Management Practices and erosion in the southeastern U.S. *Journal of Environmental Management*, v. 305, p. 114411, mar. 2022.

IBGE. Manual Técnico de Pedologia. 3. ed. Rio de Janeiro - RJ: IBGE, 2015.

IBGE, . INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapeamento de recursos naturais do Brasil: Escala 1:250.000 - Documentação Técnica Geral. Rio de JaneiroIBGE, , 2018.

IBGE, . Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - PEVS, 2024. PEVS, v. 39, p. 1–8, 2024.

JORDÁN, A.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*, v. 255, n. 3–4, p. 913–919, mar. 2008.

KASTRIDIS, Aristeidis. Impact of Forest Roads on Hydrological Processes. *Forests*, v. 11, n. 11, p. 1201, 14 nov. 2020.

KULENO, M. M.; LERA, E. Z. Cause and effects of unpaved road deterioration - a review. *Global Scientific Journal*, v. 8, n. 1, p. 3104–3113, jan. 2020.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1996.

LIMA, C. G. da R. *et al.* Metodologias indiretas de mensuração da erodibilidade do solo e caracterização da variabilidade espacial. *Mercator*, v. 20, n. 20023, 15 ago. 2021.

LIMA, E. de P. *et al.* Erosividade da Chuva do Brasil. Rio de Janeiro - RJ: [S.n.].

LIMA FARIAS, T. R. *et al.* Unpaved rural roads as source areas of sediment in a watershed of the Brazilian semi-arid region. *International Journal of Sediment Research*, v. 34, n. 5, p. 475–485, out. 2019.

LOMBARDI NETO, Francisco; MOLDENHAUER, William Calvin. EROSIVIDADE DA CHUVA: SUA DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO EM CAMPINAS (SP). *Bragantia*, p. 189–196, 23 dez. 1992.

LUCE, Charles H. Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads. *Restoration ecology*, v. 5, n. 3, p. 265–270, 1997.

MACHADO, Carlos Cardoso *et al.* Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. *Revista Árvore*, v. 27, n. 3, p. 295–300, 12 maio 2003.

MALIK, Anurag *et al.* Application of non-parametric approaches to identify trend in streamflow during 1976–2007 (Naula watershed). *Alexandria Engineering Journal*, v. 59, n. 3, p. 1595–1606, jun. 2020.

MANNIGEL, Anny Rosi *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 24, n. 5, p. 1335–1340, 30 abr. 2008.

MATO GROSSO DO SUL, . Governo do Estado. Sistema Rodoviário de Mato Grosso do Sul. [S.I.: S.n.]

MEDEIROS, R. B. *et al.* Uso, cobertura e manejo da terra e sua influência na velocidade, vazão e transporte de sedimentos em suspensão na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS. *Revista Geografia Acadêmica*, v. 12, n. 2, p. 37–54, 2018.

MEDEIROS, R. B.; GOMES, W. M.; PINTO, A. L. Implicações dos desvios climáticos e uso e ocupação da terra em mananciais hídricos: Um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 11, n. 6, p. 101–115, 2015.

MEDEIROS, Rafael Brugnolli. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM UM ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MOEDA, TRÊS LAGOAS/MS EM 2014. Dissertação de mestrado—Três Lagoas-MS: UFMS, 2016.

MEDEIROS, Rafael Brugnolli *et al.* PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ANÁLISE DA EROSIVIDADE EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: UM ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MOEDA, TRÊS LAGOAS/MS. *Revista da Anpege*, v. 12, n. 19, p. 328–362, 2016.

MEDEIROS, Rafael Brugnoli *et al.* MORFOMETRIA DO RELEVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MOEDA, TRÊS LAGOAS/MS. Formação (Online), v. 1, n. 24, 31 maio 2017.

MENDONÇA, Hélio Sousa. SPI e I2C. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~hsm/misc/old/comp/spi-e-i2c/>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

MENEZES, Ana Carla dos Santos. Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo. Dissertação de Mestrado—Juazeiro - BA - Brasil: UNIVASF, 18 out. 2019.

MOLINA JÚNIOR, W. F. Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017.

MONTEIRO, C. A. de F. ANÁLISE RITMICA EM CLIMATOLOGIA PROBLEMAS DA ATUALIDADE CLIMÁTICA EM SÃO PAULO E ACHEGAS PARA UM PROGRAMA DE TRABALHO. p. 1–21, 1971.

MONTEIRO, Jander Barbosa; ROCHA, Alexsandra Bezerra; ZANELLA, Maria Elisa. TÉCNICA DOS QUANTIS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ANOS SECOS E CHUVOSOS (1980-2009): BAIXO CURSO DO APODI-MOSSORÓ/RN. Geography Department, University of Sao Paulo, p. 232–249, 2012.

MONTEIRO, Jander Barbosa; ZANELLA, Maria Elisa; PINHEIRO, Daniel Rodriguez de Carvalho. contribuição da técnica dos quantis na identificação de extremos de chuva e de uma metodologia para detectar situações de desastre natural no semiárido cearense. Revista Geografias, v. 17, n. 2, p. 1–16, 6 jan. 2022.

MORO, Iulo Pessotti *et al.* Tendências em séries temporais meteorológicas e seus impactos na evapotranspiração de referência diária. Revista Brasileira de Climatologia, v. 36, p. 202–224, 4 fev. 2025.

MOTA, Wilson Nogueira *et al.* SMUT - SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO. REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG, v. 26, n. 1, p. 89–99, 23 fev. 2018.

NASCIMENTO, D. T. F.; SOUZA NETO, J. M. de; NUNES, L. C. Definição dos anos-padrão para o estudo da pluviometria do estado de Goiás e do Distrito Federal. Brazilian Geographical Journal, v. 6, n. 1, p. 272–290, 2015.

NYHAN, J. W.; LANE, L. J. Erosion Control Technology: A User’s Guide to the Use of the Universal Soil Loss Equation at Waste Burial Facilities. Los Alamos - NM: [S.n.].

ODA, Sandra. Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas. Dissertação de mestrado—São Carlos: Universidade de São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, F. P. de *et al.* Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. *Scientia Florestalis*, v. 38, n. 87, p. 331–339, set. 2010.

OLIVEIRA, P. T. S. *et al.* Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 1, p. 69–79, fev. 2012.

OMM, .Organización Meteorológica Mundial. Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. 2014. ed. Genève 2: Organización Meteorológica Mundial, 2014. v. 8

PENTEADO, K. R.; PORANGABA, G. F. O. Comparativo das precipitações registradas por Estações HidroTermoPluviométricas (EHTPs) baseadas em Arduino com estação A704 do INMET. *In: Aquidauana - MS - Brasil: out. 2024.*

PENTEADO, K. R.; PORANGABA, G. F. O. Dinâmica das precipitações em Três Lagoas – MS: caracterização por quantis para subsídio à gestão hídrica e ao planejamento municipal. *Revista Confins*, v. NO PRELO, 2025.

PENTEADO, K. R.; PORANGABA, G. F. O.; PINTO, A. L. Comparativo dos registros de temperatura de uma Estação Meteorológica Automática Baseada em Arduino com Registros de referência INMET e Climate-Data. *In: Três Lagoas - MS: maio 2023. Disponível em: <[https://ppggeografiacptl.ufms.br/files/2024/01/4-Kleber-Rodrigo-Penteado\\_corrigido.docx.pdf](https://ppggeografiacptl.ufms.br/files/2024/01/4-Kleber-Rodrigo-Penteado_corrigido.docx.pdf)>.* Acesso em: 27 ago. 2024

PENTEADO, Kleber Rodrigo. Mercado imobiliário e dinâmica de valorização dos terrenos urbanos em Três Lagoas – MS – Brasil no período de 2006 a 2013. Dissertação de Mestrado—Três Lagoas: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 15 ago. 2014.

PENTEADO, Kleber Rodrigo; PINTO, André Luiz; PORANGABA, Gislene Figueiredo Ortiz. COMPARATIVO ENTRE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA COM ARDUINO E SENsoRES DE REFERÊNCIA. *In: Campina Grande: Editora Realize, dez. 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/94029>>.* Acesso em: 11 jan. 2023

PEREIRA, A. R. Determinação da Perda de Solo. *Boletim Técnico DEFLOR Bioengenharia*, v. 1, n. 1, p. 1–20, mar. 2006.

PEREIRA, Heloísa Helena Gianotti. INDICES DE EROSIVIDADE DA CHUVA DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÕES COM A PRECIPITAÇÃO EM PIRACICABA-SP. Dissertação de mestrado—Piracicaba, SP - Brasil: Universidade de São Paulo, ago. 1983.

PINKAYAN, Subin. CONDITIONAL PROBABILITIES OF OCCURRENCE OF WET AND DRY YEARS OVER A LARGE CONTINENTAL AREA. Fort Collins - Colorado: [S.n.]. Disponível em: <[https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/61293/HydrologyPapers\\_n12.pdf](https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/61293/HydrologyPapers_n12.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2022.

PIROLI, Edson Luís. Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas. São Paulo: Editora UNESP, 2022.

PORTO, Mônica, F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de Bacias Hidrográficas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

REBUCCI, L. C. S. *et al.* EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. *In:* Campo Grande: ABRHidro, 2009.

RENESTRO, Carolina Halfeld. Avaliação objetiva e adequação do método para estradas não pavimentadas dentro da FAYS - Fazenda da Aeronáutica, em Pirassununga, SP. Trabalho de conclusão de curso—Ilha Solteira - SP: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 15 mar. 2023.

RIBEIRO, L. C. P. Establishing a methodology for unpaved and paved roads management system. Tese de doutorado—Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 9 out. 2020.

RIBEIRO, Laura Carine Pereira. Avaliação funcional da superfície de rolamento e práticas de manutenção com viés ambiental aplicadas a uma estrada de terra de Viçosa-MG. Dissertação de Mestrado—Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 19 fev. 2016.

ROSS, J. L. S. Bacia Hidrográfica: Unidade de análise integrada. *In:* MORATO, R. G. *et al.* (Orgs.). Análise integrada em bacias hidrográficas: Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo. São Paulo - SP: FFLCH/USP, 2019. p. 27–43.

SAMPAIO, B. D. S. Modelagem preditiva, avaliação e valoração de serviços ecossistêmicos de estoque e sequestro de carbono na bacia hidrográfica do Córrego Bebedouro, Mato Grosso do Sul, Brasil. Tese de doutorado—Três Lagoas - MS: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, 5 out. 2023.

SANCHES, Rafael Grecco *et al.* Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino. *In:* Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. [S.I.]: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 2024–2035.

SANTA'ANNA NETO, João Lima. A EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DE SÃO PAULO. Geography Department, University of Sao Paulo, v. 9, p. 35–49, 1995.

SANTOS, A. R. dos *et al.* Estradas Vicinais de Terra - Manual técnico para conservação e reparação. 3. ed. São Paulo: ABGE-IPT, 2019.

SANTOS, H. G. dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2018.

SEMADESC, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul. Campo Grande - MS: Editora UEMS, 2010.

SENA, Jaricélia Patrícia de Oliveira *et al.* Caracterização da Precipitação na Microrregião do Cariri Paraibano por meio da Técnica dos Quantis (Characterization of Precipitation in Cariri Paraiba Microregion Through Technique of Quantile). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 5, p. 871–879, 22 jan. 2015.

SILVA, Bárbara Pereira Christofaro *et al.* Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 4, p. 432–442, ago. 2016.

SILVA, E. C. da. Estimativa da perda de solo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Sapo, Rio Verde - GO. Dissertação de mestrado—Rio Verde: Instituto Federal Goiano, fev. 2023.

SILVA, Luzilene de Oliveira Souza da. Implicações do uso, ocupação e manejo da terra na quantidade e qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas – MS. Dissertação de mestrado—Três Lagoas - MS: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2013.

SILVA, Taciano Oliveira da *et al.* Condições de serventia de estradas não-pavimentadas: estudo de caso aplicado às vias do município de Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 33, n. 2, 20 abr. 2011.

SILVA, Darllan Collins da Cunha e *et al.* IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PERDA DE SOLO ACIMA DO TOLERÁVEL USANDO NDVI PARA O CÁLCULO DO FATOR C DA USLE. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 42, p. 72, 21 dez. 2017.

SMITH, Kimberly; SMITH, Robert. Test and Calibrate DHT22 Hygrometers. Disponível em: <[https://www.kandrsmit.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib\\_dht22.html](https://www.kandrsmit.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_dht22.html)>. Acesso em: 27 mar. 2023.

SOLGI, Ahmad *et al.* Evaluating the Effectiveness of Mulching for Reducing Soil Erosion in Cut Slope and Fill Slope of Forest Roads in Hyrcanian Forests. *Croatian journal of forest engineering*, v. 42, n. 2, p. 259–268, 31 mar. 2021.

SOUZA, Denivaldo Ferreira de; SILVA, Luzilene de Oliveira Souza da; PINTO, André Luiz. Qualidade física, química e biológica sazonal das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Moeda em Três Lagoas/MS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 1, p. 196–210, 29 fev. 2020.

TAVARES, Antônio Carlos. Critérios de escolha de ANOS PADRÔES para análise rítmica. *GEOGRAFIA*, p. 79–87, 1976.

TEIXEIRA, David Bruno de Sousa *et al.* Recent advancements in rainfall erosivity assessment in Brazil: A review. *CATENA*, v. 219, p. 106572, dez. 2022.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight D. Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning. [S.I.]: United States Department of Agriculture, 1978. v. 537

XAVIER, J. P. de S. *et al.* Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 3, p. 859–875, 2019.

XAVIER, T. de M. B. S.; AMBRIZI, T.; SILVA, M. E. S. APLICAÇÕES DE MODELOS E TÉCNICAS NA DETECÇÃO DE VARIABILIDADE NO CLIMA E EXTREMOS. [S.I.]: BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 2017.

YOLMEH, G. *et al.* Effect of the standard levels of forest road segments on soil loss. *Journal of Forest Science*, v. 67, n. 2, p. 80–86, 8 fev. 2021.

ZAVATTINI, J. A. As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática. [S.I.]: Editora UNESP, 2009.

**APÊNDICE A - Variação da Perda de solo mensal por classe de quantil para todas as Unidades Amostrais**

As planilhas que compõe este apêndice expressam variação da perda de solo em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> para diferentes cenários de erosividade em todas Unidades Amostrais estabelecidas na Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda para esta pesquisa.

**Tabela A1- Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da Normal Climatológica das precipitações da Bacia do Córrego Moeda**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>P1D</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P1C</b>	8,93	6,21	4,81	1,83	0,97	0,26	0,13	0,21	1,25	2,17	4,44	6,32
<b>P1E</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P2D</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P2C</b>	8,38	5,83	4,51	1,72	0,91	0,25	0,13	0,20	1,17	2,03	4,16	5,93
<b>P2E</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P3D</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P3C</b>	15,15	10,54	8,16	3,11	1,64	0,44	0,23	0,36	2,12	3,67	7,53	10,72
<b>P3E</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P4D</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P4C</b>	40,86	28,42	22,01	8,38	4,42	1,20	0,61	0,98	5,72	9,91	20,30	28,92
<b>P4E</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P5D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	0,55	0,39	0,30	0,11	0,06	0,02	0,01	0,01	0,08	0,13	0,28	0,39
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	0,34	0,23	0,18	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,17	0,24
<b>P6C</b>	3,95	2,75	2,13	0,81	0,43	0,12	0,06	0,09	0,55	0,96	1,96	2,80
<b>P6E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P7D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P7C</b>	13,83	9,62	7,45	2,84	1,50	0,41	0,21	0,33	1,94	3,35	6,87	9,79
<b>P7E</b>	1,18	0,82	0,63	0,24	0,13	0,03	0,02	0,03	0,16	0,29	0,58	0,83
<b>P8D</b>	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P8C</b>	16,30	11,34	8,78	3,34	1,76	0,48	0,24	0,39	2,28	3,95	8,10	11,54
<b>P8E</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P9D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P9C</b>	1,91	1,33	1,03	0,39	0,21	0,06	0,03	0,05	0,27	0,46	0,95	1,35
<b>P9E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,07	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
<b>P10C</b>	43,57	30,31	23,47	8,93	4,71	1,28	0,65	1,04	6,10	10,57	21,65	30,83
<b>P10E</b>	0,07	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
<b>P11D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
<b>P11C</b>	13,83	9,62	7,45	2,84	1,50	0,41	0,21	0,33	1,94	3,35	6,87	9,79
<b>P11E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
<b>P12D</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P12C</b>	35,34	24,58	19,04	7,25	3,82	1,04	0,53	0,84	4,95	8,57	17,56	25,01

<b>P12E</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P13D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P13C</b>	26,05	18,12	14,03	5,34	2,82	0,76	0,39	0,62	3,65	6,32	12,94	18,43
<b>P13E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P14D</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P14C</b>	35,87	24,95	19,32	7,35	3,88	1,05	0,54	0,86	5,03	8,70	17,82	25,39
<b>P14E</b>	0,11	0,07	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,08
<b>P15D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P15C</b>	4,47	3,11	2,41	0,92	0,48	0,13	0,07	0,11	0,63	1,08	2,22	3,16
<b>P15E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P16D</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P16C</b>	50,37	35,04	27,13	10,33	5,45	1,48	0,75	1,20	7,06	12,21	25,02	35,65
<b>P16E</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P17D</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P17C</b>	20,11	13,99	10,84	4,12	2,17	0,59	0,30	0,48	2,82	4,88	9,99	14,24
<b>P17E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P18D</b>	0,09	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,06
<b>P18C</b>	61,12	42,51	32,92	12,53	6,61	1,79	0,91	1,46	8,56	14,82	30,36	43,25
<b>P18E</b>	0,09	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,06
<b>P19D</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P19C</b>	41,76	29,05	22,50	8,56	4,51	1,23	0,62	1,00	5,85	10,13	20,75	29,55
<b>P19E</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P20D</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,07
<b>P20C</b>	66,89	46,53	36,04	13,72	7,23	1,96	1,00	1,60	9,37	16,22	33,23	47,34
<b>P20E</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,07
<b>P21D</b>	0,11	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,08
<b>P21C</b>	72,75	50,61	39,19	14,92	7,87	2,13	1,09	1,74	10,19	17,64	36,14	51,49
<b>P21E</b>	0,11	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,08
<b>P22D</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P22C</b>	50,37	35,04	27,13	10,33	5,45	1,48	0,75	1,20	7,06	12,21	25,02	35,65
<b>P22E</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P23D</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P23C</b>	50,37	35,04	27,13	10,33	5,45	1,48	0,75	1,20	7,06	12,21	25,02	35,65
<b>P23E</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05

**Organização:** Penteado (2025)

**Tabela A2-** Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da classe quantílica Muito Seco das precipitações da Bacia do Córrego Moeda

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>P1D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P1C</b>	1,86	0,73	0,54	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,14	0,59	0,96
<b>P1E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P2D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P2C</b>	1,75	0,68	0,50	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,56	0,90
<b>P2E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P3D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P3C</b>	3,16	1,23	0,91	0,19	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,24	1,01	1,63
<b>P3E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P4D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P4C</b>	8,52	3,32	2,46	0,50	0,13	0,00	0,00	0,00	0,09	0,64	2,71	4,41
<b>P4E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P5D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	0,12	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	0,07	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04
<b>P6C</b>	0,82	0,32	0,24	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,26	0,43
<b>P6E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P7D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P7C</b>	2,88	1,12	0,83	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,92	1,49
<b>P7E</b>	0,25	0,10	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,13
<b>P8D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P8C</b>	3,40	1,32	0,98	0,20	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,25	1,08	1,76
<b>P8E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P9D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P9C</b>	0,40	0,16	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,21
<b>P9E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P10C</b>	9,08	3,54	2,62	0,54	0,14	0,00	0,00	0,00	0,10	0,68	2,89	4,70
<b>P10E</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P11D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P11C</b>	2,88	1,12	0,83	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,92	1,49
<b>P11E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P12D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P12C</b>	7,37	2,87	2,12	0,44	0,11	0,00	0,00	0,00	0,08	0,55	2,35	3,81
<b>P12E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P13D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P13C</b>	5,43	2,12	1,57	0,32	0,08	0,00	0,00	0,00	0,06	0,41	1,73	2,81
<b>P13E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P14D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P14C</b>	7,48	2,91	2,16	0,44	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08	0,56	2,38	3,87
<b>P14E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P15D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P15C</b>	0,93	0,36	0,27	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,30	0,48
<b>P15E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P16D</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P16C</b>	10,50	4,09	3,03	0,62	0,16	0,00	0,00	0,00	0,11	0,78	3,34	5,43
<b>P16E</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P17D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P17C</b>	4,19	1,63	1,21	0,25	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,31	1,33	2,17
<b>P17E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P18D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P18C</b>	12,74	4,96	3,67	0,75	0,20	0,00	0,00	0,00	0,13	0,95	4,06	6,59
<b>P18E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P19D</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P19C</b>	8,71	3,39	2,51	0,52	0,14	0,00	0,00	0,00	0,09	0,65	2,77	4,50
<b>P19E</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P20D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P20C</b>	13,95	5,43	4,02	0,83	0,22	0,00	0,00	0,00	0,15	1,04	4,44	7,21
<b>P20E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P21D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P21C</b>	15,17	5,91	4,37	0,90	0,24	0,00	0,00	0,00	0,16	1,13	4,83	7,84

<b>P21E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P22D</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P22C</b>	10,50	4,09	3,03	0,62	0,16	0,00	0,00	0,00	0,11	0,78	3,34	5,43
<b>P22E</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P23D</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P23C</b>	10,50	4,09	3,03	0,62	0,16	0,00	0,00	0,00	0,11	0,78	3,34	5,43
<b>P23E</b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

**Organização:** Penteado (2025)

**Tabela A3-** Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da classe quantílica Seco das precipitações da Bacia do Córrego Moeda

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>P1D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P1C</b>	3,82	2,86	1,97	0,87	0,27	0,01	0,01	0,00	0,24	0,83	2,31	3,28
<b>P1E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P2D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P2C</b>	3,59	2,68	1,85	0,82	0,26	0,01	0,01	0,00	0,22	0,78	2,17	3,08
<b>P2E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P3D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P3C</b>	6,48	4,85	3,35	1,48	0,46	0,01	0,02	0,00	0,40	1,41	3,92	5,57
<b>P3E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P4D</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P4C</b>	17,49	13,08	9,02	3,99	1,25	0,03	0,06	0,00	1,09	3,81	10,57	15,02
<b>P4E</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P5D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	0,24	0,18	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,14	0,20
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	0,14	0,11	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,09	0,12
<b>P6C</b>	1,69	1,26	0,87	0,39	0,12	0,00	0,01	0,00	0,11	0,37	1,02	1,45
<b>P6E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P7D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P7C</b>	5,92	4,43	3,05	1,35	0,42	0,01	0,02	0,00	0,37	1,29	3,58	5,08
<b>P7E</b>	0,50	0,38	0,26	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,11	0,30	0,43
<b>P8D</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
<b>P8C</b>	6,98	5,22	3,60	1,59	0,50	0,01	0,02	0,00	0,43	1,52	4,22	5,99
<b>P8E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P9D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P9C</b>	0,82	0,61	0,42	0,19	0,06	0,00	0,00	0,00	0,05	0,18	0,49	0,70
<b>P9E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P10C</b>	18,65	13,95	9,62	4,25	1,34	0,03	0,06	0,00	1,16	4,06	11,27	16,01
<b>P10E</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P11D</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P11C</b>	5,92	4,43	3,05	1,35	0,42	0,01	0,02	0,00	0,37	1,29	3,58	5,08
<b>P11E</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P12D</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
<b>P12C</b>	15,13	11,32	7,80	3,45	1,08	0,03	0,05	0,00	0,94	3,30	9,14	12,99
<b>P12E</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
<b>P13D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P13C</b>	11,15	8,34	5,75	2,54	0,80	0,02	0,04	0,00	0,69	2,43	6,74	9,57
<b>P13E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P14D</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P14C</b>	15,35	11,49	7,92	3,50	1,10	0,03	0,05	0,00	0,96	3,35	9,28	13,18
<b>P14E</b>	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04
<b>P15D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P15C</b>	1,91	1,43	0,99	0,44	0,14	0,00	0,01	0,00	0,12	0,42	1,16	1,64
<b>P15E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P16D</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P16C</b>	21,56	16,13	11,12	4,91	1,54	0,04	0,07	0,00	1,34	4,70	13,03	18,51
<b>P16E</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P17D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P17C</b>	8,61	6,44	4,44	1,96	0,62	0,02	0,03	0,00	0,54	1,88	5,20	7,39
<b>P17E</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P18D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

<b>P18C</b>	26,16	19,57	13,50	5,96	1,87	0,05	0,08	0,01	1,63	5,70	15,81	22,46
<b>P18E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P19D</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P19C</b>	17,87	13,37	9,22	4,07	1,28	0,03	0,06	0,00	1,11	3,90	10,80	15,35
<b>P19E</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P20D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04
<b>P20C</b>	28,63	21,42	14,77	6,53	2,05	0,05	0,09	0,01	1,78	6,24	17,30	24,59
<b>P20E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04
<b>P21D</b>	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04
<b>P21C</b>	31,14	23,30	16,07	7,10	2,23	0,06	0,10	0,01	1,94	6,79	18,82	26,74
<b>P21E</b>	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04
<b>P22D</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P22C</b>	21,56	16,13	11,12	4,91	1,54	0,04	0,07	0,00	1,34	4,70	13,03	18,51
<b>P22E</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P23D</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P23C</b>	21,56	16,13	11,12	4,91	1,54	0,04	0,07	0,00	1,34	4,70	13,03	18,51
<b>P23E</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

**Organização:** Penteado (2025)

**Tabela A4-** Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da classe quantílica Normal das precipitações da Bacia do Córrego Moeda

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>P1D</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P1C</b>	7,37	5,96	4,51	1,58	0,81	0,09	0,07	0,04	1,12	2,10	4,16	6,42
<b>P1E</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P2D</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P2C</b>	6,92	5,60	4,23	1,48	0,76	0,08	0,06	0,04	1,05	1,97	3,90	6,03
<b>P2E</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P3D</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P3C</b>	12,51	10,12	7,65	2,68	1,37	0,15	0,11	0,07	1,91	3,57	7,05	10,90
<b>P3E</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P4D</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P4C</b>	33,74	27,29	20,64	7,21	3,70	0,41	0,30	0,20	5,14	9,62	19,03	29,40
<b>P4E</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P5D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	0,46	0,37	0,28	0,10	0,05	0,01	0,00	0,00	0,07	0,13	0,26	0,40
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	0,28	0,22	0,17	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,16	0,24
<b>P6C</b>	3,26	2,64	2,00	0,70	0,36	0,04	0,03	0,02	0,50	0,93	1,84	2,84
<b>P6E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P7D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P7C</b>	11,42	9,24	6,99	2,44	1,25	0,14	0,10	0,07	1,74	3,26	6,44	9,95
<b>P7E</b>	0,97	0,78	0,59	0,21	0,11	0,01	0,01	0,01	0,15	0,28	0,55	0,85
<b>P8D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04
<b>P8C</b>	13,46	10,89	8,23	2,88	1,47	0,16	0,12	0,08	2,05	3,84	7,59	11,73
<b>P8E</b>	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P9D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P9C</b>	1,58	1,28	0,97	0,34	0,17	0,02	0,01	0,01	0,24	0,45	0,89	1,37
<b>P9E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
<b>P10C</b>	35,98	29,10	22,01	7,69	3,94	0,44	0,32	0,21	5,48	10,26	20,29	31,35
<b>P10E</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
<b>P11D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P11C</b>	11,42	9,24	6,99	2,44	1,25	0,14	0,10	0,07	1,74	3,26	6,44	9,95
<b>P11E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P12D</b>	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04
<b>P12C</b>	29,19	23,60	17,85	6,24	3,20	0,35	0,26	0,17	4,44	8,32	16,46	25,43
<b>P12E</b>	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04
<b>P13D</b>	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P13C</b>	21,51	17,40	13,16	4,60	2,36	0,26	0,19	0,13	3,28	6,13	12,13	18,74
<b>P13E</b>	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
<b>P14D</b>	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>P14C</b>	29,62	23,96	18,12	6,33	3,25	0,36	0,26	0,17	4,51	8,45	16,70	25,81

<b>P14E</b>	0,09	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08
<b>P15D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P15C</b>	3,69	2,98	2,26	0,79	0,40	0,04	0,03	0,02	0,56	1,05	2,08	3,21
<b>P15E</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P16D</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P16C</b>	41,60	33,64	25,44	8,89	4,56	0,50	0,37	0,25	6,33	11,86	23,45	36,24
<b>P16E</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P17D</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P17C</b>	16,61	13,43	10,16	3,55	1,82	0,20	0,15	0,10	2,53	4,74	9,37	14,47
<b>P17E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
<b>P18D</b>	0,08	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07
<b>P18C</b>	50,47	40,82	30,87	10,79	5,53	0,61	0,45	0,30	7,69	14,39	28,46	43,97
<b>P18E</b>	0,08	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07
<b>P19D</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05
<b>P19C</b>	34,49	27,89	21,09	7,37	3,78	0,42	0,31	0,20	5,25	9,83	19,45	30,04
<b>P19E</b>	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05
<b>P20D</b>	0,08	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,07
<b>P20C</b>	55,25	44,68	33,79	11,81	6,05	0,67	0,49	0,33	8,41	15,75	31,15	48,13
<b>P20E</b>	0,08	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,07
<b>P21D</b>	0,09	0,07	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08
<b>P21C</b>	60,08	48,59	36,75	12,85	6,58	0,73	0,53	0,35	9,15	17,13	33,88	52,34
<b>P21E</b>	0,09	0,07	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08
<b>P22D</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P22C</b>	41,60	33,64	25,44	8,89	4,56	0,50	0,37	0,25	6,33	11,86	23,45	36,24
<b>P22E</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P23D</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05
<b>P23C</b>	41,60	33,64	25,44	8,89	4,56	0,50	0,37	0,25	6,33	11,86	23,45	36,24
<b>P23E</b>	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05

Organização: Penteado (2025)

**Tabela A5-** Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da classe quantílica Chuvoso das precipitações da Bacia do Córrego Moeda

	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>P1D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P1C</b>	14,59	9,47	7,31	2,76	1,76	0,55	0,25	0,53	2,07	3,89	6,98	10,05
<b>P1E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P2D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P2C</b>	13,70	8,89	6,86	2,59	1,65	0,51	0,23	0,50	1,95	3,65	6,55	9,43
<b>P2E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P3D</b>	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P3C</b>	24,77	16,08	12,41	4,68	2,99	0,93	0,42	0,90	3,52	6,60	11,84	17,05
<b>P3E</b>	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P4D</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07
<b>P4C</b>	66,80	43,36	33,46	12,61	8,06	2,50	1,14	2,44	9,49	17,79	31,92	45,99
<b>P4E</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07
<b>P5D</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	0,91	0,59	0,45	0,17	0,11	0,03	0,02	0,03	0,13	0,24	0,43	0,62
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	0,55	0,36	0,27	0,10	0,07	0,02	0,01	0,02	0,08	0,15	0,26	0,38
<b>P6C</b>	6,46	4,19	3,23	1,22	0,78	0,24	0,11	0,24	0,92	1,72	3,09	4,45
<b>P6E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
<b>P7D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
<b>P7C</b>	22,61	14,67	11,32	4,27	2,73	0,85	0,39	0,82	3,21	6,02	10,80	15,57
<b>P7E</b>	1,92	1,25	0,96	0,36	0,23	0,07	0,03	0,07	0,27	0,51	0,92	1,32
<b>P8D</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
<b>P8C</b>	26,65	17,30	13,35	5,03	3,21	1,00	0,45	0,97	3,78	7,10	12,74	18,35
<b>P8E</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P9D</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>P9C</b>	3,12	2,03	1,57	0,59	0,38	0,12	0,05	0,11	0,44	0,83	1,49	2,15
<b>P9E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,11	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07
<b>P10C</b>	71,23	46,23	35,68	13,45	8,59	2,67	1,21	2,60	10,12	18,97	34,04	49,04
<b>P10E</b>	0,11	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07
<b>P11D</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02

<b>P11C</b>	22,61	14,67	11,32	4,27	2,73	0,85	0,39	0,82	3,21	6,02	10,80	15,57
<b>P11E</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P12D</b>	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
<b>P12C</b>	57,78	37,50	28,94	10,91	6,97	2,17	0,98	2,11	8,21	15,39	27,61	39,78
<b>P12E</b>	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
<b>P13D</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P13C</b>	42,58	27,64	21,33	8,04	5,14	1,60	0,73	1,55	6,05	11,34	20,35	29,32
<b>P13E</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P14D</b>	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
<b>P14C</b>	58,64	38,06	29,38	11,07	7,07	2,20	1,00	2,14	8,33	15,62	28,03	40,38
<b>P14E</b>	0,18	0,11	0,09	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12
<b>P15D</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P15C</b>	7,30	4,74	3,66	1,38	0,88	0,27	0,12	0,27	1,04	1,95	3,49	5,03
<b>P15E</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P16D</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09
<b>P16C</b>	82,34	53,45	41,25	15,54	9,93	3,09	1,40	3,00	11,70	21,93	39,36	56,70
<b>P16E</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09
<b>P17D</b>	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
<b>P17C</b>	32,88	21,34	16,47	6,21	3,97	1,23	0,56	1,20	4,67	8,76	15,72	22,64
<b>P17E</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
<b>P18D</b>	0,15	0,10	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10
<b>P18C</b>	99,92	64,85	50,05	18,86	12,05	3,75	1,70	3,65	14,19	26,61	47,75	68,80
<b>P18E</b>	0,15	0,10	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10
<b>P19D</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07
<b>P19C</b>	68,27	44,31	34,20	12,89	8,24	2,56	1,16	2,49	9,70	18,18	32,63	47,01
<b>P19E</b>	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07
<b>P20D</b>	0,16	0,11	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,08	0,11
<b>P20C</b>	109,36	70,98	54,78	20,64	13,19	4,10	1,86	3,99	15,53	29,13	52,27	75,30
<b>P20E</b>	0,16	0,11	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,11
<b>P21D</b>	0,18	0,12	0,09	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,12
<b>P21C</b>	118,94	77,20	59,58	22,45	14,35	4,46	2,03	4,34	16,89	31,68	56,85	81,89
<b>P21E</b>	0,18	0,12	0,09	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,12
<b>P22D</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09
<b>P22C</b>	82,34	53,45	41,25	15,54	9,93	3,09	1,40	3,00	11,70	21,93	39,36	56,70
<b>P22E</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09
<b>P23D</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09
<b>P23C</b>	82,34	53,45	41,25	15,54	9,93	3,09	1,40	3,00	11,70	21,93	39,36	56,70
<b>P23E</b>	0,12	0,08	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,09

**Organização:** Penteado (2025)

**Tabela A6-** Variação da perda de solo mensal em ton.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> frente ao cenário de erosividade obtido a partir da classe quantílica Muito Chuoso das precipitações da Bacia do Córrego Moeda

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>P1D</b>	0,08	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
<b>P1C</b>	27,00	18,29	15,30	6,50	4,38	2,87	0,98	2,00	3,88	6,25	13,41	14,25
<b>P1E</b>	0,08	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
<b>P2D</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
<b>P2C</b>	25,35	17,17	14,36	6,11	4,11	2,69	0,92	1,88	3,64	5,87	12,59	13,38
<b>P2E</b>	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
<b>P3D</b>	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P3C</b>	45,82	31,04	25,96	11,04	7,43	4,87	1,67	3,39	6,59	10,61	22,76	24,19
<b>P3E</b>	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
<b>P4D</b>	0,19	0,13	0,11	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,10
<b>P4C</b>	123,59	83,71	70,01	29,77	20,04	13,12	4,50	9,15	17,77	28,62	61,38	65,23
<b>P4E</b>	0,19	0,13	0,11	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,10
<b>P5D</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P5C</b>	1,67	1,13	0,95	0,40	0,27	0,18	0,06	0,12	0,24	0,39	0,83	0,88
<b>P5E</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P6D</b>	1,02	0,69	0,58	0,24	0,16	0,11	0,04	0,08	0,15	0,24	0,50	0,54
<b>P6C</b>	11,95	8,09	6,77	2,88	1,94	1,27	0,44	0,88	1,72	2,77	5,93	6,31
<b>P6E</b>	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
<b>P7D</b>	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
<b>P7C</b>	41,83	28,33	23,69	10,08	6,78	4,44	1,52	3,10	6,01	9,69	20,77	22,08
<b>P7E</b>	3,56	2,41	2,01	0,86	0,58	0,38	0,13	0,26	0,51	0,82	1,77	1,88

<b>P8D</b>	0,15	0,10	0,08	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,07	0,08
<b>P8C</b>	49,30	33,39	27,93	11,88	8,00	5,23	1,80	3,65	7,09	11,42	24,49	26,02
<b>P8E</b>	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
<b>P9D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P9C</b>	5,78	3,92	3,27	1,39	0,94	0,61	0,21	0,43	0,83	1,34	2,87	3,05
<b>P9E</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P10D</b>	0,20	0,13	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,05	0,10	0,10
<b>P10C</b>	131,79	89,26	74,66	31,75	21,37	13,99	4,80	9,76	18,95	30,52	65,45	69,56
<b>P10E</b>	0,20	0,13	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,05	0,10	0,10
<b>P11D</b>	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
<b>P11C</b>	41,83	28,33	23,69	10,08	6,78	4,44	1,52	3,10	6,01	9,69	20,77	22,08
<b>P11E</b>	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
<b>P12D</b>	0,16	0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08
<b>P12C</b>	106,90	72,40	60,56	25,75	17,34	11,35	3,90	7,92	15,37	24,76	53,09	56,42
<b>P12E</b>	0,16	0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08
<b>P13D</b>	0,12	0,08	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,06
<b>P13C</b>	78,79	53,36	44,63	18,98	12,78	8,37	2,87	5,84	11,33	18,25	39,13	41,58
<b>P13E</b>	0,12	0,08	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,06
<b>P14D</b>	0,16	0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,09
<b>P14C</b>	108,50	73,49	61,47	26,14	17,60	11,52	3,95	8,04	15,60	25,13	53,89	57,26
<b>P14E</b>	0,33	0,22	0,18	0,08	0,05	0,03	0,01	0,02	0,05	0,08	0,16	0,17
<b>P15D</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P15C</b>	13,51	9,15	7,66	3,26	2,19	1,44	0,49	1,00	1,94	3,13	6,71	7,13
<b>P15E</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>P16D</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12
<b>P16C</b>	152,35	103,19	86,31	36,70	24,71	16,18	5,55	11,29	21,90	35,29	75,67	80,41
<b>P16E</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12
<b>P17D</b>	0,09	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05
<b>P17C</b>	60,84	41,21	34,47	14,66	9,87	6,46	2,22	4,51	8,75	14,09	30,22	32,11
<b>P17E</b>	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03
<b>P18D</b>	0,28	0,19	0,16	0,07	0,04	0,03	0,01	0,02	0,04	0,06	0,14	0,15
<b>P18C</b>	184,86	125,21	104,73	44,53	29,98	19,63	6,74	13,69	26,58	42,82	91,81	97,57
<b>P18E</b>	0,28	0,19	0,16	0,07	0,04	0,03	0,01	0,02	0,04	0,06	0,14	0,15
<b>P19D</b>	0,19	0,13	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,10
<b>P19C</b>	126,31	85,55	71,56	30,43	20,48	13,41	4,60	9,36	18,16	29,26	62,73	66,67
<b>P19E</b>	0,19	0,13	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,10
<b>P20D</b>	0,30	0,21	0,17	0,07	0,05	0,03	0,01	0,02	0,04	0,07	0,15	0,16
<b>P20C</b>	202,35	137,05	114,63	48,74	32,81	21,49	7,37	14,99	29,09	46,87	100,49	106,80
<b>P20E</b>	0,30	0,21	0,17	0,07	0,05	0,03	0,01	0,02	0,04	0,07	0,15	0,16
<b>P21D</b>	0,33	0,22	0,19	0,08	0,05	0,04	0,01	0,02	0,05	0,08	0,16	0,17
<b>P21C</b>	220,06	149,05	124,67	53,01	35,69	23,37	8,02	16,30	31,64	50,97	109,29	116,15
<b>P21E</b>	0,33	0,22	0,19	0,08	0,05	0,04	0,01	0,02	0,05	0,08	0,16	0,17
<b>P22D</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12
<b>P22C</b>	152,35	103,19	86,31	36,70	24,71	16,18	5,55	11,29	21,90	35,29	75,67	80,41
<b>P22E</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12
<b>P23D</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12
<b>P23C</b>	152,35	103,19	86,31	36,70	24,71	16,18	5,55	11,29	21,90	35,29	75,67	80,41
<b>P23E</b>	0,23	0,15	0,13	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,11	0,12

**Organização:** Penteado (2025)

## ANEXO A – Ficha técnica dos cilindros biselados do kit *Hilf*

Os dados a seguir, correspondem aos 9 cilindros biselados, do conjunto *Hilf*, utilizados para coleta de material em campo. Cada um deles recebeu uma numeração, de 1 a 9, e suas características físicas constam na Tabela A-1 abaixo.

**Tabela A-1** – Dimensões e características físicas dos cilindros biselados do kit *Hilf*

<b>n</b>	<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Raio (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa (g)</b>
<b>1</b>	10,1	5,05	12,7	1017,5	1739,7
<b>2</b>	10,1	5,05	12,7	1017,5	1755
<b>3</b>	10,1	5,05	12,7	1017,5	1736,7
<b>4</b>	10,14	5,07	12,7	1025,6	1726,3
<b>5</b>	10,1	5,05	12,7	1017,5	1750,9
<b>6</b>	10,135	5,0675	12,575	1014,5	1961,6
<b>7</b>	9,32	4,66	13,81	942,1	2360
<b>8</b>	9,335	4,6675	13,8467	947,7	2445,7
<b>9</b>	9,345	4,6725	13,77	944,5	2414,4

**Organização:** Penteado (2025)

As medições foram realizadas em triplicada, conforme indicado em TEIXEIRA *et al.* (2017), com paquímetro da marca Western no LAPA/IFMS. Para calcular o volume foi utilizada a fórmula de cálculo de volume do cilindro: “ $\text{Vol} = \pi \cdot r^2 \cdot h$ ”.