

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Estudos Com Chuva Simulada: Análise
Cienciométrica dos Dados no Brasil e Processo
Erosivo em Zona de Transição Cerrado-Amazônia
Utilizando Padrões de Precipitação**

Camila Calazans da Silva Luz

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTUDOS COM CHUVA SIMULADA: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA
DOS DADOS NO BRASIL E PROCESSO EROSIVO EM ZONA DE
TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA UTILIZANDO PADRÕES DE
PRECIPITAÇÃO**

CAMILA CALAZANS DA SILVA LUZ

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

e Coorientação dos Professores
**Adilson Pacheco de Souza e
Frederico Terra de Almeida**

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **doutora**, no
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia – Ciência do Solo, Área de
Concentração em Manejo do Solo e
Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Julho de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L979e	Luz, Camila Calazans da Silva a, 1992- Estudos com chuva simulada: análise cienciométrica dos dados no Brasil e processo erosivo em zona de transição Cerrado-Amazônia utilizando padrões de precipitação/Camila Calazans da Silva Luz. – Seropédica, 2024. 80 f.: il. Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho. Tese (Doutorado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2024. 1. Erosão hídrica. 2. Perda de solo e de água. 3. Simulador de Chuva. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1981-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Agronomia - Ciência do Solo. III. Título.
-------	--

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho também contou com o apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ-CNE).

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
(CIÊNCIAS DO SOLO)



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 26 / 2024 - CPGACS (12.28.01.00.00.00.27)

Nº do Protocolo: 23083.043722/2024-67

Seropédica-RJ, 20 de agosto de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

CAMILA CALAZANS DA SILVA LUZ

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 19/08/2024.

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

Elói Panachuki. Dr. UEMS

Jamil Alexandre Ayach Anache. Dr. EESC-USP

Conan Ayade Salvador. Dr. UFRRJ

(Assinado digitalmente em 21/08/2024 16:27)

CONAN AYADE SALVADOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)
Matrícula: 2131822

(Assinado digitalmente em 20/08/2024 16:37)

DANIEL FONSECA DE CARVALHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)
Matrícula: 1224578

(Assinado digitalmente em 20/08/2024 15:20)

NIVALDO SCHULTZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)
Matrícula: 2136627

(Assinado digitalmente em 20/08/2024 20:00)

JAMIL ALEXANDRE AYACH ANACHE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 029.209.951-70

(Assinado digitalmente em 21/08/2024 00:25)

ELÓI PANACHUKI
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 529.070.401-97

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **26**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, datade emissão: **20/00/2024** e o código de verificação: **6e07df68f4**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus e a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão bem-sucedida desta tese de doutorado.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por me receber e me conceder essa oportunidade de desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Às instituições de fomento à pesquisa que tornaram este projeto possível, expresso minha gratidão pela concessão da bolsa de estudos ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e pelo apoio financeiro que viabilizou a realização deste trabalho.

Agradeço a equipe de orientação, Daniel F. de Carvalho, Adilson P. de Souza e Frederico T. de Almeida, pela paciência e apoio ao longo de todo esse percurso acadêmico.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo encorajamento e apoio. Agradeço pelo amor e compreensão constantes, principalmente em minhas ausências. Vocês foram a base que sustentou cada passo dessa jornada.

Aos grupos de pesquisa GPASSA (UFRRJ) e THRECO (UFMT), agradeço pelos bons momentos, contribuição na coleta de dados e troca de conhecimento.

BIOGRAFIA

Camila Calazans da Silva Luz nasceu na cidade de Cuiabá – MT, no dia 06 de abril de 1992. Em 2009 concluiu o ensino médio na Escola Estadual Prof. Adalgisa de Barros – Várzea Grande/ MT. Em 2010 ingressou no curso de graduação em Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso, onde atuou como bolsista nos laboratórios de Manejo e Conservação do solo e água (LABECA) e de Geoprocessamento (LabGeo), concluindo em 2015. Em 2016, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola (PPGASP), na Universidade do Estado de Mato Grosso, concluindo em 2018. Para além da academia, Camila é uma entusiasta do cuidado com os animais e acredita na importância da família e bons costumes. Essa combinação de interesses moldou sua abordagem única para a pesquisa e influenciou a trajetória de sua carreira. Iniciando em 2021, a trajetória de Camila em busca do doutorado foi marcada por persistência e empenho. A conclusão desta tese marca um capítulo significativo na jornada da Camila no mundo acadêmico, e ela espera continuar contribuindo para o avanço do conhecimento em manejo e conservação do solo e água nos anos que virão.

RESUMO GERAL

LUZ, Camila Calazans da Silva. **Estudos com chuva simulada: análise cienciométrica dos dados no Brasil e processo erosivo em zona de transição Cerrado-Amazônia utilizando padrões de precipitação** 2024. 80f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Simuladores de chuva são uma ferramenta importante para o estudo da erosão do solo e outros processos hidrológicos como infiltração e escoamento superficial. Nesta Tese, apresenta-se uma análise bibliométrica e cienciométrica dos estudos com chuva simulada no Brasil, fornecendo uma visão geral do estado da arte da pesquisa nacional nessa temática. Os resultados indicam um total de 143 artigos publicados nos últimos 37 anos, e as principais áreas de pesquisa abordadas nos artigos são erosão do solo (57,34%), infiltração de água no solo (24,47%), perdas de nutrientes (9,8%) e desenvolvimento e calibração de simuladores de chuva (8,39%). A análise também revelou que o número de artigos publicados em periódicos internacionais de alto fator de impacto tem aumentado nos últimos anos. A maioria dos artigos (49,65%) refere-se a estudos realizados por instituições localizadas nas regiões sul e sudeste do Brasil. Além disso, há uma grande lacuna de estudos sobre chuva simulada em outras regiões do Brasil, onde biomas importantes como o Cerrado, a Amazônia e a Caatinga estão localizados. Além da análise bibliométrica, esta Tese aborda a erosão hídrica em áreas de cultivo de soja, milho e pastagem, localizadas no norte do estado de Mato Grosso, considerando diferentes condições de cobertura e padrões de precipitação Constante, Avançado, Intermediário e Atrasado, simulados pelo *InfiAsper*. Na área de soja, as chuvas foram aplicadas na presença da cultura sobre palhada de milho, apenas com palhada, em solo sem cobertura, e em solo revolvido, enquanto nas áreas de milho e pastagem foram consideradas apenas três coberturas (presença da cultura, solo sem cobertura e solo revolvido). A presença de cobertura vegetal demonstrou ser fundamental para reduzir a erosão do solo. Nas culturas da soja e do milho, a remoção da cobertura aumentou a taxa máxima de escoamento em 51,3% e 22,0%, respectivamente. Nas áreas de pastagem, a remoção da cobertura vegetal elevou a taxa máxima de escoamento em 47,29%. Os padrões de precipitação intermediário (IN) e avançado (AV) proporcionaram maiores perdas de solo em todas as coberturas, com destaque para a soja (até 5,79 g m⁻²) e milho (até 3,78 g m⁻²). O processo erosivo foi intensificado na condição de ausência de cobertura, demonstrando a sua importância na proteção do solo. Dessa forma, os resultados desta pesquisa não apenas preenchem lacunas no conhecimento atual sobre chuva simulada no Brasil, mas também oferecem informações valiosas para promover práticas sustentáveis e estratégias de conservação em ambientes agrícolas, especialmente em regiões ecologicamente sensíveis como a zona de transição Cerrado-Amazônia.

Palavras-chave: Erosão hídrica. Perda de solo e de água. Simulador de Chuva.

GENERAL ABSTRACT

LUZ, Camila Calazans da Silva. **Studies with simulated rain: scientometric analysis of data in Brazil and erosion process in the Cerrado-Amazon transition zone using precipitation patterns.** 2024. 80p. Thesis (Doctorate in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Simulative rainfall is an important tool for studying soil erosion and other hydrological processes such as infiltration and runoff. In this thesis, we present a bibliometric and scientometric analysis of studies on simulated rainfall in Brazil. Offering a comprehensive review of the latest national research on this topic. The results indicate a total of 143 articles published in the last 37 years, and the main research areas addressed in the articles are soil erosion (57.34%), soil water infiltration (24.47%), nutrient losses (9.8%), and development and evaluation of rainfall simulators (8.39%). The analysis also revealed that the number of articles published in high-impact international journals has increased in recent years. Most of the articles (49.65%) refer to studies conducted by institutions located in the southern and southeastern regions of Brazil. Additionally, there is a large gap in studies on simulated rainfall in other regions of Brazil, where important biomes such as the Cerrado, the Amazon, the Caatinga, and their transitions are located. In addition to the bibliometric analysis, this thesis addresses water erosion in soybean, corn and pasture fields, considering different cover conditions and simulated rainfall precipitation patterns. Conducted in the northern region of Mato Grosso state, the study involved two crops (soybean and corn) and pasture areas under four rainfall patterns (constant, advanced, intermediate, and delayed). Soybean was subjected to four cover treatments, while the others were subjected to three (with cover, without cover, and tilled soil). The experiment, conducted in the northern region of Mato Grosso state, involved four cover conditions and four rainfall patterns. The presence of vegetation cover proved to be essential in reducing soil erosion. In soybean crops, the removal of cover increased the maximum flow rate by 51.3%. In corn, this rate was up to 22% higher in areas without cover. In pastures, vegetation cover increased the maximum flow rate by 47.29%. The intermediate (IN) and advanced (AV) precipitation patterns resulted in the highest soil losses in all crops, with soybean (up to 5.79 g m⁻²) and corn (up to 3.78 g m⁻²) showing the highest values. The absence of cover intensified erosion in all crops, demonstrating the importance of vegetation cover in soil protection. Thus, the results of this research not only fill gaps in the current knowledge about simulated rainfall in Brazil, but also provide valuable information to promote sustainable practices and conservation strategies in agricultural environments, especially in ecologically sensitive regions such as the Cerrado-Amazon transition zone."

Key words: Water erosion. Soil loss and water. Rainfall simulator.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Stages in preparing the study related to simulated rainfall in Brazil.	7
Figure 2. Evolution of the publication of studies on simulated rainfall over the last 37 years (1985-2022) in Brazil.	9
Figure 3. Spatial distribution of the locations where experiments with simulated rainfall were developed between 1985 and 2022 in Brazil.	10
Figure 4. Soil classes with studies involving simulated rainfall from 1985 to 2022 in Brazil. Soils found in articles on simulated rainfall (*there are publications that analyse more than one class of soil).	11
Figure 5. Types of rainfall simulators used in studies regarding simulated rainfall between 1985 and 2022 in Brazil, considering searches of the Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar databases.	12
Figure 6. Some types of simulators: (A) Rotating Boom (BARBOSA et al., 2010) 9pg; (B) fixed nozzles and rotating discs (<i>InfAsper</i>) (Author source); and Pendulum type (C) (Author source) and (D) (PONCIANO et al., 2021).	13
Figure 7. Bibliographic data of the authors who most contributed to studies of simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022, considering the Scopus, Web of Science and SciELO databases.	16
Figure 8. Co-occurrence network of keywords in studies involving simulated rainfall in Brazil obtained from the Scopus database.	17
Figure 9. Network of periodicals that published articles involving simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022, based on information in the Scopus database.	18
Figura 10. Parcelas experimentais com os tratamentos soja + palhada (a), apenas com palhada (b), solo sem cobertura (exposto) (c) e solo sem cobertura e revolvido (d).	41
Figura 11. Simulador de chuva Infiasper (a); painel de controle modificado (b) e discos do obturador para regulação de intensidade de precipitação (c). Detalhes do simulador de chuva: 1. estrutura metálica; 2. unidade de aplicação de água; 3. painel de controle; 4. reservatório de água; 5. bomba hidráulica; 6. coletor de escoamento superficial. Fonte: Carvalho et al. (2022) (a); Macedo et al. (2021) (b, c).	42
Figura 12. Curva de calibração da intensidade de precipitação em função da rotação dos discos do obturador (a), utilizada para a programação dos padrões de precipitação, considerando chuvas com 60 min de duração e picos de IP de 133,1 mm h ⁻¹ , além do padrão constante de 75 mm h ⁻¹ (b).	43
Figura 13. Escoamento superficial e perda de solo relativos em função da precipitação relativa em área com cobertura de soja e palhada “SP” (a, c) e solo revolvido “SR” (b, d) nos padrões de precipitação Constante “CT”, Avançado “AV”, Intermediário “IN” e Atrasado “AT”.	48
Figura 14. Áreas de estudo localizadas no ecótono Cerrado-Amazônia na região Centro-Oeste do Brasil.	61
Figura 15. Parcelas experimentais com os tratamentos milho (a), área de milho sem cobertura (b), área de milho sem cobertura e revolvida (c), pastagem (d), área de pastagem sem cobertura (e), área de pastagem sem cobertura e revolvida (f).	63
Figura 16. Padrões de precipitação aplicados pelo <i>InfAsper</i> (a) e lâminas relativas de precipitação aplicadas nos tratamentos (b).	64

Figura 17. Escoamento superficial e perda de solo relativos ao longo dos eventos de precipitação com diferentes padrões e cobertura em área de milho e pastagem: constante (A, B) e Avançado (C, D).....	70
Figura 18. Escoamento superficial e perda de solo relativos ao longo dos eventos de precipitação com diferentes padrões e cobertura em área de milho e pastagem: Intermediário (E, F) e Atrasado (G, H).....	71

LISTA DE TABELAS

Table 1. Types of networks created in VOSviewer	8
Table 2. Bibliographic data of the articles on soil erosion under simulated rainfall in Brazil most cited in the <i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> and <i>SciELO</i> databases	14
Table 3. Most recurrent keywords in articles using simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022.....	16
Table 4. Journals that published the most articles on simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022.....	18
Tabela 5. Análise textural e atributos físico-hídricos do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na lavoura de soja	40
Tabela 6. Atributos químicos da área experimental a partir de amostras coletadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na lavoura de soja	40
Tabela 7. Percentuais médios e respectivos desvios-padrão de umidade do solo anterior a realização dos testes de precipitação.	44
Tabela 8. Valores médios e respectivos desvios-padrão do tempo de início (TIES) e fim (TFE) do escoamento superficial.....	44
Tabela 9. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), lâmina de escoamento (LE) e perda de solo	46
Tabela 10. Análise textural e atributos físico-hídricos do solo em diferentes profundidades na lavoura de Milho e áreas com Pastagem.....	62
Tabela 11. Atributos químicos da área experimental a partir de amostras em diferentes profundidades na lavoura de Milho e áreas com Pastagem.....	62
Tabela 12. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), perda de solo e lâmina de escoamento (LE) em área cultivada com milho	65
Tabela 13. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), perda de solo e lâmina de escoamento (LE) em área de pastagem.....	67
Tabela 14. Valores médios e respectivos desvios-padrão da perda de solo e lâmina de escoamento por padrão de precipitação, sob diferentes áreas com Pastagem e Milho.....	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CHAPTER I SIMULATED RAINFALL IN BRAZIL: AN ALTERNATIVE TO ASSESSING SOIL SURFACE PROCESSES AND AN OPPORTUNITY FOR TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT	2
2.1 RESUMO	3
2.2 ABSTRACT	4
2.3 INTRODUCTION	5
2.4 MATERIAL AND METHODS	7
2.4.1 Terminology and search terms	7
2.4.2 Data processing and analysis	8
2.5 RESULTS AND DISCUSSION	9
2.5.1 Temporal and spatial distribution, classes of soil and types of simulators used in the studies	9
2.5.2 Scientific background and impact of the studies	13
2.5.3 Indexation analysis	16
2.5.4 Thematic clusters involving simulated rainfall	19
2.5.5 Soil erosion	19
2.5.6 Soil water infiltration	20
2.5.7 Nutrient loss through water erosion	20
2.5.8 Development and calibration of rainfall simulators	21
2.6 CONCLUSIONS	23
2.7 REFERENCES	24
3. CAPÍTULO II EROSÃO HÍDRICA EM ÁREA CULTIVADA COM SOJA SOB DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO E PADRÕES DE CHUVA SIMULADA	35
3.1 RESUMO	36
3.2 ABSTRACT	37
3.3 INTRODUÇÃO	38
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.5.1 Perdas relativas de água e solo	47
3.6 CONCLUSÕES	49
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
4. CAPÍTULO III PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO AFETAM AS PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM ÁREAS DA REGIÃO DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO CULTIVADAS COM PASTAGEM E MILHO	56
4.1 RESUMO	57
4.2 ABSTRACT	58
4.3 INTRODUÇÃO	59
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	61

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.5.1. Área cultivada com milho	65
4.5.2. Área cultivada com pastagem	66
4.5.3. Análise conjunta dos dados (Kruskall-Wallis).....	68
4.5.4. Perda de solo e escoamento superficial relativos	70
4.6 CONCLUSÕES	73
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
5. CONCLUSÕES GERAIS	80

1. INTRODUÇÃO GERAL

A erosão do solo é um processo natural onde as partículas do solo são removidas pela ação da água, do vento ou do gelo. Contudo, o uso antrópico tem intensificado esse processo. A erosão hídrica é um dos principais fatores que levam à degradação do solo. O processo erosivo deteriora a qualidade do solo, reduz a produtividade em áreas vulneráveis e transporta partículas de ativos químicos para os sistemas hídricos, ameaçando os recursos físicos e ambientais, prejudicando as atividades agropecuárias (ZOLIN, et al., 2021; COSTA et al., 2016). Servidoni et al. (2020) ressaltam que 1/3 das terras agricultáveis do planeta está degradada, comprometendo a sustentabilidade agrícola, uma preocupação relevante em um país como o Brasil, onde a erosão do solo afeta aproximadamente 70% do território (SOARES et al., 2023).

A zona de transição Cerrado-Amazônia destaca-se pelas pressões ambientais, decorrente de sua rica biodiversidade e potencial agrícola. Os estudos indicam que a erosão nessa região é causada principalmente pelas precipitações com alta intensidade e pelas práticas agrícolas inadequadas (SILVA et al., 2021). Diante desse cenário, a compreensão da dinâmica hídrica do solo torna-se crucial.

Os estudos com chuva simulada são uma ferramenta importante para o estudo da erosão do solo. Carvalho et al. (2012) destacam a necessidade de um manejo adequado do solo abrangendo práticas agrícolas que otimizem a retenção de água, reduzam a velocidade de escoamento e melhorem as condições físicas e químicas para o desenvolvimento das culturas. No entanto, experimentos de campo sob chuvas naturais apresentam limitações, indicando que simuladores de chuva oferecem uma alternativa valiosa, possibilitando o controle de fatores como duração e intensidade (MENDES et al., 2021). Apesar disso, pesquisas sobre perda de água e solo em áreas agrícolas com simuladores de chuva usando padrões de precipitação são notavelmente escassas.

No âmbito desta tese, o objetivo foi analisar os estudos com chuva simulada realizados no Brasil, bem como investigar o processo erosivo em áreas produtivas em zona de transição Cerrado-Amazônia utilizando padrões de precipitação. A pesquisa está dividida em três Capítulos. O Capítulo I (em inglês) intitulado “*Simulated rainfall in Brazil: An alternative to assessing soil surface processes and an opportunity for technological development*”, fornecerá uma análise abrangente dos temas, variáveis e equipamentos frequentemente abordados nos estudos com chuva simulada no Brasil. O Capítulo II, “Erosão hídrica em áreas do Sul da Amazônia, Brasil, cultivadas com soja sob diferentes coberturas do solo e padrões de precipitação”, explorará o impacto de chuvas simuladas com diferentes padrões na erosão do solo em áreas de cultivo de soja. O Capítulo III, “Perdas de solo e água em áreas agrícolas na região de transição Amazônia-Cerrado, Mato Grosso, Brasil, sob diferentes padrões de precipitação” analisará as perdas de solo e água em áreas de pastagem e áreas cultivadas com milho sob diferentes condições de precipitação.

Neste contexto, a avaliação abrangente do processo de erosão hídrica, considerando os padrões de precipitação e as características das áreas cultivadas, surge como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e controle da erosão. Os resultados da pesquisa contribuirão para um melhor entendimento da erosão hídrica na zona de transição Cerrado-Amazônia e poderão ser utilizados para desenvolver estratégias de mitigação da erosão nessa região.

2. CHAPTER I

SIMULATED RAINFALL IN BRAZIL: AN ALTERNATIVE TO ASSESSING SOIL SURFACE PROCESSES AND AN OPPORTUNITY FOR TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

Capítulo em inglês publicado como artigo na “International Soil and Water Conservation Research”:

LUZ, C. C. DA S.; ALMEIDA, W. S. DE; SOUZA, A. P. DE; SCHULTZ, N.; ANACHE, J. A. A.; CARVALHO, D. F. DE. (2023) Simulated rainfall in Brazil: An alternative for assesment of soil surface processes and an opportunity for technological development. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 12, n. 1, March 2024, p. 29-42, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.05.002>.

2.1 RESUMO

Simuladores de chuva têm sido utilizados, principalmente, para avaliar processos hidrológicos relacionados à infiltração de água no solo, escoamento superficial e erosão do solo. Eles permitem a repetição da aplicação de chuva com diferentes intensidades de precipitação em condições de campo e/ou laboratório e devem produzir eventos com características físicas semelhantes à chuva natural. Neste manuscrito, realizou-se uma análise bibliométrica e cientométrica de estudos com chuva simulada no Brasil para avaliar a evolução temporal das publicações, os principais temas abordados e o grau de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos. Foram pesquisados os termos "*rainfall simulator*" OR "*simulated rainfall*" AND "Brazil" nas bases de dados Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar. Foram identificados 143 artigos publicados nos últimos 37 anos (1985-2022). Os resultados indicam que as principais áreas de pesquisa abordadas nos artigos são erosão do solo (57,34%), infiltração de água no solo (24,47%), perdas de nutrientes (9,8%) e desenvolvimento e calibração/avaliação de RS (8,39%). Nos últimos anos, o número de artigos publicados em periódicos internacionais de alto fator de impacto aumentou. A maioria dos artigos (49,65%) refere-se a estudos realizados por instituições localizadas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Além disso, há uma grande lacuna de estudos sobre chuva simulada em outras regiões do Brasil, onde biomas importantes como o Cerrado, a Amazônia, a Caatinga e suas transições estão localizados. Este estudo informa as prioridades de pesquisa sobre erosão do solo sob chuva simulada e fornece um banco de dados bibliográfico que pode auxiliar em análises futuras mais detalhadas.

Palavras-chave: Simulador de chuva. Perdas de solo e água. Infiltração de água no solo. Bibliometria. Revisão científica.

2.2 ABSTRACT

Rainfall simulators (RS) have been used, above all, to evaluate hydrological processes related to soil water infiltration, surface runoff and soil erosion. They allow repeatability of rain application with different precipitation intensities in field and/or laboratory conditions and should produce events with physical characteristics similar to natural rain. This manuscript presents a bibliometric and scientometric analysis of studies with simulated rainfall in Brazil to assess the temporal evolution of publications, the main topics addressed and the degree of technological development of the equipment. The terms were subject to a search" "*rainfall simulator*" OR "*simulated rainfall*" AND "*Brazil*" in the Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar databases. A search yielded 143 published articles in the last 37 years (1985-2022). Our findings indicate that the main research areas covered in papers are soil erosion (57.34%), soil water infiltration (24.47%), nutrient losses (9.8%) and RS development and calibration/assessment (8.39%). In recent years, the number of published papers in international high-impact factor journals has increased. Most of the papers (49.65%) refer to studies carried out by institutions located in the south and southeast regions of Brazil. Moreover, there is a large gap of studies on simulated rainfall in other regions of Brazil, where important biomes such as the Cerrado, the Amazon, the Caatinga, and their transitions are located. This study informs research priorities on soil erosion under simulated rainfall and provides a bibliographic database that can assist in more detailed future analyses.

Keywords: Rainfall simulator. Soil and water losses. Soil water infiltration. Bibliometrics. Scientific review.

2.3 INTRODUCTION

In view of its size and the diversity of soil and climate that favours agricultural activity, Brazil stands out globally as it produces a significant amount of food and because it is one of the main exporters of soya, sugar and beef (ZILLI et al., 2020). However, the lack of proper management in many areas of production makes it difficult to establish sustainable agriculture, which compromises any ability to meet the growing demand for food, fibre and energy (ANGHINONI & VEZZANI, 2021). In addition to economic and social aspects, agricultural activity also involves the environment, where the main process of degradation is soil erosion (SANTOS & GUERRA, 2021). The greatest losses in productivity are associated with high rates of erosion that occur in countries with large areas of agricultural land (SARTORI et al., 2019), such as Brazil.

The process of erosion can be evaluated on different scales, such as watersheds (PANDEY et al., 2021) and in experimental plots with natural rainfall (GARCIA-ESTRINGANA et al., 2013) or simulated rainfall (CARVALHO et al., 2022), using simulators that allow applying rainfall at different intensities in field and in laboratory conditions and that have been used in various hydrological studies (AKSOY et al., 2012). Studies using a rainfall simulator have been carried out worldwide on land cultivated with citrus (KEESSTRA et al., 2019), vine (RODRIGO-COMINO et al., 2018; NEUMANN et al., 2022), pastures (SADEGHI et al., 2017; ALMEIDA et al., 2018; MORAES et al., 2020), maize (KATEB et al., 2017), wheat (YAKUPOGLU et al., 2021), soybean (ALMEIDA et al., 2018) and cotton (BOULAL et al., 2011), as well as on different uses and cover (MAYERHOFER et al., 2017; CERDÀ et al., 2021) and forest area (GRISMER, 2012; UBEDA et al., 2020).

Field experiments to assess soil erosion with natural rainfall began in the early 20th century in the United States and in the 1940s in Brazil but it was limited in terms of scope and the continuity of data monitoring (ANACHE et al., 2017) due, among others, to difficulties in collecting and quantifying the runoff in the experimental plots after each rainfall event. Furthermore, due to the temporal variability of rainfall intensity, studies of natural rainfall require long periods of monitoring and repeated over time (ALVES SOBRINHO et al., 2008). On the other hand, rainfall simulators have become tools that are highly applicable to soil and water conservation engineering, as they allow control of the duration, distribution and type of rainfall, and the intensity, size and speed of the droplets impacting the soil (MENDES et al., 2021; MONTEBELLER et al., 2001; SPOHR et al., 2015). In addition to possibility of repetition rainfall events, the use of simulators allows to evaluate different factors that influence soil erosion (ISERLOH et al., 2013).

Among the characteristics of rain, intensity is an important factor in the erosion process, as it influences the kinetic energy that controls soil sealing and particle detachment (MOHAMADI & KAVIAN, 2015). As a result of the impact of raindrops on the soil, the surface sealing promotes a reduction in porosity and soil water infiltration, causing intensification of the soil erosion process (CARVALHO et al., 2015). Thus, mainly in studies related to sprinkler irrigation and soil erosion, the infiltration process is best evaluated when there is an impact of raindrops on the soil surface (VLCEK et al., 2022), although it is commonly measured by the ring or double ring method (ABDELMONEIM et al., 2021).

Several studies have evaluated erosion and soil water infiltration using simulated rainfall, and for this reason, various pieces of equipment have been developed and improved over the years, such as the rotating boom (SWANSON, 1965); the pendulum-type (MEYER & HARMON, 1979); the needle-type (ROTH et al., 1985); with fixed nozzles and rotating disks (ALVES SOBRINHO et al., 2002); the thrust-type with hydraulically moved arms (BERTOL et al., 2012); and the rotating nozzle and fixed arm for use in the laboratory (CONFESSOR & RODRIGUES, 2021), among others. It can be seen that there is not a standard design for rainfall

simulators, and therefore researchers often develop devices that meet specific needs (BOULANGE et al., 2019). Nevertheless, this equipment must produce rain with characteristics closer to natural ones, in addition to being portable and low-cost (LORA et al., 2017). This range of equipment makes it possible to assess the impact of soil loss in different scenarios, contributing to the development of scientific research in soil and water management and conservation.

The actual contribution of Brazil to global scientific research in the field of Soil Science is unknown, and its temporal evolution needs to be quantified, as this would show the relevance given by the Brazilian scientific community to this area of knowledge. Considering only the number of articles published in Soil Science between 1989 and 2018, Brazil contributed with 4.1% of the overall number of publications, ranking in ninth position (OLIVEIRA FILHO, 2020). Scientometrics is a quantitative technique for evaluating information whose main focus is the measurement of science (PARRA et al., 2019). This technique is able to offer a meaningful understanding of the potential of any given area of research, the current state of the literature, hotspots and future directions. As such, it becomes possible to advance knowledge in the area of interest, identify gaps in the research and help consolidate new approaches in the study of soil and water conservation.

Therefore, we carried out a scientometric analysis of soil erosion and other related processes under simulated rainfall in Brazil to understand the temporal evolution, production, and dissemination of scientific knowledge, research trends, and the degree of technological development, considering articles published in indexed journals included in the Web of Science, Scopus, ScieELO and Google Scholar databases. The following were evaluated: i) evolution of the publication over time; ii) the most cited articles; iii) author contribution; iv) the principal periodicals; v) the most relevant keywords; and vi) the main topics.

2.4 MATERIAL AND METHODS

The study consisted of four stages: definition of the selection criteria; bibliometric research; scientific mapping, which includes bibliometric and scientometric analyses; and discussion of the main topics (Figure 1).

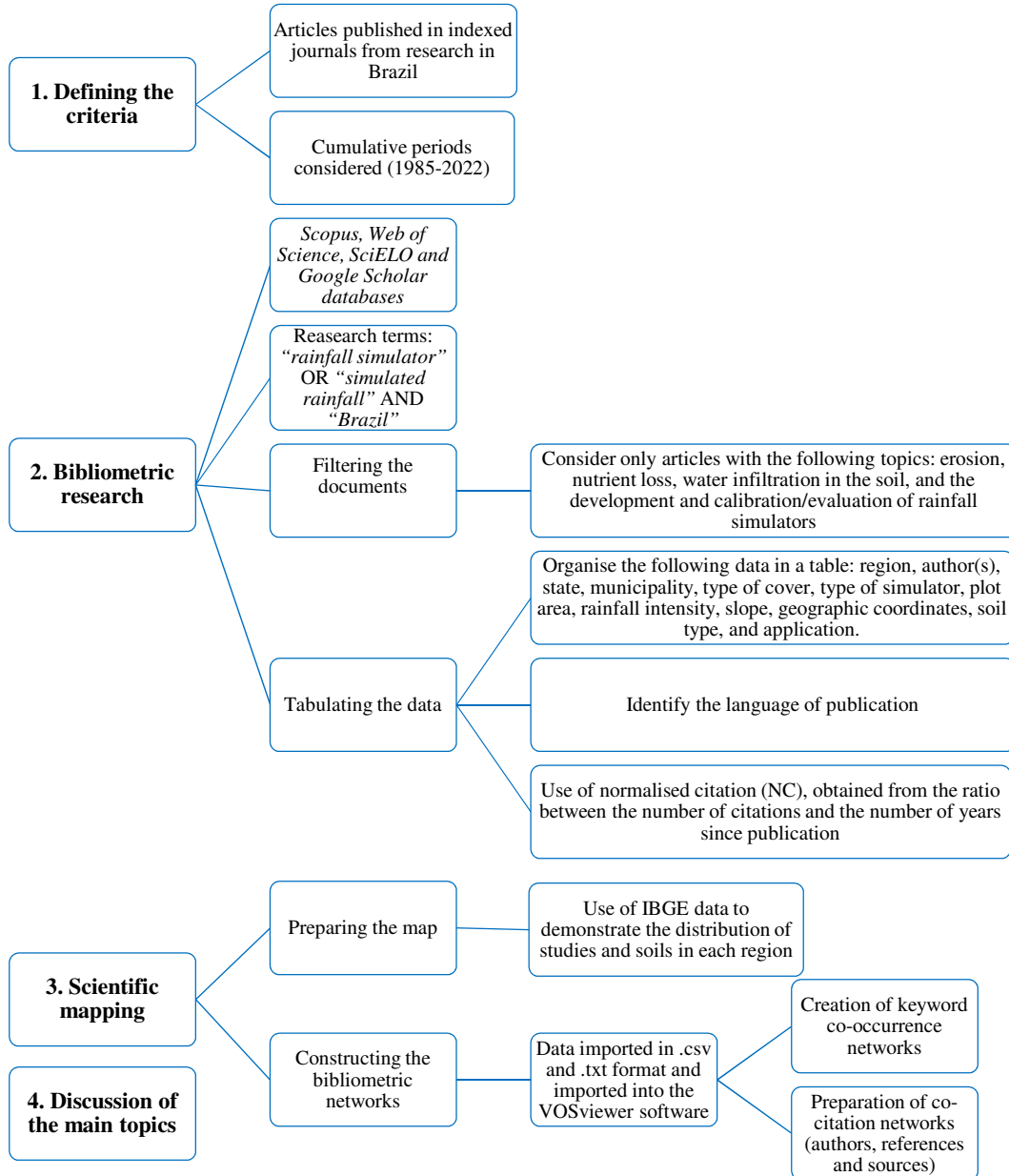


Figure 1. Stages in preparing the study related to simulated rainfall in Brazil.

2.4.1 Terminology and search terms

The collection of data from primary sources and a review of the collected data (verification and the disambiguation of names) were carried out manually. It is worth pointing out the importance of this verification to avoid any duplication of documents. Scientific articles published up to June 2022 and available in the Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar indexed databases were considered. For this analysis, the Scopus database was used as a reference, as it has greater coverage of topics related to the Earth Sciences and presents

slightly higher metric parameters than those of the Web of Science database (MINASNY et al., 2013; BORRELLI et al., 2021). The other databases were used to select articles published in Portuguese and in Brazilian journals before 2006.

The bibliographic research aimed to identify articles carried out with simulated rainfall, and to that effect, the terms “*rainfall simulator*” OR “*simulated rainfall*” AND “*Brazil*” were used. We chose to work with cumulative periods and not with intervals (commonly found in bibliometric studies), as the pioneering authors in this scientific field in Brazil remain active, which allows us to verify the evolution of studies relevant to the topic in question.

2.4.2 Data processing and analysis

After the search for articles, the documents were filtered, considering only articles produced in Brazil and disregarding monographs, theses, abstracts, booklets and similar. Articles having no emphasis on the following topics were also disregarded: erosion, nutrient loss, water infiltration in the soil, and the development and calibration/evaluation of rainfall simulators.

The documents were organised on an electronic spreadsheet, including information on the region of the country, the author(s), state, municipality, type of cover, type of simulator, plot area, rainfall intensity, slope, geographic coordinates, soil type, and topic (data annexed). Furthermore, a map showing the places where the studies were carried out was prepared using cartographic data made available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE).

To build the bibliometric networks of keyword co-occurrence and co-citation (authors, references and sources) and to verify the strength of the links in these networks (the strength of a link indicates the number of publications in which two terms occur together), the metadata and cited references were exported in .csv and .txt format, and imported into the VOSviewer software (VAN ECK & WALTMAN, 2010). Data from Google Scholar were not used at this time due to the impossibility of exporting the metadata. Graphic representations of the publications indexed in the Scopus database were generated, as this was the reference database (as discussed above) and because it contains the largest number of selected articles. To initiate the analysis using VOSviewer, the command ‘Create a map based on bibliographic data’ was selected (Table 1).

To standardise the terms referring to authors, keywords and periodicals, the ‘Thesaurus’ option of VOSviewer was applied. The language of each article was identified manually, and normalised citations (NCs) were used for the number of citations, obtained from the ratio between the number of citations of the article in the respective databases and the number of years since publication, according to Bezak et al. (2021). Articles that presented an NC equal to or greater than 2.00 were highlighted.

Table 1. Types of networks created in VOSviewer.

Type of analysis	Commands employed	Established criteria
Authors/Co-authors – number of publications	‘Co-authorship’ and ‘authors’	Minimum of 3 documents per author
Keywords	‘Co-occurrence’, ‘Author’ ‘keywords’ and ‘Full counting’	Minimum of 3 occurrences
Most-relevant journals	‘Citation’ and ‘Sources’	Minimum of 3 publications on the topic

2.5 RESULTS AND DISCUSSION

2.5.1 Temporal and spatial distribution, classes of soil and types of simulators used in the studies

There were 143 articles on simulated rainfall developed in Brazil between 1985 and 2022 (Figure 2). Of these, 107 were available on *Scopus*, 10 on *SciELO*, 03 on *Web of Science* and 23 on *Google Scholar*. Seventy-two articles were originally published in Portuguese and 71 in English, which shows the importance of considering the use of both languages in collecting the data and not simply publications in English. From the first article (Roth et al., 1985) until 1998, the average annual number of publications was less than two. During this period, the number of researchers studying soil erosion in Brazil was low, as many were studying overseas (especially in the United States of America), and only later began to contribute with research and publications, particularly about soil erosion.

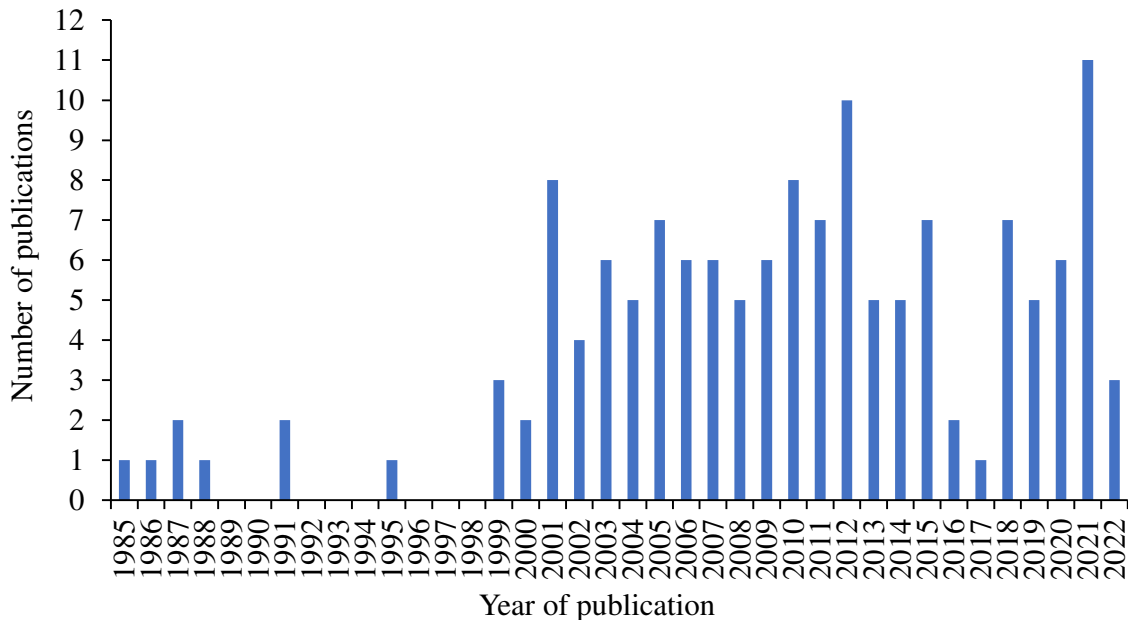


Figure 2. Evolution of the publication of studies on simulated rainfall over the last 37 years (1985-2022) in Brazil.

From 2003 to 2015, at least five articles were published per year in the indexed databases under evaluation. In 2012, there was a significant increase in the number of articles published (10 articles); this can be explained by scientific and technological advances, greater investment in research development in Brazil, and training researchers in soil conservation. In this respect, the importance of expanding conservation agriculture and the popularisation of this knowledge via digital means (the Internet, for example), were significant in reinforcing the study of erosion.

The greatest number of articles on simulated rainfall in Brazil (11) was published in 2021, mainly in international journals. In general, the average growth of publications in Brazil was 22% up to 2021, which among other factors, can be explained by the nature of the field research, in which at least two growth cycles are used, in some cases due to the emergence of this area of study in Brazil and, in many locations, to a lack of continuity of the studies.

Studies including simulated rainfall are concentrated in the south and southeast of the country (Figure 3), the same as for all other academic areas in Brazil (CERETTA et al., 2009;

IRIZAGA & VANZ, 2021). According to Ceretta et al. (2009), these regions had 75% (9 out of 12) of the Graduate Programs in Agricultural Science. Based on the Sucupira platform of the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES*) (<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/cursosavaliadosereconhecidos/area-de-avaliacao/area-de-conhecimento/instituicoedeensino>), there are currently 74 postgraduate programs (PGP) in the area of Agricultural Science in the south and southeast alone, which represents 44.0% of all PGPs in the country.

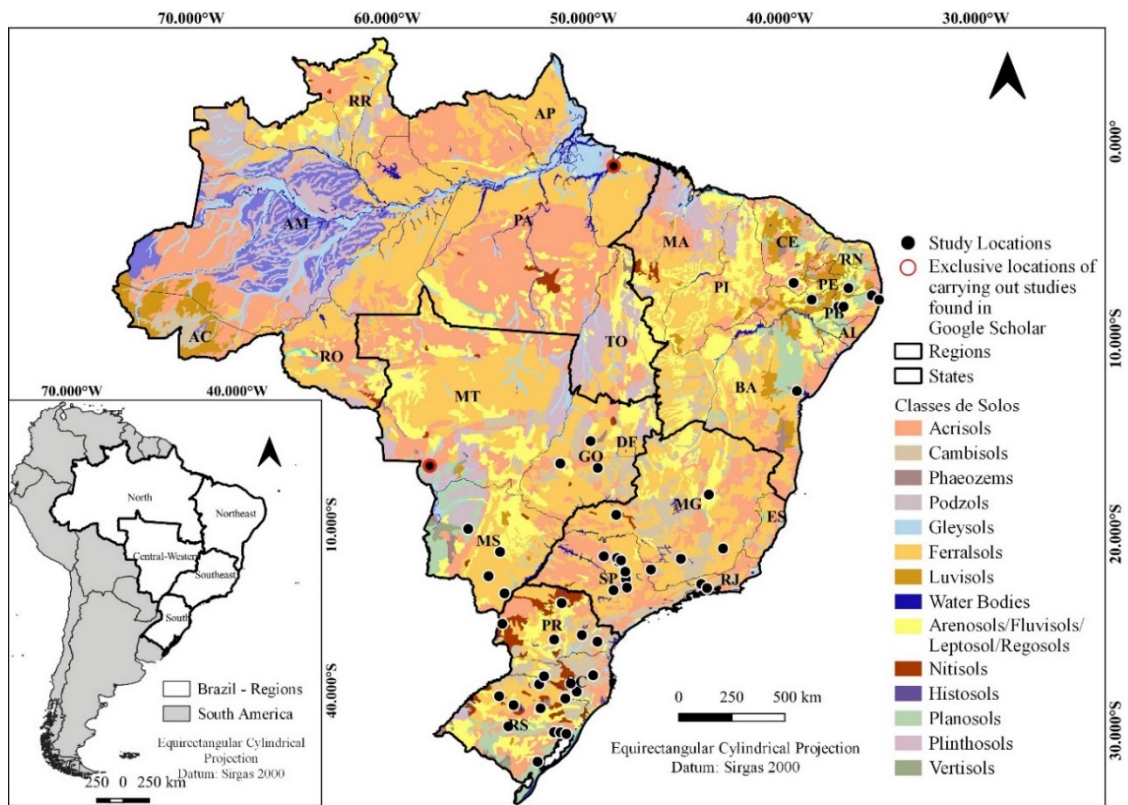


Figure 3. Spatial distribution of the locations where experiments with simulated rainfall were developed between 1985 and 2022 in Brazil.

Few studies have used simulated rainfall, especially in the north of Brazil. This can be explained by the low population density in the region and the smaller number of researchers, and teaching and research institutions in the subject. Another important factor is the high levels of plant cover in the forest, which reduced the effect of raindrops and soil erosion. However, Godoi et al. (2021) warned that in a scenario of uncertain environmental policy related to deforestation, this area could be greatly compromised by soil erosion. Therefore, there is a need for more specific studies to characterise the process of soil erosion in this region.

Historically, research in the field of Agricultural Science and, especially, Soil Science in Brazil, was concentrated in the south and southeast of the country, where agricultural crops were first introduced. The first studies of erosion were developed in these areas due to increases in the loss of soil, water and nutrients in areas with intensive soil disturbance together with a soil surface with no plant cover. In the north of the country, where the plant cover is greater, agricultural activity developed later in relation to the south and southeast. Furthermore, some of the studies carried out in this region were published in the Annals of scientific events that are not covered in this study. In addition, information on studies of erosion under natural rainfall is also scarce and those which are available are usually incomplete, making even specific studies difficult (ANACHE et al., 2017).

Despite the diversity of soil classes in the country (Figure 3), most of the studies were carried out in areas with a predominance of Ferralsols and Acrisols (Figure 4). In Brazil, the class of soil with the least susceptibility to erosion is Ferralsols, however, these soils become highly vulnerable to erosion under intensive tillage and the absence of conservation practices.

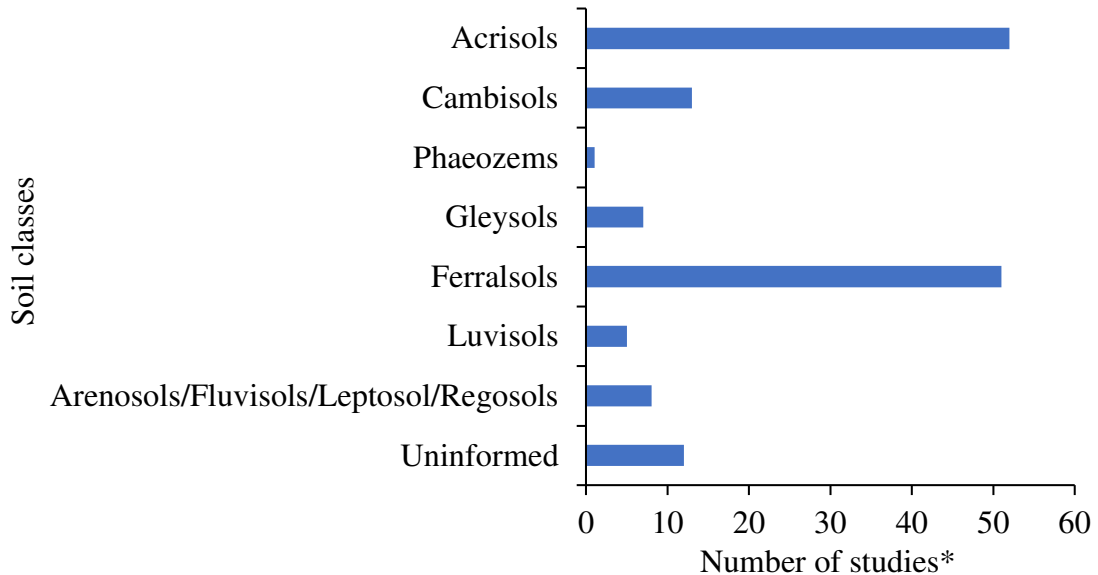


Figure 4. Soil classes with studies involving simulated rainfall from 1985 to 2022 in Brazil. Soils found in articles on simulated rainfall (*there are publications that analyse more than one class of soil).

Valle Junior et al. (2010) stated that Ferralsols are deeper and more easily removed between furrows by erosion, showing tolerable losses of 22.98 to $25.87 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. According to Godoi et al. (2021), the erodibility (K factor) of Latosols varies from $0.0100 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ to $0.0136 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, while for Acrisols, the K factor varies from $0.0175 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ to $0.0203 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

In addition to the variety of soils studied in the articles, the types of simulators also varied in relation to their construction aspects, design, applied rainfall intensity, rainfall spectrum and methods of use. According to Cerdà (1999), by the 1990s, 228 simulators had already been designed; there were 192 from the 1970s. The advance in the development of rainfall simulators was possible due to a better understanding of the characteristics of natural rainfall and its effects on soil loss. However, the lack of standardization of the equipment prevents a more detailed comparison of the results obtained in studies with rainfall simulators (ISERLOH et al., 2013).

The rotating-boom simulator developed by Swanson (1965) was used in 46 of the selected articles (Figure 5). The equipment is mounted on a four-wheel chassis that has good mobility and includes rotating arms on which the sprinkler nozzles are fixed (CHAVES, 1985; SANTOS et al., 2015) (Figure 6A).

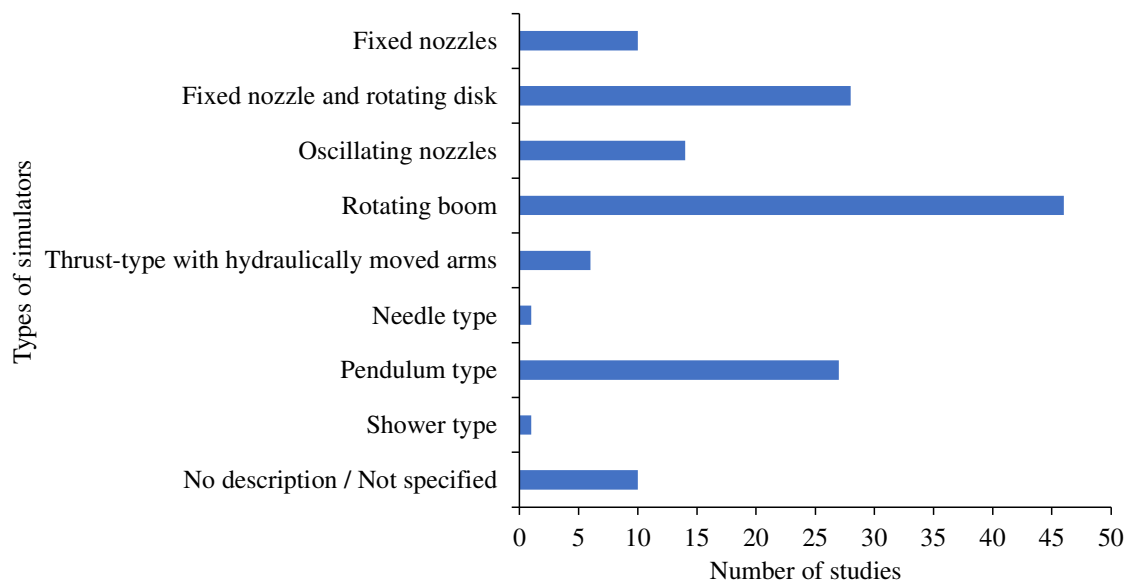


Figure 5. Types of rainfall simulators used in studies regarding simulated rainfall between 1985 and 2022 in Brazil, considering searches of the Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar databases.

Among the models with fixed nozzles and rotating discs, the *InfAsper*, developed by Alves Sobrinho et al. (2002, 2008), was used in 28 studies with simulated rainfall (Figure 6B). The simulator operates with two pressurized nozzles and two superimposed disks that have openings that allow the passage of the water jet according to the desired rainfall intensity (MACEDO et al., 2021). *InfAsper* is one of the most used pieces of equipment in Brazil to simulate rainfall and has been used in studies on erosion (CARVALHO et al., 2012; MARQUES et al., 2019; PANACHUKI et al., 2015) and water infiltration in the soil (ALMEIDA et al., 2018; MORAES et al., 2020; VALIM et al., 2016).

Researchers with important contributions, such as Cassol et al. (2004) and Rosolem et al. (2007), used pendulum-type simulators in their research on erosion. This type of simulator was also used in a further 27 of the articles (Figures 6C and 6D). The simulator consists of a rectangular frame supported by four removable tubular steel feet. It has a motor with an electronic system that performs timed oscillating movements, allowing the sprinkler nozzle to oscillate and affording greater uniformity for the simulated rainfall on the erosion plot (Thomaz et al., 2020).



(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 6. Some types of simulators: (A) Rotating Boom (BARBOSA et al., 2010) 9pg; (B) fixed nozzles and rotating discs (*InfAsper*) (Author source); and Pendulum type (C) (Author source) and (D) (PONCIANO et al., 2021).

Of the articles found, 10 do not characterise the equipment used or employ adaptations with watering cans and showers. Barbosa et al. (2018) used equipment consisting of a wooden structure with four 20 L containers containing the soil samples, a hydraulic system that leads water from a reservoir made of a PET bottle to three showers that simulate raindrops, and three containers to collect the water output.

2.5.2 Scientific background and impact of the studies

Twenty-six articles involving simulated rainfall in Brazil were identified where NC was equal to or greater than 2.0, in which only seven (27%) were published in Portuguese (Table 2). Of the total, 25 articles were published in the Scopus database and one in Web of Science.

Table 2. Bibliographic data of the articles on soil erosion under simulated rainfall in Brazil most cited in the *Scopus*, *Web of Science* and *SciELO* databases.

Ord.	NC Number	Authors	Periodical	N° of citations	Thematic*	Language**	Base ***
1	22.00	Almeida et al. (2018)	Soil & Tillage Research	88	INF	Eng.	Sco
2	8.00	Falcão et al. (2020)	International Soil and Water Conservation Research	16	ERO	Eng.	Sco
3	8.00	Almeida et al. (2021)	International Soil and Water Conservation Research	8	ERO	Eng.	Sco
4	7.40	Bertol et al. (2007a)	Soil & Tillage Research	111	NL	Eng.	Sco
5	5.75	Leite et al. (2018)	Ecohydrology	23	INF	Eng.	Sco
6	5.64	Panachuki et al. (2011)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	63	ERO/INF	Port.	Sco
7	4.00	Silva et al. (2018)	International Journal of Sediment Research	16	ERO/INF	Eng.	Sco
8	3.67	Marques et al. (2019)	Sustainability	11	ERO	Eng.	Sco
9	3.46	Martins Filho et al. (2009)	Engenharia Agrícola	45	ERO/PN	Port.	Sco
10	3.38	Barbosa et al. (2009)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	44	NL	Port.	Sco
11	3.33	Sone et al. (2019)	Sustainability	10	ERO/INF	Eng.	Sco
12	3.23	Engel et al. (2009)	Soil & Tillage Research	49	ERO	Eng.	Sco
13	3.21	Bertol et al. (2003)	Scientia Agrícola	61	NL	Eng.	Sco
14	3.10	Rosa et al. (2012)	Soil & Tillage Research	31	ERO	Port.	Sco
15	3.00	Thomaz et al. (2020)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	6	DEV/CAL	Eng.	Sco
16	2.77	Roth & Pavan (1991)	Geoderma	86	INF	Eng.	Sco
17	2.60	Silva et al. (2012)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	26	ERO/PN	Eng.	WS
18	2.59	Roth et al. (1988)	Soil & Tillage Research	88	INF	Eng.	Sco
19	2.50	Moraes et al. (2020)	Geoderma Regional	5	INF	Eng.	Sco
20	2.38	Castro et al. (2006)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	38	ERO	Port.	Sco
21	2.35	Castro et al. (1999)	Hydrological Processes	54	ERO	Eng.	Sco
22	2.20	Bertol et al. (2007b)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	33	ERO/NL	Eng.	Sco
23	2.17	Bertol et al. (2010)	Scientia Agrícola	26	NL	Eng.	Sco
24	2.17	Almeida et al. (2016)	Pesquisa Agropecuária Brasileira	13	ERO	Port.	Sco
25	2.10	Bramorski et al. (2012)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	21	ERO	Eng.	Sco
26	2.00	Mori et al. (2009)	Revista Brasileira de Ciência do Solo	26	ERO/NL	Port.	Sco

* INF – infiltration; NL – nutrient loss; ERO – erosion; DEV/CAL – development and calibration; ** Eng. – English; Port. – Portuguese; *** Sco – *Scopus*; WS – *Web of Science*.

The three articles with the greatest number of citations were published in the journal called *Soil & Tillage Research*. The article by Almeida et al. (2018) has the highest NC (22.00) with 88 citations. The study details the effect of soil preparation and plant cover on water infiltration in the soil. The authors evaluated water infiltration using a portable rainfall simulator (*InfriAsper*) with a constant rainfall intensity of 60 mm h⁻¹ in an area of Red Acrisol under bare soil, an area of soybean cultivated under conventional tillage, soybean under direct planting, and pasture established with 12 months and no animal trampling. The authors concluded that depending on the type of land use, water infiltration in the soil is influenced more by the plant cover than by the tillage system.

The article with the highest number of citations (111) is by Bertol et al. (2007), which quantified the levels of P, K and organic carbon in surface runoff under different types of tillage and ground cover (continuous bare soil, conventional tillage in desiccated residue, direct planting in burned residue in soil that was never cultivated, direct planting in desiccated residue in soil that was never cultivated, and direct planting in desiccated residue in soil ploughed four years earlier). The authors report that the P content of the sediments decreased exponentially, while K increased potentially with the particle size of the sediments transported by the runoff, unlike the organic carbon content, which bore no relation to the size of the lost sediment.

The article by Roth et al. (1988) has 88 citations, albeit with a low NC (2.59). The study sought to determine the relative importance of the levels of ground cover and the physical properties of the soil, such as apparent density, pore volume, hydraulic conductivity and infiltration. It was found that for the covered soil (direct planting), a rainfall depth of 60 mm was completely infiltrated, while only 20% of the applied rainfall was infiltrated when the soil was bare and the surface completely sealed.

In the most-cited articles (62%), the greatest focus is on the topic of erosion. According to Pavei et al. (2021), erosion is one of the principal concerns and the main cause of economic losses in the field. From the national perspective of the planted area in 2006, Dechen et al. (2015) state that the annual soil loss in agricultural areas was 616.5 million tons, and financial losses due to the loss of only P, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ were approximately USD 1.3 billion per year. In the present article, there was a strong association between the techniques of conservation management and the control of water erosion. In this respect, keeping crop residue as ground cover is efficient in controlling water erosion by dissipating the kinetic energy of raindrops, reducing their direct impact on the soil and the break-up of particles (Ramos et al., 2019; Valim et al., 2016).

The interest of researchers in studies with simulated rainfall is due to the advantages of using a simulator compared to studies with natural rainfall, especially in reducing the time and costs required to carry out the research (CARVALHO et al., 2022). Additionally, the equipment was developed to complement studies of erosion under natural rainfall. Furthermore, studies with simulated rainfall allow better control of the conditions of the experiment, which allows experiments to be repeated under identical conditions, something that is not possible with natural rainfall (ALVES SOBRINHO et al., 2008). Currently, there is little quantitative data from ongoing studies on surface runoff and soil erosion under natural rainfall for different types of ground cover, soil, tillage systems or slopes (ANACHE et al., 2017).

Between 1989 and 2018, there were 649,355 articles published in the field of Soil Science around the world, and Brazil contributed with 27,848 publications, representing 4.1% of the world total. Based on the criteria established for this study, the authors who collaborated most in research on simulated rainfall in the country amounted to 54 of the total of 299 authors (Figure 7).

Bertol I. is the author with the highest number of citations (619) and published articles (28), which corresponds to approximately 20% of the total number of articles. The author is also responsible for structuring and maintaining experiments with more than 30 years of

continuous monitoring of soil erosion under natural and simulated rainfall in Lages, Santa Catarina, Brazil. Among the authors listed, most have a doctorate and work at Universities and Research Institutes. The researchers in question work in different lines of research, in subareas with a high level of specialisation that involve larger areas such as: Agronomy, Agricultural Engineering and Environmental Engineering, among others. The production of scientific knowledge in Brazil is closely associated with the Brazilian university system, especially public universities (SOUZA et al., 2018).

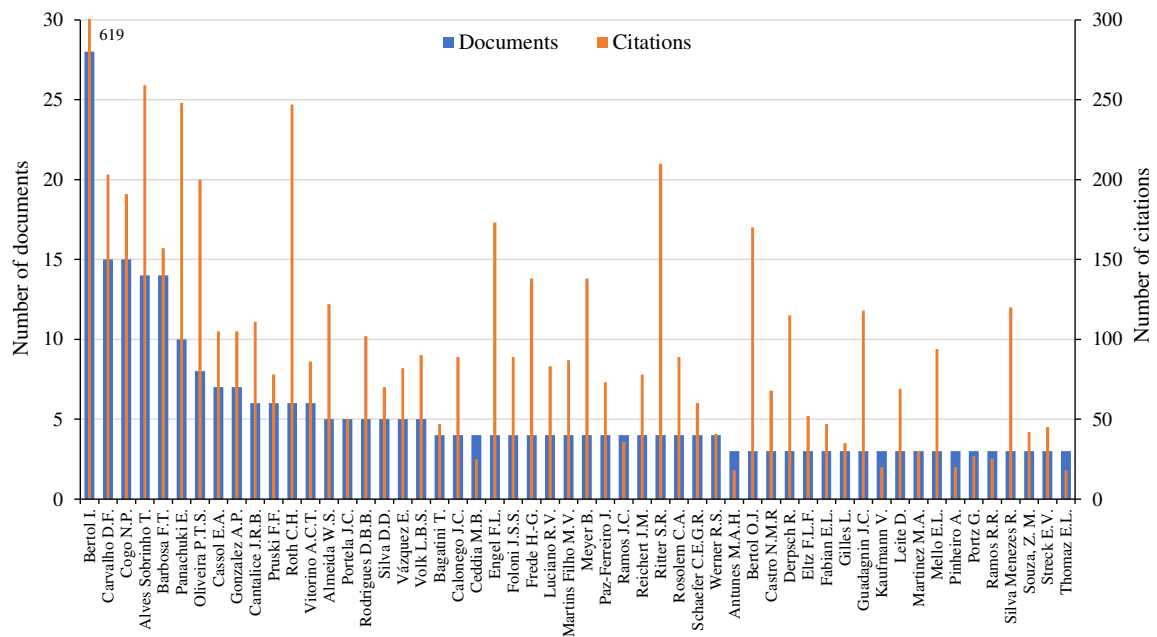


Figure 7. Bibliographic data of the authors who most contributed to studies of simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022, considering the Scopus, Web of Science and SciELO databases.

2.5.3 Indexation analysis

The 26 most frequent of the 258 keywords were selected in the keyword co-occurrence network. The terms ‘Simulated Rainfall’, ‘Water Erosion’, ‘Soil Loss’, ‘Runoff’ and ‘Ground Cover’ are the five most frequently used by the authors (Table 3).

Table 3. Most recurrent keywords in articles using simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022.

Keywords	Occurrence	Strength of the links
<i>Scopus</i>		
Simulated rainfall	27	98
Water erosion	16	49
Soil loss	15	55
Runoff	12	35
Soil cover	12	38
Rainfall simulator	10	27
Erosion	8	29

To be continued...

Continuation of **Table 3.**

Keywords	Occurrence	Strength of the links
<i>Scopus</i>		
Soil tillage	8	33
Water loss	7	32
Simulated rain	5	15
Erosion processes	4	14
No-tillage	10	17
Soil erosion	4	11
Soil losses	4	11
Eutrophication	3	12
<i>SciELO</i>		
Rainfall simulator	3	6

*In the search carried out on the Web of Science database, based on the minimum criterion of three occurrences, no words met the criterion.

The co-occurrence networks that were extracted with information from the title, abstract and keyword list of the 122 documents formed five clusters (Figure 8). In the network, the largest nodes and words show the greatest occurrence, the different colours indicate the clusters, and the lines show the interrelationship between keywords. The size of each keyword is related to the number of occurrences (MORAIS & KARUFE, 2020).

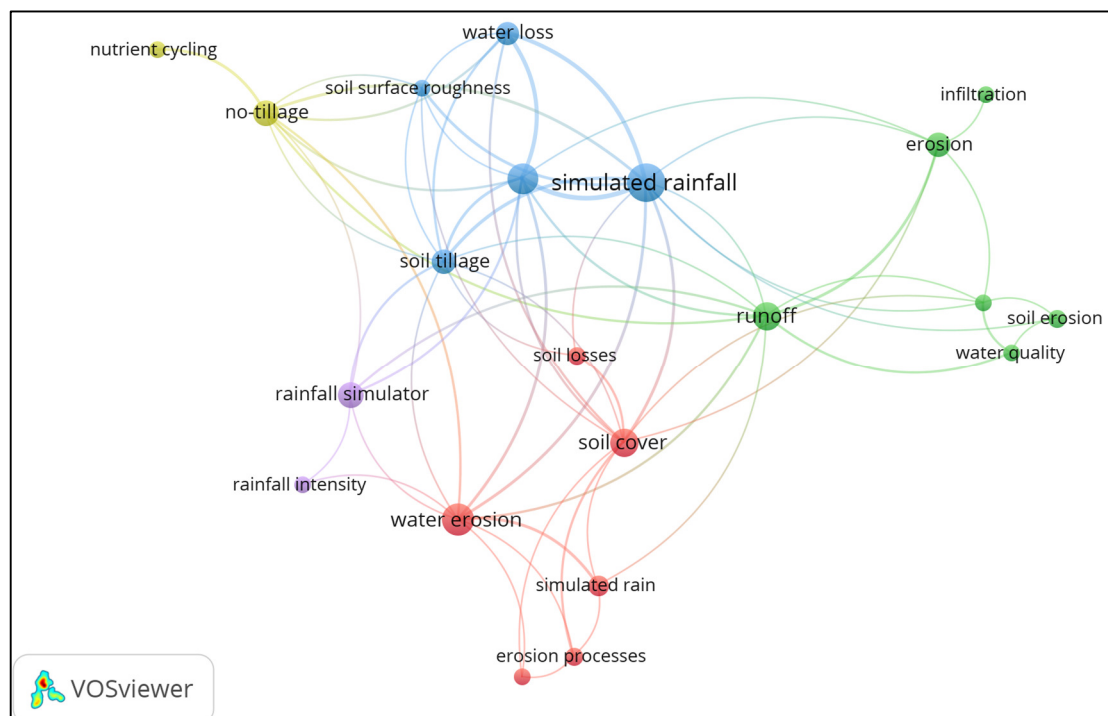


Figure 8. Co-occurrence network of keywords in studies involving simulated rainfall in Brazil obtained from the Scopus database.

The variety of periodicals that published articles related to simulated rainfall in Brazil is small; of the total number of articles published, the largest number is concentrated in seven of the 44 periodicals found (Table 4), only two of which are international and whose scope is related to soil and agriculture research.

Table 4. Journals that published the most articles on simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022.

Journal	Articles	Impact factor*
Engenharia Agrícola	8	0.716
Pesquisa Agropecuária Brasileira	8	1.088
Revista Brasileira de Ciência do Solo	46	1.683
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	12	0.997
Scientia Agrícola	4	2.137
Soil & Tillage Research	8	5.374
Sustainability	3	3.251

* According to Journal Citation Reports – JCR (Clarivate Analytics).

The *Revista Brasileira de Ciência do Solo* published 51.68% of the articles considered in the seven periodicals with open access to all publications. In Brazil, scientific and educational institutions have free access to most scientific databases, however, for publications in closed-access periodicals, dissemination of their content/knowledge is limited to the scientific community (CANCIAN et al., 2019). This is an important point, as the format of the publication and forms of access reflect in the efficient dissemination of scientific knowledge (MARTÍNEZ-QUINTANA & PENAGOS-CORZO, 2012).

Figure 9 shows the citation network between the principal journals that publish on simulated rainfall. The journals are grouped into three clusters, which suggests the degree of interconnection between the articles published in the journals and the tendency to cite each other more frequently. For example, citations attributed to the journal *Engenharia Ambiental* are most interconnected with the journal *Pesquisa Agropecuária Brasileira*.

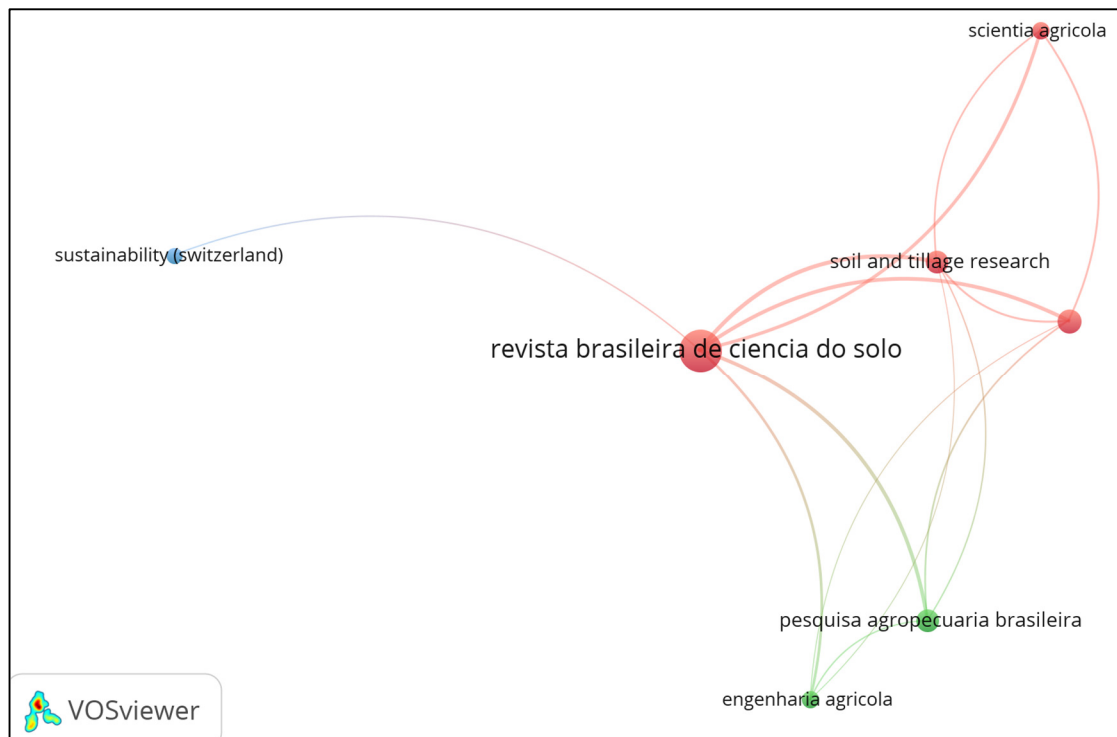


Figure 9. Network of periodicals that published articles involving simulated rainfall in Brazil between 1985 and 2022, based on information in the Scopus database.

2.5.4 Thematic clusters involving simulated rainfall

Among the various publications that employ simulated rainfall, the most recurrent issues are related to soil and water loss, infiltration, tests for nutrient loss, and the development of new simulators or improvements to the current models. We can therefore examine how these issues are addressed in the articles that were found.

2.5.5 Soil erosion

The relevance of research focused on water erosion in different types of ground cover is evident, as 82 of the selected articles exclusively address soil erosion. Of these articles, the largest number of publications included studies in the south of the country. According to Silva et al. (2009), soil erosion has become a problem in southern Brazil, even blocking roads that are close to crops. This occurs mainly in agricultural areas with an intensive tillage system (ploughing and harrowing), which leaves the ground exposed and susceptible to the loss of thousands of tons of soil from the arable layer and depleting its fertility (SILVA et al., 2009). This type of cultivation is based on achieving high yields and presents exhaustive exploitation of natural resources, which intensifies the erosion process. In this respect, adopting techniques such as contour planting with greater ground cover can reduce the loss of soil and water that results from cultivation systems under conventional tillage (CARVALHO et al., 2015).

Most studies on water erosion in Brazil are associated with areas that produce crops such as soya (BEZERRA & CANTALICE, 2006; ENGEL et al., 2009; GARBIATE et al., 2011; PAVEI et al., 2021; TOMASINI et al., 2010), coffee (CASTRO & LOGAN, 1991), maize (CARVALHO et al., 2015; PANACHUKI et al., 2015; SCHAEFER et al., 2002), wheat (ROTH & PAVAN, 1991) and beans (BERTOL et al., 2004; SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2018), in addition to studies in areas of pasture (ALMEIDA et al., 2018; MORAES et al., 2020; ROSA et al., 2013).

The maximum value obtained for soil loss was $48.18 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, in a study by Ramos et al. (2019) on exposed soil. The authors identified several variables, e.g., ground cover, water infiltration rate, organic carbon and runoff velocity, to be used as soil quality indicators in the search to reduce water erosion. In a study conducted on an Inceptisol, using a rotating-boom, a thrust-type rainfall simulator with a constant rainfall intensity of 65 mm h^{-1} and a duration of 90 min, the high level of soil roughness, organic carbon, geometric mean diameter of the aggregates, root mass and macroporosity of the soil were more important as indicators of soil resistance to water erosion than they were for a soil with a surface cover of crop residue. Furthermore, losses were greater in exposed soil with a high level of roughness, prepared by scarification.

A similar result was obtained by Santos et al. (2015), where soil with no plant cover had high rates of disaggregation compared to soil with plant cover. On the other hand, the lowest soil loss ($0.0014 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) was quantified by Panachuki et al. (2011) in an area of Red Latosol covered by plant residue following the soya harvest. These results corroborate the effect of plant cover in reducing the kinetic energy of raindrops when they impact the ground, the breakdown of soil particles, and surface runoff.

One of the factors that interfere with the erosion process is rainfall intensity (RI), which influences the level of water loss, both in undisturbed soils and in soils under conventional tillage. In the studies carried out in Brazil, a mean value of 67 mm h^{-1} was used for RI. When analysing the hypothesis that sediment production and runoff rates can be altered by rainfall events, associating different intensities and durations for the same total erosivity, Almeida et al. (2021) found that different associations of rainfall intensity and duration with equal erosivity change the amount of eroded soil and the starting time of the surface runoff.

Another factor with a significant effect on soil erosion is the slope of the terrain, which in the studies in Brazil ranged from 0 to 0.45 m m⁻¹. In the micro basin of the Salomea River in Bahia, the classes of slope (< 9, 10-15, 25-30 and 35-40%) together with the plant cover (pasture) influenced soil loss (INÁCIO et al., 2007). Amorim et al. (2001) evaluated the effect of precipitation intensities of 30, 46, 69, 88 and 107 mm h⁻¹ and five surface slopes (0.02, 0.06, 0.10, 0.14 and 0.18) on the erosion of a Red-Yellow Latosol. The authors found a linear trend for accumulated soil loss over time, which shows a constant increase in the rate of soil loss as the values of the slope and kinetic energy increased.

2.5.6 Soil water infiltration

Of the 35 selected articles dealing with water infiltration in the soil, 17 related infiltration to erosion. The values for a stable infiltration rate ranged from 3.1 to 80.0 mm h⁻¹. Zonta et al. (2012) found the maximum value when evaluating the influence of successive applications of different rainfall profiles on the formation of surface crusting and, consequently, on the rate of water infiltration in soil with and without cover (straw). Three successive, constant rainfalls were applied at 24-hour intervals for each decreasing exponential profile, early and late double exponential, with a mean depth of 55 mm per application. The authors point out that the reduction in the rate of water infiltration in the soil after the first five minutes is due to surface sealing. In addition, there was a 75% reduction in the stable infiltration rate for bare soil compared to covered soil.

As it is a surface phenomenon, infiltration is influenced by the type of soil preparation and rainfall (ALMEIDA et al., 2018; ZONTA et al., 2012). Maintaining plant cover significantly reduces water erosion, surface runoff and soil resistance to penetration and increases water infiltration (ALMEIDA et al., 2016, 2019; PANACHUKI et al., 2006).

The lowest infiltration rate found (3.10 mm h⁻¹) was in an evaluation of the characterisation of surface waterproofing and water erosion in areas of bare Acrisol and covered with *Brachiaria decumbens* in the Upper Ipanema River Basin in Pernambuco. Three rainfall events with an intensity of 54.63 mm h⁻¹ were applied at 24-h intervals. In the plots of bare soil, compared to those under pasture, the reduction in infiltration was 70, 52 and 71% for the intervals of 0, 24 and 48 h, respectively. Water infiltration in the soil tends to be less in areas of bare soil than in soil conservation systems with less soil disturbance and the permanent maintenance of plant cover on the surface (ALMEIDA et al., 2018; PANACHUKI et al., 2006).

2.5.7 Nutrient loss through water erosion

Eight of the articles involved the loss of nutrients. Of the factors that influence nutrient loss in runoff, the main factors are rainfall intensity and duration and the time between fertiliser application and the occurrence of rainfall (MECABÔ JÚNIOR et al. 2014). These losses reduce the productive capacity of the soil, which results in reduced crop productivity (BERTOL et al., 2004). In soils under conventional tillage, nitrogen (N) loss is greater, as seen by Bertol et al. (2003) in an area of aluminic Haplic Nitosol (4.7 kgN ha⁻¹). Bertol et al. (2007) found higher concentrations of nutrients in the soil under direct planting than under conventional planting, demonstrating the efficiency of the direct planting system and the need to employ integrated conservation practices. When properly used, these practices reduce the environmental damage caused by nutrient loss, such as the eutrophication of surface waters.

The greatest potassium losses were obtained in trials by Rosolem et al. (2003), when submitting the residue from black oats, millet, sorghum, Indian hemp, *Brachiaria* and triticale to simulated rainfall. The authors found considerable concentrations of K⁺ in the percolated water, with values ranging from 7 to 24 kg K⁺ ha⁻¹ leached from a cover equal to 8 t ha⁻¹ of

straw dry matter with accumulated rainfall depths of 70 mm and no decomposition of the plant material. In soya, K⁺ losses were 4.4 times greater under desiccated direct sowing and burned direct sowing than in the other treatments (ploughing + 2 harrowings with no cultivation, ploughing + 2 harrowings with the cultivation of soya; scarification + 1 harrowing with the cultivation of soya), which was due to the plant residue releasing potassium under both systems (BERTOL et al., 2003).

Phosphorus loss was 3.3 kg ha⁻¹ in a study of erosion in the furrows, between the furrows and in the gullies of an area of a Ferralsol cultivated with sugar cane after burning the straw during the pre-harvest, in Guariba, São Paulo (IZIDÓRIO et al., 2005). The highest concentrations occurred for the erosion between furrows, as concentrations of the nutrient are greater on the surface of the soil, allowing greater contact with the runoff water.

2.5.8 Development and calibration of rainfall simulators

In this survey, 12 published scientific articles using this approach were identified. The research carried out by Bertol et al. (2012) should be highlighted, where the authors modified the rotating-boom simulator to continue and accelerate research on water erosion in Brazil. The rainfall simulator they developed moves hydraulically using thrust and, in general, maintains the characteristics of the Swanson model (Figure 6A). The new features have made the new thrust-type model lighter, more economical, silent and easier to handle in the experimental area, requiring only four people to move it in field and laboratory experiments.

Another researcher with extensive collaboration is Alves Sobrinho, T., who in 2002 developed the sprinkler infiltrometer (*InfAsper*) (Figure 6B), indicated for studying erosion and water infiltration in the soil, both in the field and in the laboratory. In addition to the relatively sophisticated design, the main advantage of *InfAsper* is the possibility of previously changing the intensity of the rainfall without changing the pressure of the nozzles, thereby maintaining the diameter of the droplets and uniformity of the application (ALVES SOBRINHO et al., 2008). Among the publications found, 24 used *InfAsper* in field experiments, and two used *InfAsper* in the laboratory.

The study by Faria Júnior et al. (2013), carried out in the central west of the country, aimed to build and calibrate a portable rainfall simulator that would be easy to handle and could be used both in the field and in the laboratory. The equipment they developed followed the operating principles of the simulator described by Meyer & Harmon (1979) and adapted from Souza (2004). Calibration was performed by means of 12 rainfall gauges placed inside the plot at a spacing of 25 x 33 cm that remained under the simulated rainfall for 10, 20 and 30 minutes. The Christiansen uniformity coefficient (CUC) showed a reliable distribution, with values greater than 75% commonly found in the literature. Therefore, the simulator met the basic requirements to serve as a tool for scientific research related to water erosion, nutrient loss and water infiltration in the soil.

Recently published, the study by Ponciano et al. (2021) proposed a pendulum rainfall simulator employing the operating principles of the simulator described by Souza (2004) (Figure 6C). However, a new model for angular motion transmission into linear motion of the sprinkler was developed, which oscillated at 60 cycles per minute over the plot. The statistical uniformity coefficients obtained in the tests of the simulator were considered adequate and indicated a highly uniform droplet distribution, meeting the technical requirements established in the literature, and applicable to various studies in the areas of agricultural and environmental science.

Irrespective of the type or construction characteristics, one of the greatest limitations of using simulators in the study of soil erosion is the impossibility of varying rainfall intensity (RI) during rainfall application (CARVALHO et al., 2022), preventing the simulation of rainfall

with instantaneous variations in RI, as occurs naturally. To overcome this problem in the *InfiAsper* simulator, Macedo et al. (2021) developed an automatic system for controlling rainfall intensity by varying the rotation of the shutter disk. The new *InfiAsper* panel makes it possible to simulate different rainfall patterns simply by entering the desired pattern using a text file recorded on a micro-SD memory card.

In recent years, studies focused on environmental conservation have increased significantly. In the case of using rainfall simulators, which have diverse applications and cover a wide range of research fields, the number of publications in Brazil has grown in the last 23 years. The different methodologies found demonstrate that there is no standardization of rainfall simulation. Thus, rainfall simulators differ in design, rainfall intensity, and research objectives (ISERLOH et al., 2013), making it difficult to compare the results of the studies, but it allows researchers to create a tailored system for its application in specific research (GREEN, 2014).

One of the greatest limitations of simulators for the study of soil erosion, for example, is the impossibility of varying the precipitation intensity (PI) during rainfall application (CARVALHO et al., 2022), preventing the simulation of rainfall with instantaneous PI variation as occurs in natural rainfall. One of the advances in this sense is the system of automatically controlling precipitation intensity by varying the rotation of the shutter disc, developed by Macedo et al. (2021). The new *InfiAsper* panel makes it possible to simulate different rainfall patterns by simply entering the desired rainfall pattern through a text file, saved on a micro-SD memory card. Thus, inferences can be more representative of the real process underway, considering that, according to Schattman et al. (2022), changes in precipitation patterns are expected to be one of the most consequential effects of anthropogenic climate change.

Considering the evolution of rainfall simulation experiments from simple sprinkler systems to sophisticated computer-based electrical and hydraulic systems (MEENA et al., 2022), one perspective is the improvement of the design of various simulators, increasingly facilitating mobility, as well as increasing the accuracy of the information generated. Another promising option to be researched is the development of large-scale simulators, due to the high cost and need for continuous maintenance by qualified technicians of the current models (ISIDORO et al., 2022), facilitating obtaining answers to urban environmental issues and studies in hydrographic basins.

2.6 CONCLUSIONS

In this study, we evaluated the research on simulated rainfall in Brazil published as manuscripts in journals indexed in the Scopus, Web of Science, ScieELO, and Google Scholar bibliographic databases over the last 37 years (1985-2022). There has been an increase in the number of publications, especially in Brazilian journals, which have been replaced by publications in higher-impact international journals.

The publications with the highest impact are from institutions located in the south and southeast of Brazil. It shows that in the north, northeast and central west of Brazil (regions under Cerrado, Amazon and Caatinga biomes, and their transitions), there is a large gap in studies on simulated rainfall, and little is known about soil erosion and other related processes under simulated rainfall in agricultural production systems. In these regions, with high variations of the pedoclimatic conditions, studies focusing on soil and water losses are rare, especially considering the crop management and increase in land use and land cover change.

In Brazil, soil erosion researchers use different simulators to apply rainfall and these pieces of equipment allows measuring soil water infiltration, and soil and water losses with high efficiency under various conditions of soil cover, tillage and agricultural management. Moreover, this study provides a bibliographic database on soil erosion and other soil surface process under simulated rainfall and provides information about research priorities that can support more detailed analyses in the future.

2.7 REFERENCES

- ABDELMONEIM, A. A.; DACCACHE, A.; KHADRA, R.; BHANOT, M.; DRAGONETTI, G. Internet of Things (IoT) for double ring infiltrometer automation. **Computers and Electronics in Agriculture** 188, 106324. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106324>. 2021.
- AKSOY, H.; UNAL, N. E.; COKGOR, S.; GEDIKLI, A.; YOON, J.; KOCA, K.; INCI, S. B.; ERIS, E. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. **Catena** 98, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.009>. 2012.
- ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PEREIRA, F. A. C.; ROUWS, J. R. C. (2019). Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23, 572-578. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p572-578>. 2019.
- ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W.C.; RODRIGUES, S.A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1110-1119. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900010> (In Portuguese). 2016.
- ALMEIDA, W. S.; SEITZ, S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil and Water Conservation Research** 9, 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.004>. 2021.
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research** 175, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>. 2018.
- ALVES, M. A. B.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T.; HOSHIDE, A. K.; ARAUJO, H. B.; SILVA, A. F.; CARVALHO, D. F. Influence of land use and crop cover on soil erosion in agricultural frontier areas in the Cerrado-Amazon ecotone, Brazil. **Sustainability**, 15(6), 4954. <https://doi.org/10.3390/su15064954>. 2023.
- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6, 337-344. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200025> (In Portuguese). 2012.
- ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use & Management** 24, 163-170. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00150.x>. 2008.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 5, 124-130. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100023> (In Portuguese). 2001.
- ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. C.; OLIVEIRA, P. T. S.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-

analysis of the Brazilian experience. **Catena**, 152, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.003>. 2017.

ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. Systemic Soil Fertility as product of system self-organization resulting from management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, 021090. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20210090>. 2021.

BARBOSA, A. M. S.; MARTORANO, L. G.; SANTOS, L. S.; MORAES, J. R. S. C.; APARECIDO, L. E. O. Potencial erosivo das chuvas em simulador portátil em diferentes coberturas do solo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais** 9, 200-209. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0017> (In Portuguese). 2018.

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 439-446. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200021> (In Portuguese). 2009.

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; PAZ-FERREIRO, J. Sediment size and organic carbon content in runoff and soil under two crops and two seed row directions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34, 1701-1710. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500022>. 2010.

BERTOL, I.; BERTOL, C.; BARBOSA, F. T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 1905-1910. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600024> (In Portuguese). 2012.

BERTOL, I.; ENGEL, F. L.; MAFRA, A. L.; BERTOL, O. J.; RITTER, S. R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, 94, 142-150. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.008>. 2007a.

BERTOL, I.; ENGEL, F. L.; MAFRA, A. L.; BERTOL, O. J.; RITTER, S. R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, 94, 142-150. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.008>. 2007b.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, 1045-1054. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600013> (In Portuguese). 2004.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agrícola**, 60, 581-586. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300025>. 2003.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LANA, M. C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilisation. **Scientia Agrícola**, 67, 71-77. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000100010>. 2010.

- BEZAK, N.; MIKOŠ, M.; BORRELLI, P.; ALEWELL, C.; ALVAREZ, P.; ANACHE, J. A. A.; PANAGOS, P. Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. **Environmental Research**, 197, 111087. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111087>. 2021.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30, 565-573. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300016> (In Portuguese). 2006.
- BORRELLI, P.; ALEWELL, C.; ALVAREZ, P.; ANACHE, J. A. A.; BAARTMAN, J.; BALLABIO, PANAGOS, P. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. **Science of The Total Environment**, 780, 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>. 2021.
- BOULANGE, J.; MALHAT, F.; JAIKAEW, P.; NANKO, K.; WATANABE, H. Portable rainfall simulator for plot-scale investigation of rainfall-runoff, and transport of sediment and pollutants. **International Journal of Sediment Research**, 34, 38 - 47. 2019.
- BOULAL, H.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil and Tillage Research**, 115, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.07.003>. 2011.
- BRAMORSKI, J.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; CRESTANA, S. Relations between soil surface roughness, tortuosity, tillage treatments, rainfall intensity and soil and water losses from a red yellow latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 1291-1298. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400023>. 2012.
- CANCIAN, A. C. M.; SOUZA, L. A. S.; SILVA, V. H. P.; MACHADO, W. L.; OLIVEIRA, M. S. Psychometric properties of the Brazilian version of the Difficulties in Emotion Regulation Scale (DERS). **Trends Psychiatry Psychother**, 41, 18-26. <https://doi.org/10.1590/2237-6089-2017-0128>. 2018.
- CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19, 1072-1078. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1072-1078>. 2018.
- CARVALHO, D. F.; MACEDO, P. M. S.; PINTO, M. F.; ALMEIDA, W. S.; SCHULTZ, N. Soil loss and runoff obtained with customised precipitation patterns simulated by InfiAsper. **International Soil and Water Conservation Research**, 10, 407-413. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.003>. 2022.
- CARVALHO, D. F.; SOUZA, W. J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R.; GUERRA, J. G. M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, 32, 708-717. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400010> (In Portuguese). 2012.
- CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39, 685-690. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700010> (In Portuguese). 2004.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30, 339-352. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200014> (In Portuguese). 2006.

CASTRO, N. M. R.; AUZET, A. V.; CHEVALLIER, P.; LEPRUN, J. C. Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. **Hydrological Processes** 13, 1621-1628. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19990815\)13:11<1621::AID-HYP831>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19990815)13:11<1621::AID-HYP831>3.0.CO;2-L). 1999.

CASTRO, C.; LOGAN, T. J. Liming Effects on the Stability and Erodibility of Some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal** 55, 1407-1413. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500050034x>. 1991.

CERDÀ, A. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. **Cuadernos Investigación Geográfica** 25, 45-84. <https://doi.org/10.18172/cig.1036> (in Spanish). 1999.

CERDÀ, A.; BORJA, M. E. L.; PARDO, I. F.; ÚBEDA, X.; NOVARA, A.; VICENTE, M. L.; POPOVIĆ, Z.; PULIDO, M. The role of plant species on runoff and soil erosion in a Mediterranean shrubland. **Science of The Total Environment**, 799, 149-218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149218>. 2021.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 139, 689-699. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.016>. 2010.

CHAVES, I. B. **Avaliação das características de chuvas simuladas Método Fotográfico** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba. <https://doi.org/10.11606/T.11.2019.tde-20191220-120719> (In Portuguese). 1985.

CONFESSOR, J. G.; SILVA, L. L.; RODRIGUES, S. C. Confecção de um simulador de chuvas móvel como ferramenta de disseminação do conhecimento Geomorfológico e preservação de ambientes. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 22, 10001-1009. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.1871> (In Portuguese). 2021.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. D. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia** 74, 224-233. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>. 2015

ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; RITTER, S. R.; PAZ-GONZÁLEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J.; VIDAL VÁZQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. **Soil & Tillage Research**, 103, 216-221. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.017>. 2009.

FALCÃO, K. S.; PANACHUKI, E.; MONTEIRO, F. N.; SILVA MENEZES, R.; RODRIGUES, D. B. B.; SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, 8, 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.004>. 2020.

- FARIA JÚNIOR, C. A.; NUNES, M. C. M.; SANTOS, F. A. S.; FREITAS, P. S. L.; DALLACORT R. Construção e calibração de um simulador de chuva portátil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer 9, 778-787. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3062> (In Portuguese). 2013.
- GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; TOMASINI, B. A.; BERGAMIN, A. C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 2145–2155. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600029> (In Portuguese). 2011.
- GARCIA-ESTRINGANA, P.; ALONSO-BLÁZQUEZ, N.; MARQUES, M. J.; BIENES, R.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; ALEGRE, J. Use of Mediterranean legume shrubs to control soil erosion and runoff in central Spain. A large-plot assessment under natural rainfall conducted during the stages of shrub establishment and subsequent colonisation. **Catena**, 102, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.09.003>. 2013.
- GODOI, R. F.; RODRIGUES, D. B. B.; BORRELLI, P.; OLIVEIRA, P. T. S. High-resolution soil erodibility map of Brazil. *Science of The Total Environment*, 781, 146-673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146673>. 2021.
- GREEN, D. **Chapter 5.3:** Modelling geomorphic systems: scaled physical models. In: S. COOK, S. J., CLARKE, L. E., NIELD, J. N. (Eds.), *Geomorphological Techniques* (Online Edition), British Society for Geomorphology, pp. 1-17. 2014.
- GRISMER, M. Standards vary in studies using rainfall simulators to evaluate erosion. **California Agriculture**, 66, 102-107. <https://doi.org/10.3733/ca.v066n03p102> 2012.
- INÁCIO, E. S. B., CANTALICE, J. R. B., NACIF, P. G. S., ARAUJO, Q. R., BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11, 355–360. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400002> (In Portuguese). 2007.
- IRIZAGA, K.R.F., VANZ, S.A.S. Relações entre a produção científica e a produção agropecuária brasileira sob o viés de um estudo bibliométrico. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, 17, 1-21. <https://doi.org/10.21713/rbpg.v17i37.1755> (In Portuguese). 2021.
- ISERLOH, T., RIES, J.B., ARNÁEZ, J., BOIX-FAYOS, C., BUTZEN, V., CERDÀ, A. WIRTZ, S. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. **Catena**, 110, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013> 2013.
- ISIDORO, J. M. G. P.; SILVEIRA, A.; LIMA, B. O. Development of a large-scale rainfall simulator for urban hydrology research. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 27, 169-173. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200365> 2022.
- IZIDÓRIO, R., MARTINS FILHO, M.V., MARQUES JÚNIOR, J., SOUZA, Z.M., PEREIRA, G.T. de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, 25, 660-670. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000300011> (In Portuguese). 2005.

- KATEB, H. E., ZHANG, H., ZHANG, P., MOSANDL, R. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. **Catena**, 105, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.012>. 2013.
- KEESSTRA, S.D., RODRIGO-COMINO, J., NOVARA, A., GIMÉNEZ-MORERA, A., PULIDO, M., DI PRIMA, S., CERDÀ, A. Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments. **Catena**, 174, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.007>. 2019.
- KINNELL, P.I.A. A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. **Catena**, 145, 257-265, <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.013>. 2016.
- LEITE, P.A.M., SOUZA, E.S., SANTOS, E.S., GOMES, R.J., CANTALICE, J.R., WILCOX, B.P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, 11, e1910. <https://doi.org/10.1002/eco.1910>. 2018.
- LORA, M., CAMPORESE, M., SALANDIN, P. Design and performance of a nozzle-type rainfall simulator for landslide triggering experiments, **Catena**, 140, 77-89. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.018>. 2016.
- MACEDO, P.M.S., PINTO, M.F., SOBRINHO, T.A., SCHULTZ, N., COUTINHO, T.A.R., CARVALHO, D.F. A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment under different rainfall patterns. **Journal of Hydrology**, 596, 126052. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126052>. 2021.
- MARQUES, V., CEDDIA, M.B., ANTUNES, M.A.H., CARVALHO, D.F., ANACHE, J.A.A., RODRIGUES, D.B.B., OLIVEIRA, P.T.S. USLE K-Factor Method Selection for a Tropical Catchment. **Sustainability**, 11, 1840. <https://doi.org/10.3390/su11071840>. 2019.
- MARTÍNEZ-QUINTANA, M.U., PENAGOS-CORZO, J.C. Open access in the dissemination of scientific knowledge in psychology. *Problems of Psychology in the 21st Century*, 1, 36-46. <https://doi.org/10.33225/ppc/12.01.36>. 2012.
- MARTINS FILHO, M.V., LICCIOTI, T.T., PEREIRA, G.T., MARQUES JÚNIOR, J., SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, 29, 8-18. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100002>. (In Portuguese). 2009.
- MAYERHOFER, C., MEIBL, G., KLEBINDER, K., KOHL, B., MARKART, G. Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator – Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments. **Catena**, 156, 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.009> 2017.
- MECABÔ JÚNIOR, J., BERTOL, I., BARBOSA, F.T., OSELAME, G.S. Erosão hídrica influenciada por uma aplicação de dejetos líquidos de suínos no solo cultivado em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38, 1601-1611. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500025>. (In Portuguese). 2014.

MEENA, R.K., SEN, S., NANDA, A., DASS, B., MISHRA, A. A contribution to rainfall simulator design – a concept of moving storm automation. **Hydrology and Earth System Sciences**, 26, 4379-4390. <https://doi.org/10.5194/hess-26-4379-2022>. 2022.

MENDES, T.A., ALVES, R.D., GITIRANA, G.F.N., PEREIRA, S.A.S., REBOLLEDO, J.F.R., LUZ, M.P. Evaluation of Rainfall Interception by Vegetation Using a Rainfall Simulator. **Sustainability**, 13, 5082. <https://doi.org/10.3390/su13095082> 2021.

MEYER, L. D. & HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**, 22, 100-103. <https://doi.org/10.13031/2013.34973> 1979.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B., MALONE, B.P., WHEELER, I. Chapter One - Digital Mapping of Soil Carbon. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. Academic Press, pp. 1-47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00001-3>. 2013.

MONTEBELLER, C.A., CARVALHO, D.F., ALVES SOBRINHO, T., NUNES, A.C.S., RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5, 1-5. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100001>. (In Portuguese). 2001.

MORAES, A.G.L., CARVALHO, D.F., ANTUNES, M.A.H., CEDDIA, M.B., FLANAGAN, D.C. Steady infiltration rate spatial modelling from remote sensing data and terrain attributes in southeast Brazil. **Geoderma Regional**, 20, e00242. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00242>. 2020.

MORAES, L.L., KAFURE, I. Bibliometria e ciência de dados: um exemplo de busca e análise de dados da Web of Science (WoS). **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, 18, 1-20. <http://dx.doi.org/10.20396/rdbci.v19i0.8658521>. (In Portuguese). 2020.

MOHAMAD, M.A., KAVIAN, A. Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. **International Soil and Water Conservation Research**, 3, 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.10.001>. 2015.

MORI, H.F., FAVARETTO, N., PAULETTI, V., DIECKOW, J., SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 189-198. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100020>. (In Portuguese). 2009.

NEUMANN, M., KAVKA P., DEVÁTÝ J., STAŠEK, J., STROUHAL, L., TEJKL, A., KUBÍNOVÁ, R., RODRIGO-COMINO, J. Effect of plot size and precipitation magnitudes on the activation of soil erosion processes using simulated rainfall experiments in vineyards. **Frontiers in Environmental Science**, 10, 949774. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.949774>. 2022.

OLIVEIRA FILHO, J.S. A bibliometric analysis of soil research in Brazil 1989-2018. **Geoderma Regional**, 23, e00345. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00345>. 2020.

PANACHUKI, E., ALVES SOBRINHO, T., VITORINO, A.C.T., CARVALHO, D.F., URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de

integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10, 261–268. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200003> (In Portuguese). 2006.

PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., OLIVEIRA, P.T.S., RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 1777–1786. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032> (In Portuguese). 2011.

PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., OLIVEIRA, P.T.S., RODRIGUES, D.B.B. Effect of soil tillage and plant residue on surface roughness of an oxisol under simulated rain. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39, 268–278. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150187>. 2015.

PANDEY, S.; KUMAR, P.; ZLATIC, M.; NAUTIYAL, R; PANWAR, V.P. Recent advances in assessment of soil erosion vulnerability in a Watershed. **International Soil and Water Conservation Research**, 9, 305e318. 2021.

PARRA, M.R., COUTINHO, R.X., PESSANO, E.F.C. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, 34, 126-141. <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.126-141> (In Portuguese). 2019.

PAVEI, D.S., PANACHUKI, E., SALTON, J.C., SONE, J.S., ALVES, T., VALIM, W.C., OLIVEIRA, P.T.S. Soil physical properties and interrill erosion in agricultural production systems after 20 years of cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, e0210039. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210039>. 2021.

PONCIANO, V.F.G., PONCIANO, I.M., GAMA, L.M.S., SILVA, M.R.K.S. Development of a Portable Rainfall Simulator. **Ciência Agrícola**, 19, 17-24. <https://doi.org/10.28998/rca.v19i1.10248>. 2021.

RAMOS, J.C., BERTOL, I., BANDEIRA, D.H., BARBOSA, F.T., ZANGISKI, F. Path coefficient analysis, a different approach to identify soil quality indicators. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23, 545-551. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p545-551>. 2019.

ROSA, J.D., COOPER, M., DARBOUX, F., MEDEIROS, J. C. Soil roughness evolution in different tillage systems under simulated rainfall using a semivariogram-based index. **Soil & Tillage Research**, 124, 226-232. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.06>. 2012.

ROSA, J.D., COOPER, M., DARBOUX, F., MEDEIROS, J.C. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37, 400-410. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200011> (In Portuguese). 2013b.

RODRIGO-COMINO, J., KEESSTRA S., CERDÀ, A. Soil Erosion as an Environmental Concern in Vineyards: The Case Study of Celler del Roure, Eastern Spain, by Means of Rainfall Simulation Experiments. **Beverages**, 4, 1-11. <https://doi.org/10.3390/beverages4020031>. 2018.

RONČEVIĆ, V., ŽIVANOVIĆ, N., RISTIĆ, R., BOXEL, J.H.V., KAŠANIN-GRUBIN, M. Dripping Rainfall Simulators for Soil Research-Design Review. **Water**, 14, 3309. <https://doi.org/10.3390/w14203309>. 2022.

ROSOLEM, C. A., CALONEGO, J. C., FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27, 355-362. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200015> (In Portuguese). 2003.

ROSOLEM, C.A., CALONEGO, J.C., FOLONI, J.S.S., GARCIA, R.A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42, 1169–1175. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800014> (In Portuguese). 2007.

ROTH, C.H., MEYER, B., FREDE, H.-G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, 12, 79–85. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(85\)80006-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(85)80006-0). 1985.

ROTH, C.H., MEYER, B., FREDE, H.-G., DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, 11, 81–91. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(88)90033-5). 1988.

ROTH, C.H., PAVAN, M.A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, 48, 351–361. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(91\)90053-V](https://doi.org/10.1016/0016-7061(91)90053-V). 1991.

SANTOS, F.A.S., NUNES, M.C.M., FARIA JÚNIOR, C.A., ARANTES, E.M., SEABRA JÚNIOR, S. Taxa de desagregação de Argissolo Vermelho-Amarelo em entressucos e sob chuva simulada. **Engenharia na Agricultura**, 23, 143-153. <https://doi.org/10.13083/reveng.v23i2.565> (In Portuguese). 2015.

SADEGHI, S.H., HARCHEGANI, K. M., ASADI, H. Variability of particle size distributions of upward/downward splashed materials in different rainfall intensities and slopes, **Geoderma**, 290, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.12.007>. 2017.

SANTOS, M.A.N., PANACHUKI, E., ALVES SOBRINHO, T., OLIVEIRA, P.T.S., RODRIGUES, D.B.B. Water infiltration in an ultisol after cultivation of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38, 1612–1620. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500026>. 2014.

SANTOS, R.C., GUERRA, A.J.T. Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do rio pequeno, Paraty-RJ. **Geosaberes**, 12, 23. <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1060> (In Portuguese). 2021.

SARTORI, M., PHILIPPIDIS, G., FERRARI, E., BORRELLI, P., LUGATO, E., MONTANARELLA, L., PANAGOS, P. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. **Land Use Policy**, 86, 299–312. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>. 2019.

SCHAEFER, C.E.R., SILVA, D.D., PAIVA, K.W.N., PRUSKI, F.F., ALBUQUERQUE FILHO, M.R., ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, 37, 669–678. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500012> (In Portuguese). 2002.

SCHATTMAN, R.E., SMART, A., BIRKEL, S., JEAN, H., BARAI, K., ZHANG, Y.J. Strawberry growth under current and future rainfall scenarios. **Water**, 14, 313. <https://doi.org/10.3390/w14030313>. 2022.

SILVA, A.A., GALON, L., FERREIRA, F.A., TIRONI, S.P., FERREIRA, E.A., SILVA, A.F. DA, ASPIAZÚ, I., AGNES, E.L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira 1. **Ceres**, 56, 496-506. (In Portuguese). 2009.

SILVA, G.R.V., SOUZA, Z.M., MARTINS FILHO, M.V., BARBOSA, R.S., SOUZA, G.S. Soil, water and nutrient losses by interrill erosion from green cane cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 963–970. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300026>. 2012.

SILVA, R.M., SANTOS, C.A.G., SANTOS, J.Y.G. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal of Sediment Research** 33, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>. 2018.

SONE, J.S., OLIVEIRA, P.T.S., PEREIRA ZAMBONI, P.A., MOTTA VIEIRA, N.O., ALTRÃO CARVALHO, G., MOTTA MACEDO, M.C., ALVES SOBRINHO, T. Effects of Long-Term Crop-Livestock-Forestry Systems on Soil Erosion and Water Infiltration in a Brazilian Cerrado Site. **Sustainability**, 11, 5339. <https://doi.org/10.3390/su11195339>. 2019.

SOUZA, M.D. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. Jaguariúna: Documentos 37, Embrapa Meio Ambiente, 2004. 20p. Retrieved from https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/12266/1/documentos_37.pdf. (In Portuguese). 2004.

SOUZA, T.E.M.D.S., GONÇALVES, E.P., PEREIRA, D.S., SANTOS, L.M.D., MACHADO, L.S., SOUZA, E.R.D. Reducing erosion in sorghum crops with mulching. **Revista Caatinga**, 31, 730–736. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n323rc> (In Portuguese). 2018.

SPOHR, R., CORCINI, A., PELLEGRIN, J., BONFANTI, J., SOTO, M., CARDOSO, T. Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 20, 411-417. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n2.p411-417> (In Portuguese). 2015.

SWANSON, N.P. **Rotating-boom rainfall simulator**. Transactions of the ASAE, 8, 71-72. Doi: 10.13031/2013.40430. 1965.

THOMAZ, A.C., SANTA, P.S., OLIVEIRA, V.L., OLIVEIRA, W.L., PRAT, B.V., SILVA, A.C. Avanços no desenvolvimento de equipamento para avaliação da erosão hídrica em laboratório. **Brazilian Journal of Development**, 6, 61290–61300. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-519> (In Portuguese). 2020.

TOMASINI, B.A., VITORINO, A.C.T., GARBIATE, M.V., SOUZA, C.M.A., A. SOBRINHO, T. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob

diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, 30, 1060–1070. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000600007> (In Portuguese). 2010.

ÚBEDA, X., FARGUELL, J., FRANCOS, M., OUTEIRO, L., PACHECO, E. Runoff and erosion generation by simulated rainfall in a Mediterranean forest with forest management. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, 26, 37-51. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.007>. 2020.

VALLE JÚNIOR, R.F., GALBIATTI, J.A., MARTINS FILHO, M.V., PISSARRA, T.C.T. Potential of erosion in Uberaba river watershed. **Engenharia Agrícola**, 30, 897-908, <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500012> (In Portuguese). 2010.

VALIM, W.C., PANACHUKI, E., PAVEI, D.S., ALVES SOBRINHO, T., ALMEIDA, W.S. Effect of sugarcane waste in the control of interrill erosion. **Semina: Ciências Agrárias**, 37, 1155. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1155>. 2016.

VAN ECK N.J., WALTMAN L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, 84, 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>. 2010.

VLCEK, L., SÍPEK, V., ZELÍKOVA, N., CÁP, P., KINCL, D., VOPRAVIL, J. Water retention and infiltration affected by conventional and conservational tillage on a maize plot; rainfall simulator and infiltrometer comparison study. **Agricultural Water Management**, 271, 107800. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107800>. 2022.

YAKUPOGLU, T., GUNDOGAN, R., DINDAROGLU, T., KUSVURAN, K., GOKMEN, V., RODRIGO-COMINO, J., GYASI-AGYEI, Y., CERDÀ, A. Tillage Impacts on Initial Soil Erosion in Wheat and Sainfoin Fields under Simulated Extreme Rainfall Treatments. **Sustainability**, 13, 789. <https://doi.org/10.3390/su13020789>. 2021.

ZILLI, M., SCARABELLO, M., SOTERRONI, A.C., VALIN, H., MOSNIER, A., LECLÈRE, D., RAMOS, F.M. The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of The Total Environment**, 740, 139384. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>. 2020.

ZONTA, J.H., MARTINEZ, M.A., PRUSKI, F.F., SILVA, D.D., SANTOS, M.R. Effect of successive rainfall with different patterns on soil water infiltration rate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 377–388. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200007> (In Portuguese). 2012.

3. CAPÍTULO II

EROSÃO HÍDRICA EM ÁREA CULTIVADA COM SOJA SOB DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO E PADRÕES DE CHUVA SIMULADA

Capítulo submetido em inglês (Water erosion in area cultivated with soybean under different soil covers and simulated rainfall patterns, in the Southern Amazon, Brazil), como artigo para o periódico “Catena” (CATENA28222) em 18/07/24.

3.1 RESUMO

O controle da erosão hídrica é um desafio para os produtores rurais, sobretudo em áreas extensivas de produção de soja no Brasil. Com a remoção de partículas do solo e dos nutrientes na camada superficial, a capacidade produtiva das áreas fica comprometida. Diante disso, este estudo foi realizado tendo por objetivo avaliar as perdas de solo e água em área cultivada com soja, sob diferentes condições de cobertura do solo e padrões de precipitação, sob chuvas simuladas, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, na região Sul da Amazônia. Por meio de um arranjo fatorial foram avaliadas 4 condições de cobertura do terreno (áreas com cobertura de soja sobre palhada de milho - SP, apenas palhada - PA, sem cobertura - SE, e sem cobertura com revolvimento do solo - SR) e 4 padrões de precipitação (Avançado - AV, Intermediário - IN, Atrasado - AT e Constante - CT). Utilizando o equipamento InfiAsper foram simuladas chuvas com intensidade de precipitação (IP) média de 75 mm h^{-1} , com IP máxima de $133,1 \text{ mm h}^{-1}$ e duração de 60 min, para os 4 padrões avaliados. Os parâmetros analisados foram tempos de início e fim de escoamento, taxa máxima de escoamento, lâmina escoada e perda de solo. Os resultados indicam que o padrão de chuva AT proporcionou maior tempo de início de escoamento, enquanto o padrão AV teve um tempo de fim de escoamento mais curto. A retirada da cobertura proporcionou taxa máxima média de escoamento de $80,9 \text{ mm min}^{-1}$, 51,3% superior aos tratamentos SP e PA. A perda de solo e o escoamento superficial totalizaram $2,75 \text{ g m}^{-2}$ e $12,42 \text{ mm h}^{-1}$ (AV); $5,59 \text{ g m}^{-2}$ e $33,78 \text{ mm h}^{-1}$ (IN); $5,79 \text{ g m}^{-2}$ e $25,38 \text{ mm h}^{-1}$ (AT); $2,20 \text{ g m}^{-2}$ e $15,67 \text{ mm h}^{-1}$ (CT), respectivamente. A presença de cobertura vegetal proporcionou redução expressiva da erosão, em função da diminuição da concentração de sedimentos e do aumento da resistência ao fluxo, o que prolongou o tempo necessário para o início da erosão do solo. Chuvas com padrões Intermediário e Atrasado produzem maiores perdas de solo em comparação aos padrões Avançado e Constante. Esses resultados comprovam a importância do uso de práticas conservacionistas, como a manutenção de resíduos culturais e a cobertura do solo, na redução da erosão em áreas agrícolas.

Palavras-chave: Chuva simulada; *InfiAsper*; Hietogramas de chuvas; Manejo do solo; Escoamento superficial.

3.2 ABSTRACT

The control of water erosion is a challenge for agricultural producers, especially in extensive soybean production areas in Brazil. With the removal of soil particles and nutrients from the surface layer, the productive capacity of the areas is compromised. In light of this, this study was conducted with the aim of evaluating soil and water losses in an area cultivated with soybeans under different soil cover conditions and precipitation patterns, using simulated rainfall on a Dystrophic Red-Yellow Latosol in the Southern Amazon region. Through a factorial arrangement, four ground cover conditions were evaluated (areas with soybean cover on corn straw - SP, only straw - PA, no cover - SE, and no cover with soil disturbance - SR) along with four precipitation patterns (Advanced - AV, Intermediate - IN, Delayed - DE, and Constant - CT). Using the InfiAsper equipment, simulated rainfall with an average precipitation intensity (PI) of 75 mm h⁻¹, a maximum PI of 133.1 mm h⁻¹, and a duration of 60 minutes were applied for the four evaluated patterns. The parameters analyzed included runoff start and end times, maximum runoff rate, runoff depth, and soil loss. The results indicate that the DE rainfall pattern provided a longer runoff start time, while the AV pattern had a shorter runoff end time. The removal of cover resulted in an average maximum runoff rate of 80.9 mm min⁻¹, 51.3% higher than treatments SP and PA. Soil loss and total surface runoff amounted to 2.75 g m⁻² and 12.42 mm h⁻¹ (AV); 5.59 g m⁻² and 33.78 mm h⁻¹ (IN); 5.79 g m⁻² and 25.38 mm h⁻¹ (DE); 2.20 g m⁻² and 15.67 mm h⁻¹ (CT), respectively. The presence of vegetation cover significantly reduced erosion due to the decrease in sediment concentration and increased flow resistance, prolonging the time required for soil erosion to begin. Rainfall patterns Intermediate and Delayed produced higher soil losses compared to Advanced and Constant patterns. These results confirm the importance of using conservation practices, such as maintaining crop residues and soil cover, in reducing erosion in agricultural areas.

Keywords: Rainfall simulator; *InfiAsper*; Rain hyetograms; Soil management; Surface runoff.

3.3 INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos o comércio internacional de soja apresentou crescimento exponencial, impulsionando o aumento e a intensificação da atividade agrícola, sobretudo na América do Sul (DREONI et al., 2022). O cultivo de soja (*Glycine max* L.) no Brasil abrange uma área de cerca de 44,0 milhões de hectares, resultando em uma produção em torno de 154 milhões de toneladas anuais, com produtividade média superior a 3.500 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). A cultura exerce uma influência significativa na economia do país, especialmente no estado de Mato Grosso, que contribuiu com aproximadamente 29% da produção nacional de grãos na safra 2022-2023 (IMEA, 2023). Nesse estado, as áreas ocupadas com lavouras de soja vêm sendo recentemente estabelecidas na região Sul da Amazônia e no ecótono Cerrado-Amazônia, que apresentam elevada importância ambiental nos contextos regional e nacional (ALVES et al., 2023b), e vem sofrendo constante supressão de vegetação nativa (LENSE et al., 2021).

A prática do cultivo da soja, no entanto, representa um sistema de sustentabilidade limitada, sobretudo em áreas sujeitas a recorrentes períodos de estiagem ao longo da estação chuvosa, mesmo em manejos com plantio direto (SILVA et al., 2021). As pesquisas sobre os impactos da produção de soja na qualidade ambiental e na sustentabilidade aumentaram consideravelmente ao longo dos últimos anos (DREONI et al., 2022; SANTOS e NAVAL, 2022; LOPES et al., 2021). Todavia, torna-se indispensável o conhecimento do comportamento dos processos erosivos, que promovem perda da camada produtiva do solo, resultando na queda da produtividade e no aumento dos custos econômicos (SCHÜTTE et al., 2020; PATAULT et al., 2021).

O desenvolvimento de práticas conservacionistas contribui para a redução da degradação do solo e aumento da produtividade das terras agrícolas (DU et al., 2022; LIAO et al., 2022). De acordo com Dohlman et al. (2022), cerca de 20% das áreas cultiváveis em escala global apresentam baixa produtividade em virtude dos efeitos da erosão do solo. Diversos estudos avaliam estratégias de manejo conservacionista na cultura da soja, como cobertura do solo (ALMEIDA et al., 2018; SERAFIM et al., 2022; SILVA et al., 2020), cultivo consorciado (BARCELOS et al., 2022; SHEN et al., 2023), cultivo mínimo (LIEBHARD et al., 2022; PEARSON et al., 2023), rotação de culturas (YUAN et al., 2022), entre outros. Essas técnicas têm potencial para promover agregação das partículas do solo, aumentar a taxa de infiltração, minimizar o impacto das gotas de chuva ao cobrir a superfície do terreno e reduzir a velocidade e o volume do escoamento superficial (SILVA et al., 2023).

A fim de melhor compreender tais processos, pesquisas com chuva simulada têm sido desenvolvidas (PANACHUKI et al., 2015; BARBOSA et al., 2018; CARVALHO et al., 2022; ALMEIDA et al., 2022; ALVES et al., 2023b) permitindo entender os efeitos resultantes das técnicas de cultivo adotadas na degradação do solo e seus respectivos impactos nas produtividades futuras e na sustentabilidade dos sistemas de produção. Todavia, a precipitação simulada deve corresponder o mais próximo possível às características da precipitação natural, possibilitando melhor representar os seus efeitos no processo erosivo e nos diversos componentes do ciclo hidrológico (DUNKERLEY, 2023). Essa representação realista possibilita previsões mais acuradas do comportamento hídrico, essenciais para um planejamento e gestão eficaz dos recursos hídricos.

Dentre os fatores que contribuem para o escoamento superficial e a perda de solo, os padrões de precipitação estão entre os mais importantes (AHMED et al., 2023). Assim, os simuladores podem representar melhor um evento natural quando possuem mecanismos que possibilitam a variação da intensidade de precipitação, durante os testes, reproduzindo uma variedade de padrões e não apenas um hietograma constante (ALVES et al., 2023a). O painel

de controle para o simulador *InfiAsper* (ALVES SOBRINHO et al., 2008) proposto por Macedo et al. (2021) atende essa necessidade, permitindo que a intensidade de precipitação seja alterada automaticamente selecionando padrões de chuva pré-definidos.

Pesquisas sobre a erosão do solo em áreas de produção agrícola usando simuladores de chuva com padrões de precipitações ainda são escassos para os solos brasileiros, principalmente na região Amazônica. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as perdas de solo e água em áreas cultivadas com soja sob diferentes condições de cobertura do solo e padrões de precipitação sob chuva simulada, na região Sul da Amazônia.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área localizada no estado de Mato Grosso, Brasil (12°17'26" S; 55°40'83" O; altitude de 380 m), cujo clima é tropical úmido, classificado como Aw, de acordo com Köppen, com precipitação média anual de 1.950 mm e período seco de maio a setembro. A temperatura média anual é 25 °C, com médias mensais mínimas e máximas variam de 16 a 34 °C (Souza et al., 2013).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (ALVES et al., 2022), e para sua caracterização, amostras indeformadas e deformadas foram coletadas nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, em mini-trincheiras de 0,4 × 0,4 m localizadas próximas aos pontos de aplicação das chuvas simuladas (Tabelas 5 e 6). As análises foram realizadas de acordo com as metodologias apresentadas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 5. Análise textural e atributos físico-hídricos do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na lavoura de soja.

Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia	Ds	PTo	Ko
	----- g kg ⁻¹ -----			--g cm ³ --	-- cm ³ cm ⁻³ --	-- mm h ⁻¹ --
0,0 – 0,10	198	42,00	760	1,56 ± 1,05	0,40 ± 0,03	5,58 ± 3,12
0,10 – 0,20	204	43,20	752	1,71 ± 3,37	0,34 ± 0,12	5,51 ± 2,58

* Ds: Densidade do solo; PTo: Porosidade total; Ko: condutividade hidráulica saturada.

Tabela 6. Atributos químicos da área experimental a partir de amostras coletadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na lavoura de soja.

Profundidade (m)	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	MO
	(H ₂ O)								%
0,0 – 0,10	6,25	0,07	3,12	0,94	0,00	1,85	4,12	5,98	2,25
0,10 – 0,20	5,30	0,07	1,37	0,36	0,55	3,40	1,80	5,20	1,61

As chuvas foram simuladas em áreas cultivadas com soja (*Glycine max* L.) em estádios vegetativo V11 e reprodutivo R2, com altura média de 0,60 m. O escoamento superficial e as perdas de sedimentos foram avaliados em áreas com cobertura de soja e palhada remanescente de milho (Figura 10a), apenas com palhada (Figura 10b), sem cobertura no solo (solo exposto) (Figura 10c) e sem cobertura e com revolvimento a 0,10 m de profundidade com enxada estreita (Figura 10d), considerados como SP, PA, SE e SR, respectivamente; essas duas últimas coberturas permitem avaliar os efeitos de preparos mecanizados do solo para áreas agrícolas. Os valores médios de matéria seca das coberturas presentes nas parcelas SP e PA foram de 4,75 e 17,37 Mg ha⁻¹. A declividade média das parcelas experimentais foi de 0,03 m m⁻¹, indicando condição de relevo plano.

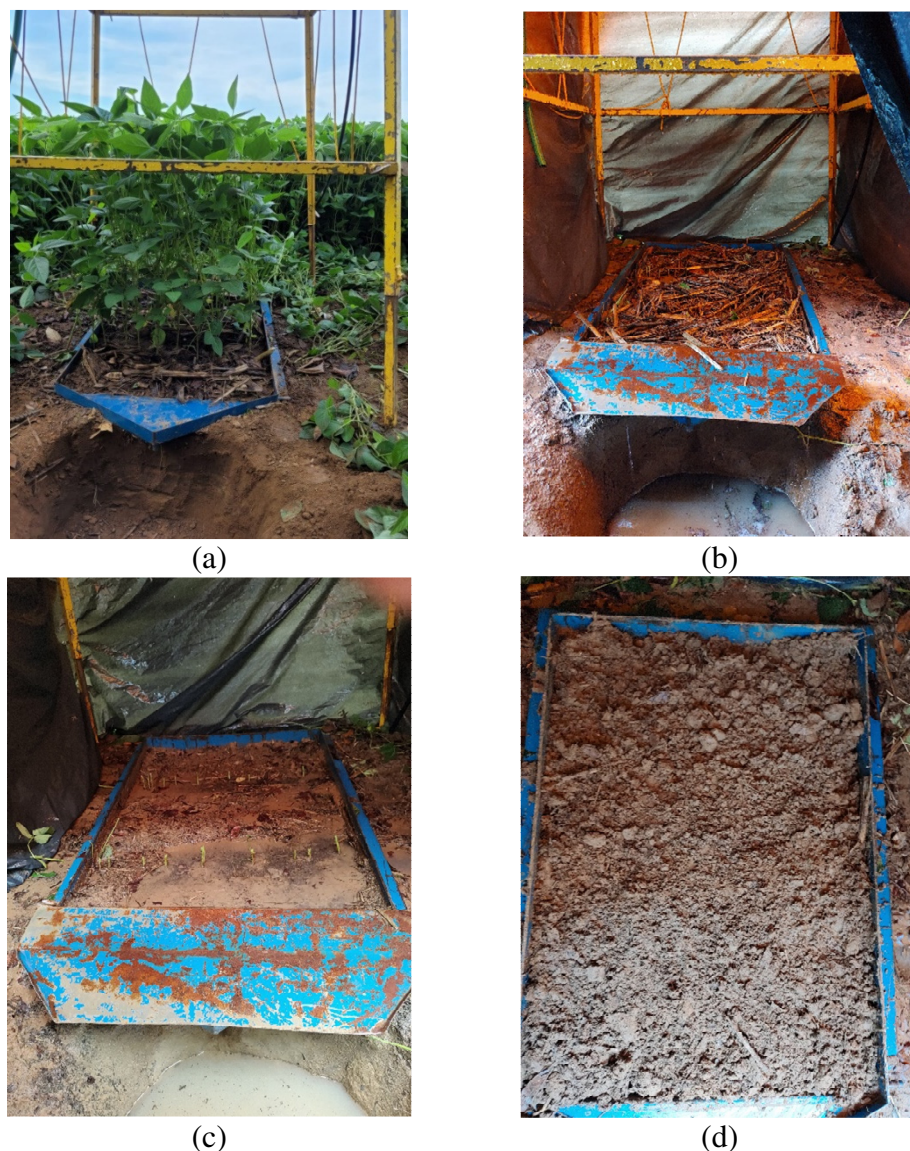


Figura 10. Parcelas experimentais com os tratamentos soja + palhada (a), apenas com palhada (b), solo sem cobertura (exposto) (c) e solo sem cobertura e revolvido (d).

As chuvas foram simuladas com o uso do *InfiAsper*, desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2008), que opera com dois bicos Veejet 80-150, posicionados paralelamente a 2,3 m da superfície do solo, com pressão média de serviço de 35,6 kPa. A coleta do escoamento superficial é realizada por meio de uma estrutura retangular de 1,0 m x 0,7 m, composta por chapas de aço galvanizada e cravada no solo a uma profundidade de aproximadamente 0,15 m (Figura 11a).

Para simular as condições de campo e padronizar o conteúdo de água do solo antes do início das chuvas simuladas, as parcelas foram submetidas a um pré-molhamento (ALMEIDA et al., 2018). Esse procedimento, similar a uma chuva antecedente, visou garantir que a umidade na camada superficial do solo se aproximasse das condições encontradas em campo, com um teor de água médio de $0,281 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os percentuais médios de umidade foram SP, PA, SE, SR.

A partir do painel de controle desenvolvido por Macedo et al. (2021) (Figura 11b), a rotação do disco do obturador (Figura 11c) era programada com o intuito de simular diferentes padrões de precipitação. Com base na relação IDF da região (SABINO et al., 2020), o simulador

foi regulado para aplicar chuvas com intensidade de precipitação média (IP) de 75 mm h^{-1} e duração de 60 min.

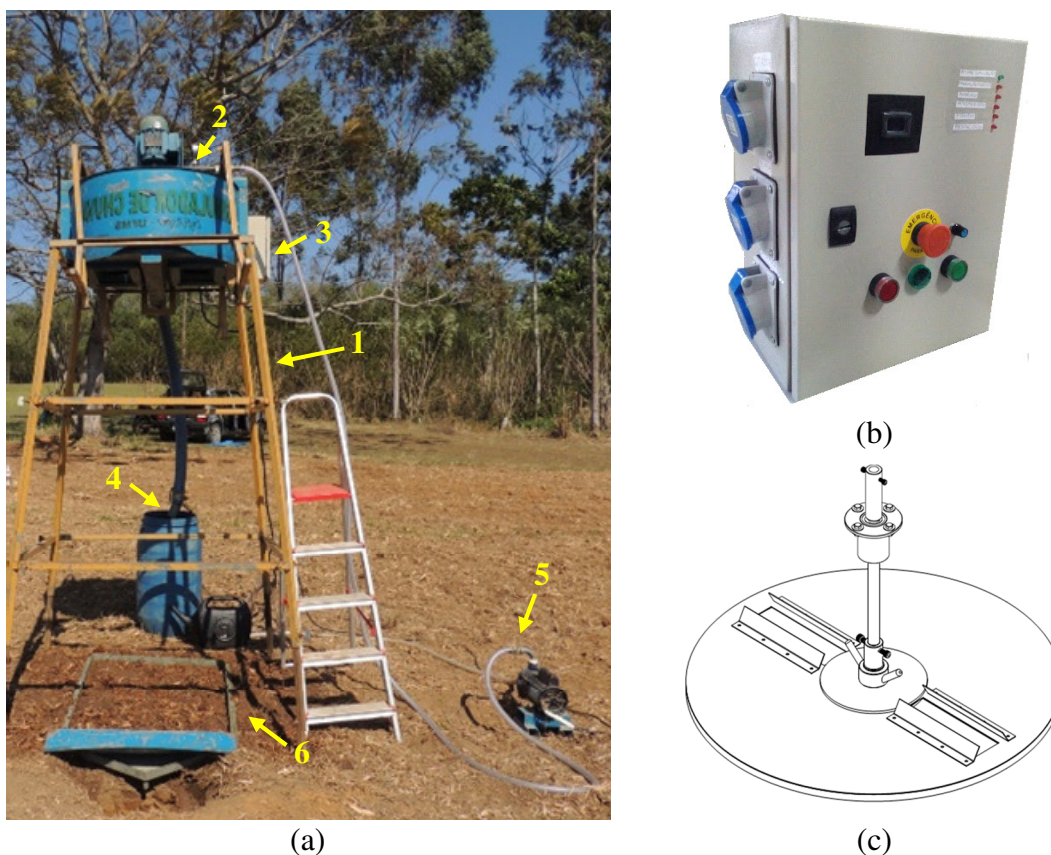


Figura 11. Simulador de chuva Infiasper (a); painel de controle modificado (b) e discos do obturador para regulação de intensidade de precipitação (c). Detalhes do simulador de chuva: **1.** estrutura metálica; **2.** unidade de aplicação de água; **3.** painel de controle; **4.** reservatório de água; **5.** bomba hidráulica; **6.** coletor de escoamento superficial. Fonte: Carvalho et al. (2022) (a); Macedo et al. (2021) (b, c).

Em laboratório, avaliações de IP foram realizadas para rotações do disco obturador variando de 100 a 800 rpm (Figura 12a). A partir daí, os padrões: avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) foram definidos com rotações variando entre 266 e 700 rpm (rotações por minuto), correspondendo a valores de IP entre $133,1$ e $50,0 \text{ mm h}^{-1}$ (Figura 12b), enquanto para o padrão de IP constante (CT), o obturador operou com rotação fixa de 571 rpm. Também foram realizados testes de uniformidade de aplicação da água utilizando 28 coletores distribuídos de forma equidistante no coletor de escoamento superficial, que indicaram coeficiente de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942) acima de 80%.

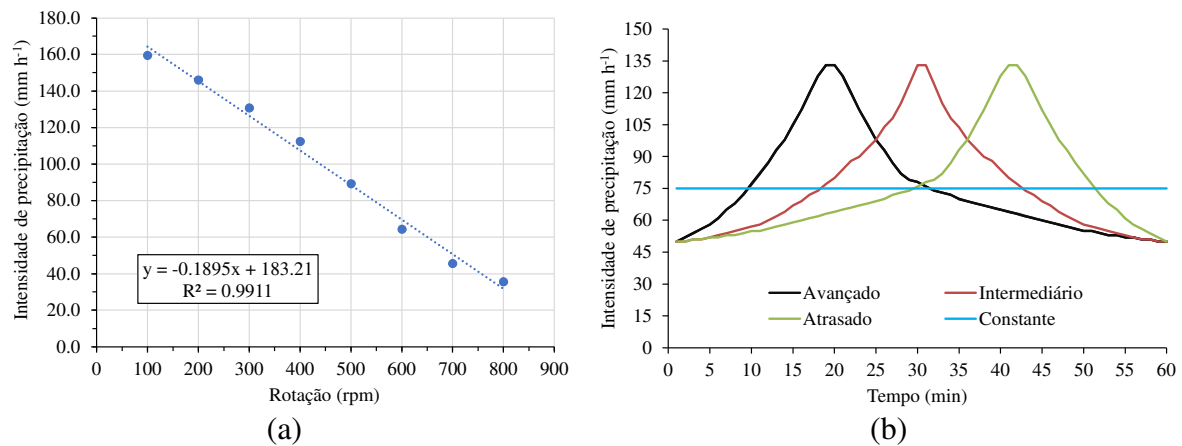


Figura 12. Curva de calibração da intensidade de precipitação em função da rotação dos discos do obturador (a), utilizada para a programação dos padrões de precipitação, considerando chuvas com 60 min de duração e picos de IP de 133,1 mm h⁻¹, além do padrão constante de 75 mm h⁻¹ (b).

Independente do padrão de precipitação, as chuvas simuladas tiveram duração de 60 min, e após o início do escoamento, o volume da enxurrada foi determinado a cada 1 min, por meio de proveta graduada. Para posterior quantificação da perda total de sedimentos, foram coletadas 10 amostras homogeneizadas do volume da enxurrada acumulado em intervalos de 5 min agrupadas, e, a cada 6 min, a enxurrada era armazenada conforme metodologia empregada por Almeida et al. (2018).

Foi adotado delineamento experimental em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 4 x 4, com 4 condições de cobertura do solo (SP, PA, SE e SR) e 4 padrões de precipitação (CT, AV, IN e AT), com 3 repetições, totalizando 48 testes. A partir do início das chuvas, foram analisados o tempo de início (TIES) e fim (TFE) do escoamento (ocorrendo durante ou após os 60 minutos de precipitação), a taxa máxima de escoamento, a lâmina escoada e a perda de solo. A normalidade residual dos dados foi verificada pelo Teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e homogeneidade das variâncias pelo Teste de Bartlett (BARTLETT, 1937). Quando necessário, a transformação de dados foi realizada com o pacote Exp.Des no software R. Assim, os efeitos dos tratamentos foram avaliados por meio da análise de variância (teste F, $p \leq 0,10$) e as diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, considerando $p \leq 0,10$. A análise estatística dos dados foi realizada por meio do software R versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2021).

Para verificar a influência dos padrões de precipitação e das condições de cobertura na evolução do processo erosivo, nas áreas com cobertura de soja e palhada (SP) e solo revolvido (SR), também foram analisadas a forma de escoamento relativo e as perdas relativas de solo em função da precipitação relativa, variando de 0 a 1 (CARVALHO et al., 2022).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de umidade do solo apresentados na Tabela 7, que variaram de 24,86% a 32,14% antes da chuva, são considerados valores de referência para avaliar a eficácia dos tratamentos e compreender a dinâmica da água no solo sob diferentes condições.

Tabela 7. Percentuais médios e respectivos desvios-padrão de umidade do solo anterior a realização dos testes de precipitação.

Cobertura	Padrões de precipitação			
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante
Umidade %				
SP	28,28 ± 5,98	26,25 ± 6,79	24,86 ± 6,60	32,53 ± 3,94
PA	30,65 ± 3,96	29,28 ± 4,13	24,65 ± 2,80	30,29 ± 6,87
SE	28,19 ± 6,46	29,79 ± 2,64	28,69 ± 4,78	28,59 ± 5,17
SR	32,14 ± 6,33	29,36 ± 4,81	27,02 ± 6,31	30,38 ± 5,28

Essa heterogeneidade pode ser atribuída principalmente às diferenças nos tipos de solo e nas coberturas vegetais presentes nas parcelas. A maior umidade foi observada nas parcelas com maior teor de argila e com cobertura vegetal mais densa, enquanto os menores valores foram encontrados nas parcelas com textura arenosa e sem cobertura.

Os padrões de precipitação proporcionaram diferenças nos tempos médios de início (TIES) e fim (TFE) do escoamento superficial (Tabela 8). Em função da ocorrência dos picos no hietograma de IP (Figura 12), houve maior TIES no padrão atrasado (19,15 min) e menor TFE no padrão avançado (45,87 min). Wang et al. (2016) destacaram que esse padrão de precipitação proporciona menor duração do escoamento superficial. Valores baixos de TFE também foram observados por Carvalho et al. (2022) (22,6 min) para chuvas atrasadas em um Argissolo Vermelho Amarelo, considerando chuvas de 40 mm e IP variando de 20 a 110 mm h⁻¹ aplicadas com simulador *Infiasper*.

Tabela 8. Valores médios e respectivos desvios-padrão do tempo de início (TIES) e fim (TFE) do escoamento superficial.

Cobertura	Padrões de precipitação				Médias
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante	
Tempo Inicial de Escoamento (min)					
SP	13,49 ± 3,86	15,53 ± 4,71	18,79 ± 6,51	15,33 ± 5,93	15,78 ± 2,20 A
PA	15,62 ± 5,00	13,41 ± 2,06	17,59 ± 4,77	15,79 ± 0,39	15,60 ± 1,71 A
SE	13,76 ± 4,79	11,49 ± 3,13	18,17 ± 14,80	12,87 ± 5,99	14,07 ± 2,89 A
SR	12,07 ± 1,45	11,59 ± 3,68	22,03 ± 6,54	5,40 ± 1,44	12,77 ± 6,88 A
Médias	13,74 ± 1,45 b	13,00 ± 1,90 b	19,15 ± 1,98 a	12,37 ± 4,80 b	----
Tempo Final de Escoamento (min)					
SP	37,11 ± 7,89	60,71 ± 1,71	60,77 ± 2,34	61,24 ± 0,39	54,96 ± 11,90 A
PA	38,93 ± 5,22	61,18 ± 0,27	60,60 ± 3,20	61,06 ± 0,78	55,44 ± 11,01 A
SE	53,26 ± 23,26	62,00 ± 0,49	59,87 ± 3,73	62,29 ± 0,96	59,36 ± 4,20 A
SR	54,19 ± 8,59	63,84 ± 1,95	61,89 ± 1,88	63,77 ± 3,38	60,92 ± 4,58 A
Médias	45,87 ± 9,10 b	61,93 ± 1,38 a	60,78 ± 0,83 a	62,09 ± 1,24 a	----

*SP: soja + palhada de milho; PA: apenas palhada; SE: sem cobertura; SR: sem cobertura com revolvimento. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna e letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si, conforme estabelecido pelo teste Scott-Knott $p \leq 0,10$ de significância.

Independente do padrão de precipitação e da cobertura do solo, os valores médios de TIES e TFE foram de 14,6 e 57,7 min, respectivamente, todavia, as maiores diferenças ocorreram entre os padrões de precipitação. Sob IP constante, normalmente utilizada em chuvas simuladas, o TIES em parcelas com palhada de milho (PA) foi de 15,79 min, semelhante aos resultados observados por Almeida et al. (2021) para essa mesma cobertura de solo, ao aplicarem precipitações com IP de 60,4 mm h⁻¹ e duração 60 min, utilizando o *Infiasper*. Em áreas com pequeno declive, a rugosidade da superfície pode limitar o escoamento superficial, favorecendo o acúmulo e a infiltração de água mesmo nas parcelas sem cobertura do solo. Essa condição pôde ser observada ao longo das coletas, visto que a semeadura da soja foi realizada em nível e as coletas de escoamento foram realizadas perpendicularmente ao sentido das linhas de semeadura. De acordo com Ma et al. (2023), as superfícies rugosas e crostas do solo, resultantes da movimentação e compactação de partículas de solo pela chuva, desempenham papel importante na redução da erosão e na dispersão da energia durante eventos chuvosos, contribuindo para a redução da produção de sedimentos. Além disso, na formação da rugosidade ainda podem ser adicionados efeitos do movimento dos implementos agrícolas na operação de semeadura, principalmente com os padrões tecnológicos empregados na região desse estudo.

A retirada da cobertura proporcionou taxa máxima média de escoamento de 80,9 mm min⁻¹, 51,3% superior, em média, à observada nas parcelas com cobertura (SP e PA) (Tabela 9). Esse efeito foi também observado para lâmina de escoamento (64,4% superior) e perda de sedimento (570,6% superior), sobretudo nas parcelas com solo revolvido (SR). A presença de resíduos culturais proveniente da rotação de culturas (sucessão soja-milho) diminui o impacto das gotas de chuva, favorecendo a infiltração de água, consequentemente, reduzindo as perdas de solo e água (EBABU et al., (2022; WEI et al. 2022). Contudo, vale ressaltar que apenas a presença da cobertura do terreno pode não ser suficiente no controle efetivo da erosão, sendo necessária a implantação de outras medidas conservacionistas (SILVA et al., 2023).

As técnicas convencionais de preparo do solo exercem influência sobre a sua estrutura, podendo intensificar a degradação do solo (GUO e SHAO, 2019). A redução do número de aração e gradagem associada à manutenção de resíduos culturais influencia na melhoria das características físicas do solo. Em uma projeção de cenários conservacionistas para 2050 na Europa, a aplicação de técnicas de cultivo mínimo e manutenção da cobertura vegetal mostram-se promissoras na preservação dos solos europeus, podendo reduzir as perdas de solo de 17,0% a 22,5%, especialmente em solos com textura média e sob mecanização intensiva (PANAGOS et al., 2021). Além disso, o preparo convencional de forma contínua favorece o aumento da compactação e impermeabilização do solo, reduzindo sua qualidade física até o ponto de comprometer a produtividade das culturas (KOUDAHE et al., 2022). A permanência do solo exposto após o revolvimento favorece a intensificação do salpicamento das partículas mais leves. Esse fenômeno leva à obstrução dos poros e à formação do selamento superficial, diminuindo a taxa de infiltração de água (LEITE et al., 2009), consequentemente, aumentando o escoamento superficial resultando em maiores perdas de solo e água.

Tabela 9. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), lâmina de escoamento (LE) e perda de solo.

Cobertura	Padrões de precipitação				Médias
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante	
Taxa máxima de escoamento (mm min ⁻¹)					
SP	43,63 ± 18,49	71,71 ± 9,91	77,09 ± 10,63	18,51 ± 11,37	52,73 ± 27,13 B
PA	37,91 ± 21,82	81,63 ± 5,95	81,71 ± 12,24	16,80 ± 12,30	54,51 ± 32,52 B
SE	68,46 ± 47,07	105,03 ± 31,98	107,43 ± 30,31	25,34 ± 13,91	76,56 ± 38,52 A
SR	76,91 ± 43,42	107,37 ± 5,90	82,63 ± 17,00	74,11 ± 38,64	85,25 ± 15,16 A
Médias	56,72 ± 18,89 b	91,43 ± 17,55 a	87,21 ± 13,69 a	33,69 ± 27,20 c	---
Lâmina de escoamento (mm)					
SP	9,01 ± 5,45	24,21 ± 6,92	23,87 ± 7,68	11,50 ± 8,30	17,14 ± 8,02 B
PA	7,94 ± 5,56	28,80 ± 4,61	24,25 ± 7,45	10,17 ± 8,40	17,79 ± 10,29 B
SE	12,12 ± 8,54	36,17 ± 6,03	26,45 ± 12,79	11,18 ± 5,11	21,47 ± 12,03 B
SR	20,63 ± 15,81	45,92 ± 6,56	26,97 ± 10,29	30,09 ± 10,24	30,90 ± 10,76 A
Médias	12,42 ± 5,75 c	33,78 ± 9,48 a	25,38 ± 1,55 b	15,67 ± 9,49 c	---
Perda de solo (g m ⁻²)					
SP	0,60 ± 0,15	0,80 ± 0,16	1,13 ± 0,46	0,38 ± 0,08	0,73 ± 0,32 C
PA	0,36 ± 0,15	2,07 ± 0,89	1,12 ± 0,48	0,62 ± 0,22	1,04 ± 0,75 C
SE	2,70 ± 1,31	4,81 ± 2,84	4,94 ± 1,26	0,68 ± 0,20	3,28 ± 2,02 B
SR	7,33 ± 1,86	14,67 ± 4,05	15,95 ± 8,82	7,12 ± 2,59	11,27 ± 4,70 A
Médias	2,75 ± 3,23 b	5,59 ± 6,28 a	5,79 ± 7,01 a	2,20 ± 3,28 b	---

*SP: soja + palhada de milho; SPA: apenas palhada; SE: sem cobertura; SR: sem cobertura com revolvimento. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna e letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si, conforme estabelecido pelo teste Scott-Knott $p \leq 0,10$ de significância.

Os padrões de precipitação influenciaram as taxas máximas (TME) e as lâminas de escoamento superficial (LE). Nos padrões IN e AT, a TME média atingiu 89,32 mm min⁻¹, sendo 57,5 e 165,1% superior às observadas nos padrões AV e CT, respectivamente. Independente da cobertura do solo, a LE no padrão IN foi de 33,78 mm, sendo 33,1% superior ao padrão AT e 140,5% superior às observadas nos padrões AV e CT. Ao avaliarem as perdas de solo e água em solos de textura arenosa, utilizando parcelas de 1 m² e precipitações de 30 min com variação de 20 a 120 mm h⁻¹, Alavínia et al. (2019) observaram que a TME dos padrões correspondentes ao AV, IN e AT produziram taxas de escoamento, em média, 22% maiores do que no padrão CT. Valores médios de escoamento em torno de 14 mm min⁻¹ nos padrões AV e IN foram encontrados por Alves et al. (2023a), utilizando o InfiAsper em solo descoberto, com chuva simulada com IP média de 45 e máxima de 110 mm h⁻¹, em chuvas simuladas com 40 min de duração. Em geral, chuvas simuladas com padrão CT tendem a gerar menos escoamento, além de não representar as características das chuvas naturais (DUNKERLEY, 2012).

Seguindo tendência observada em TME e LE, as perdas de solo foram influenciadas pelos padrões de precipitação, com valores médios de 5,69 g m⁻² nos padrões IN e AT, 129,9% maiores do que as observadas nos padrões AV e CT. A precipitação com IP inicialmente baixa atrasa o processo de selamento superficial do solo (WU et al., 2023), facilita a infiltração e minimiza o escoamento superficial, cuja combinação de processos poder ser considerada como o principal meio de perda de sedimentos (RUGENDO et al., 2023). Portanto, a redução do escoamento é reconhecida como a estratégia mais eficaz para mitigar a perda de solo em diferentes cenários.

Os padrões de precipitação IN e AT produzem maiores perdas de solo quando comparados com os demais padrões (CT e AV), e maiores LE, possivelmente em virtude do momento da aplicação do pico de intensidade de precipitação. No padrão AT o pico de intensidade máxima, associado aos maiores valores de energia cinética, ocorre quando o solo já apresenta elevados níveis de umidade, o que propicia a formação de uma lâmina maior de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior transporte de sedimentos (OLIVEIRA et al., 2010).

Estudos realizados por Carvalho et al. (2022) e Alves et al. (2023a) indicaram maior perda de solo em chuvas de padrão AT em comparação com as de padrão AV. Entretanto, chuvas de padrão AV simuladas por Römken et al. (2002), com IP máximo de 66 mm h^{-1} e duração de 45 min, proporcionaram perda de solo 41% superior às observadas em eventos com padrão AT. Os autores atribuíram esses resultados à declividade da área ($0,08 \text{ m m}^{-1}$), à ausência de cobertura do solo e à alta rugosidade da superfície. O escoamento é também influenciado pelos fatores pedológicos e topográficos, além de interações entre esses fatores (CASTRO et al., 2022; RAHMA et al., 2019).

3.5.1 Perdas relativas de água e solo

O escoamento superficial relativo e a perda relativa de solo em função da lâmina relativa aplicada demonstram a influência dos padrões de precipitação e das condições de cobertura do solo na evolução do processo erosivo (Figura 13). O efeito da cobertura de soja se destaca no escoamento superficial, sobretudo em chuvas com padrão AV (Figura 13a). Nessa condição (SP), com 70% da lâmina aplicada, correspondendo a 53,0 mm, praticamente 100% do escoamento já havia acontecido (8,8 mm), enquanto na condição de solo revolvido (SR), o escoamento era de 75% do total escoado (15,4 mm) (Figura 13b). Conforme Tabela 9, a lâmina total escoada nessas coberturas foram de 9,01 e 20,63 mm, respectivamente. Nos demais padrões avaliados os escoamentos relativos na área de soja eram 0,70 (16,9 mm); 0,58 (13,8 mm) e 0,60 (6,9 mm), e de 0,64 (29,3 mm); 0,56 (15,2 mm) e 0,60 (18,2 mm), respectivamente, para IN, AT e CT.

As perdas relativas de solo, de um modo geral, foram mais influenciadas pelos padrões de precipitação do que pelas condições de superfície do terreno. O padrão AV se destaca dos demais, proporcionando 100% ($0,6 \text{ g m}^{-2}$) e 95% ($6,9 \text{ g m}^{-2}$) da perda de sedimento com precipitação relativa de 0,79 (58,7 mm), respectivamente, com cobertura de soja (Figura 13) e em solo revolvido (Figura 13d). Para a mesma precipitação relativa, foram observadas 85% ($0,69 \text{ g m}^{-2}$); 86% ($0,97 \text{ g m}^{-2}$) e 75% ($0,28 \text{ g m}^{-2}$) de perda na cobertura SP e 91% ($13,3 \text{ g m}^{-2}$); 84% ($13,35 \text{ g m}^{-2}$) e 81% ($5,79 \text{ g m}^{-2}$) na cobertura SR, respectivamente para IN, AT e CT.

Nas parcelas sem cobertura, principalmente, o padrão AV promove inicialmente maiores taxas de perda de solo, tendendo a estabilização após 70% da chuva. As partículas dos solos que são transportadas no escoamento superficial são redistribuídas e depositadas em determinadas posições no solo, dependendo do movimento da água (ZHANG et al. 2023). Sendo assim, com a redução da IP e do escoamento, a perda de solo tende a se estabilizar. Os padrões de precipitação IN e AT produzem maiores perdas de solo após 70% da lâmina aplicada, em virtude do momento da aplicação do pico de intensidade de precipitação. Para Carvalho et al. (2022), as chuvas no padrão AT tendem a ser mais erosivas do que as no padrão AV, pois o pico de IP, associado à maior energia cinética, ocorre quando o solo está com maior conteúdo de água, favorecendo a formação de maior lâmina de escoamento superficial e, consequentemente, maior transporte de sedimentos (OLIVEIRA et al., 2010).

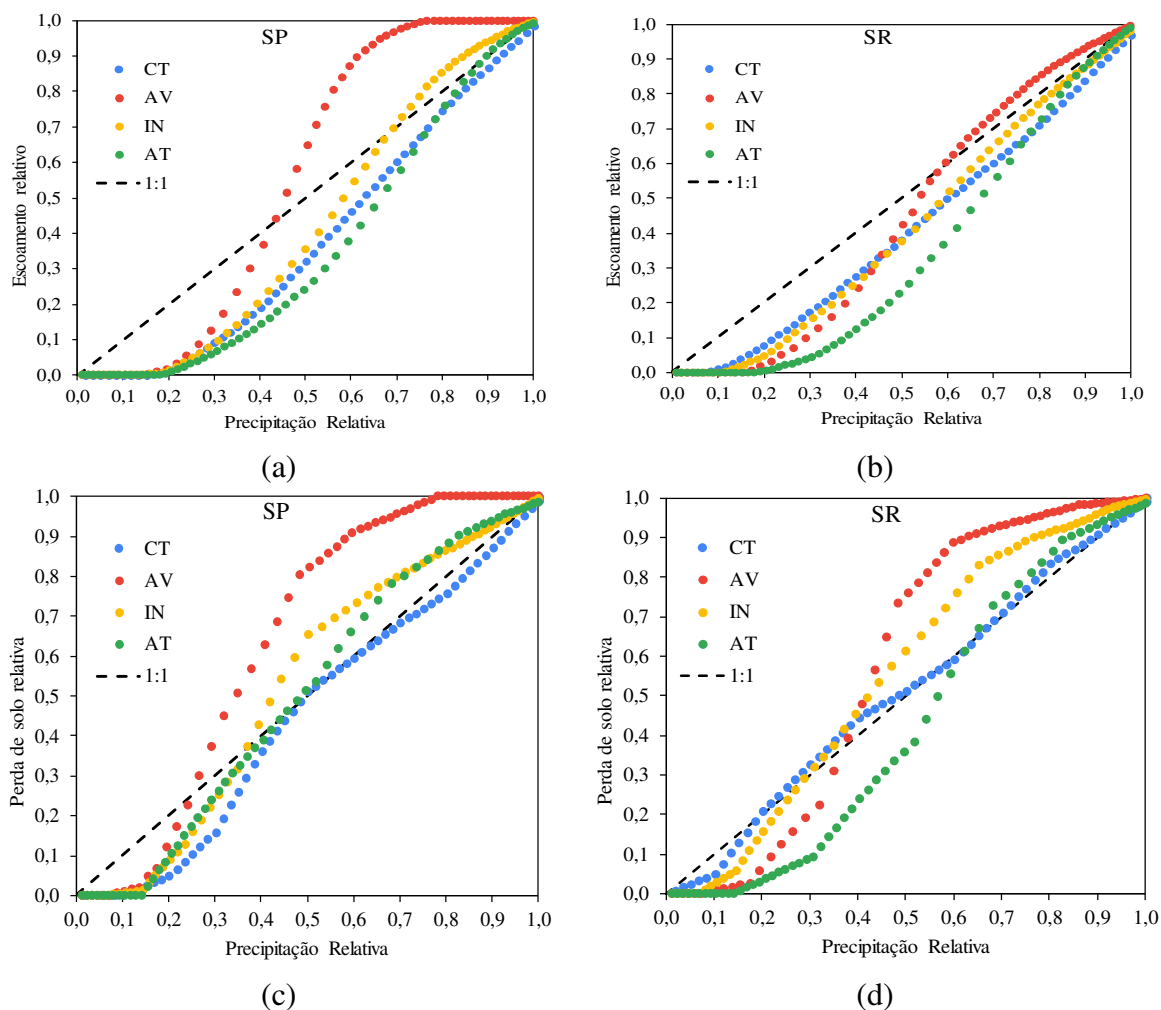


Figura 13. Escoamento superficial e perda de solo relativos em função da precipitação relativa em área com cobertura de soja e palhada “SP” (a, c) e solo revolvido “SR” (b, d) nos padrões de precipitação Constante “CT”, Avançado “AV”, Intermediário “IN” e Atrasado “AT”.

Em suma, esse estudo ressalta a importância da avaliação dos padrões de intensidade precipitação associados às condições de cobertura na erosão do solo para melhor representação dos processos erosivos sob chuvas naturais. Destaca-se ainda que, por se tratar de área de transição, há variabilidades geológicas, morfológicas e pedológicas, bem como na fitofisionomia da região (WENZEL et al., 2018). O local de estudo é considerado uma região sensível, sob a ótica da exploração agrícola, haja vista o solo possuir caráter altamente arenoso, com baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC do solo (Tabela 5). A ausência da cobertura vegetal ou de restos culturais de cultivos anteriores leva a compactação da camada superior do solo pelo impacto das gotas, a não contenção do escoamento superficial e a estrutura do solo pela ausência de matéria orgânica, contribuindo para uma erosão hídrica elevada e progressiva.

Diante de todos os indicadores supracitados, avaliados nos testes de simulação de chuva de diferentes padrões, enfatiza-se a significativa redução perda de solo quando da adoção do cultivo da soja sobre a cobertura do solo quando comparado ao solo descoberto e revolvido. Tais técnicas de conservação do solo e da água seriam assim imprescindíveis para prática agrícola sustentáveis.

3.6 CONCLUSÕES

O estudo demonstra que os padrões de precipitação afetaram os TIES e TFE, em particular, o padrão Atrasado mostrou um TIES mais longo, enquanto o padrão Avançado apresentou um TFE mais curto.

Menores valores de perda de solo e água foram obtidos em áreas com cobertura vegetal, sendo que a presença da palhada de milho proporcionou redução na concentração de sedimentos e aumentou a resistência ao fluxo, prolongando o tempo necessário para o início da erosão do solo. Destaca-se, portanto, a importância das práticas conservacionistas, como a manutenção de resíduos culturais e a cobertura do terreno, na redução da erosão em áreas agrícolas.

Os padrões de precipitação intermediário e atrasado produzem maiores perdas de solo em comparação com os padrões avançado e constante, sendo que o padrão intermediário gerou maior lâmina de escoamento superficial.

O estudo enfatiza a complexidade dos processos de erosão do solo, que por sua vez são influenciados pela interação de variáveis climáticas, edáficas e de cobertura vegetal. A implementação de práticas agrícolas sustentáveis, como a manutenção da cobertura do solo e a consideração dos padrões de chuva na gestão das terras agrícolas, é essencial para mitigar os efeitos da erosão hídrica do solo e garantir a sustentabilidade a longo prazo da produção agrícola.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, I.A.; TALUKDAR, S.; ISLAM, A.R.M.T.; RIHAN, M.; MALAFAIA, G.; BERA, S.; RAMANA, G. V.; RAHMAN, A. Contribution and behavioral assessment of physical and anthropogenic factors for soil erosion using integrated deep learning and game theory. **Journal of Cleaner Production**, v. 416, p. 137689, 1 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137689> 2023.
- ALAVINIA, M.; SALEH, F.N.; ASADI, H. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. **International Journal of Sediment Research**, v. 34, n. 3, p. 270–278, 1 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.11.001> 2019.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA, R.M.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 130–138, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009> 2018.
- ALMEIDA, W.S.; SEITZ, S.; OLIVEIRA, L.F.C.; CARVALHO, D.F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, n. 1, p. 69–75, 1 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.004> 2021.
- ALMEIDA, W.S.; MACEDO, P.M.S.; MORAES, A.G.L.; CARVALHO, D.F. InfiAsper: um simulador de chuvas com intensidade variável de precipitação para avaliar a erosão do solo. **Revista de Ciências Agrárias (Lisboa)**, v. 45, p. 518-522, 2022. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.28623> 2022.
- ALVES, M.A.B.; BORELLA, D.R.; LUZ, C.C. DA S.; CASTAGNA, D.; SILVA, W.C. DA; SILVA, A.F. DA; ALMEIDA, F.T. DE; SOUZA, A.P. DE. Classes de solos nas bacias hidrográficas dos rios Caiabi e Renato, afluentes do rio Teles Pires, no sul da Amazônia. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 431–448, 30 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i3.14192> 2022.
- ALVES, A.S.; SCHULTZ, N.; CONFORTO, B.A.A.F.; ZONTA, E.; CARVALHO, D.F. Soil, water and nutrient loss under simulated rainfall patterns in an area fertilised with chicken litter. **Journal of Hydrology**, v. 620, p. 129543, 1 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129543> 2023.
- ALVES, M.A.B.; SOUZA, A.P.; ALMEIDA, F.T.; HOSHIDE, A.K.; ARAÚJO, H.B.; SILVA, A.F.; CARVALHO, D.F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4954, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15064954> 2023.
- ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 2, p. 163–170, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00150.x> 2008.
- ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E.C.; OLIVEIRA, P.T.S.; FLANAGAN, D.C.; NEARING, M. A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. **Catena**, v. 152, p. 29–39, 1 maio 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.003> 2017.
- BARCELOS, J.P. DE Q.; DE SOUZA, M.; NASCIMENTO, C.A.C. DO; ROSOLEM, C.A. Soil acidity amelioration improves N and C cycles in the short term in a system with soybean

followed by maize-guinea grass intercropping. **Geoderma**, v. 421, p. 115909, 1 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115909> 2022.

BARBOSA, A. M. S.; MARTORANO, L. G.; SANTOS, L. S.; MORAES, J. R. S. C.; APARECIDO, L.E. DE O. Potencial erosivo das chuvas em simulador portátil em diferentes coberturas do solo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 9, p. 200–209, 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.001> 2018.

BARTLETT, M. S. Propriedades de suficiência e teste estatístico. **Procedimentos da Royal Society A**, 160, p. 268-282, 1937. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109> 1937.

CARVALHO, D.F.; SOUZA, W.J.; PINTO, M.F.; DE OLIVEIRA, J.R.; GUERRA, J.G.M. Water and soil losses under different patterns of simulated rainfall and soil cover conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 708–717, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400010> 2012.

CARVALHO, D.F.; MACEDO, P.M.S.; PINTO, M.F.; ALMEIDA, W.S.; SCHULTZ, N. Soil loss and runoff obtained with customized precipitation patterns simulated by InfiAsper. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p. 407–413, 1 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.003> 2022.

CASTRO, R.M.; DOS SANTOS ALVES, W.; MARCIONILIO, S. M.L.O.; BORGES D.E.; MOURA, D.M.; & OLIVEIRA, D.M.S. Soil losses related to land use and rainfall seasonality in a watershed in the Brazilian Cerrado. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 119, p. 104020, 1 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104020> 2022.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** – Décimo primeiro levantamento, safra 2022/23. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by Sprinkling**. California Agricultural Experiment Station. Bulletin n. 670, 124p. 1942.

DREONI, I.; MATTHEWS, Z.; SCHAAFSMA, M. The impacts of soy production on multi-dimensional well-being and ecosystem services: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, 335, p. e130182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130182> 2021.

DOHLMAN, E.; HANSEN, J.; BOUSSIOS, D. **USDA Agricultural Projections to 2031**, nº 1962, 1414, 2022.

DU, X.; JIAN, J.; DU, C.; STEWART, R. D. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 2, p. 188–196, 1 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.08.001> 2022.

DUNKERLEY, D. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: Rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 15, p. 2211–2224, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.8317> 2012.

DUNKERLEY, D. Recording Rainfall Intensity: Has an Optimum Method Been Found. **Water**, v. 15, n. 19, p. 3383. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15193383> 2023.

EBABU, K.; TSUNEKAWA, A.; HAREGEWEYN, N.; TSUBO, M.; ADGO, E.; FENTA, A. A.; MESHESHA, D. T.; BERIHUN, M. L.; SULTAN, D.; VANMAERCKE, M.; PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; LANGENDOEN, E. J.; POESEN, J. Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. **International Soil and**

Water Conservation Research, v. 10, n. 2, p. 161–176, 1 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002> 2022.

FAN, D.; JIA, G.; WANG, Y.; YU, X. The effectiveness of mulching practices on water erosion control: A global meta-analysis. **Geoderma**, v. 438, p. 116643, 1 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116643> 2023.

GUO, X.; SHAO, Q. Spatial Pattern of Soil Erosion Drivers and the Contribution Rate of Human Activities on the Loess Plateau from 2000 to 2015: A Boundary Line from Northeast to Southwest. **Remote Sensing**, v. 11, n. 20, p. 2429, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11202429> 2019.

HAN, D.; DENG, J.; GU, C.; MU, X.; GAO, P.; GAO, J. Shrub-grass vegetation coverage and slope gradient affect runoff and sediment yield under simulated rainfall. **International Journal of Sediment Research**, v. 36, n. 1, p. 29–37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.05.004> 2021.

IMEA. **Relatório – Oferta e demanda Soja - 04 de setembro de 2023**. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=4&s=696277747689455616>. Acesso em: 28 Set. 2023

KOUDAHE, K.; ALLEN, S. C.; DJAMAN, K. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p. 343–354, 1 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003> 2022.

LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L. DA; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num latossolo vermelho-amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 689–699, jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000300021> 2009.

LENSE, G. H. E.; PARREIRAS, T. C.; MOREIRA, R. S.; AVANZI, J. C.; MINCATO, R. L. Effect of spatial-temporal variation of land use and land cover on soil erosion. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 1, p. 90–98, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n110rc>

LIAO, Z.; ZHANG, K.; FAN, J.; LI, Z.; ZHANG, F.; WANG, X.; WANG, H.; CHENG, M.; ZOU, Y. Ridge-furrow plastic mulching and dense planting with reduced nitrogen improve soil hydrothermal conditions, rainfed soybean yield and economic return in a semi-humid drought-prone region of China. **Soil and Tillage Research**, v. 217, p. 105291, 1 mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105291> 2022.

LIEBHARD, G.; KLIK, A.; NEUGSCHWANDTNER, R. W.; & NOLZ, R. Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean. **Agricultural Water Management**, v. 269, p. 107719, 1 jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107719>

LOPES, G. R.; LIMA, M. G. B.; & REIS, T. N. P. DOS. Maldevelopment revisited: Inclusiveness and social impacts of soy expansion over Brazil's Cerrado in Matopiba. **World Development**, v. 139, p. e105316, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105316>

MA, Y.; LIU, Y.; TIAN, L.; LONG, Y.; LEI, M.; DUAN, J.; YANG, J.; NIE, X.; & LI, Z. Roles of soil surface roughness in surface–subsurface flow regulation and sediment sorting. **Journal of Hydrology**, v. 623, p. 129834, 1 ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129834>

MACEDO, P.M.S.; PINTO, M.F.; SOBRINHO, T.A.; SCHULTZ, N.; COUTINHO, T.A.R.; & DE CARVALHO, D.F. A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment

under different rainfall patterns. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 126052, 1 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126052>

MORATELLI, F.A.; ALVES, M.A.B.; BORELLA, D.R.; KRAESKI, A.; ALMEIDA, F.T.; ZOLIN, C.A.; HOSHIDE, A.K.; & SOUZA, A.P. Effects of land use on soil physical-hydric attributes in two watersheds in the Southern Amazon, Brazil. **Soil Systems**, v. 7, n. 4, p. e103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040103>

OLIVEIRA, J. R. DE; PINTO, M. F.; SOUZA, W. DE J.; GUERRA, J. G. M.; & CARVALHO, D. F. DE. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 140–147, fev. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200004>

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. DE; & RODRIGUES, D. B. B. Effect of soil tillage and plant residue on surface roughness of an Oxisol under simulated rain. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 268–278, fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150187>

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; HIMICS, M.; SCARPA, S.; MATTHEWS, F.; BOGONOS, M.; POESEN, J.; & BORRELLI, P. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. **Environmental Science & Policy**, v. 124, p. 380–392, 1 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.012>

PATAULT, E.; LEDUN, J.; LANDEMAINE, V.; SOULIGNAC, A.; RICHET, J.B.; FOURNIER, M.; OUVRY, J.F.; CERDAN, O.; & LAIGNEL, B. Analysis of off-site economic costs induced by runoff and soil erosion: Example of two areas in the northwestern European loess belt for the last two decades (Normandy, France). **Land Use Policy**, v. 108, p. 105541, 1 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105541>

PEARSONS, K.A.; OMONDI, E.C.; ZINATI, G.; SMITH, A.; & RUI, Y. (A tale of two systems: Does reducing tillage affect soil health differently in long-term, side-by-side conventional and organic agricultural systems? **Soil and Tillage Research**, v. 226, p. 105562, 1 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105562>

RAHMA, A. E.; WARRINGTON, D. N.; LEI, T. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 4, p. 335–345, 1 dez. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.003> 2019.

RÖMKENS, M. J. M.; HELMING, K.; PRASAD, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. **Catena**, v. 46, n. 2, p. 103–123, 3 jan. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00161-8)

RUGENDO, M.K.; GICHIMU, B.M.; MUGWE, J.N.; MUCHERU-MUNA, M.; & MUGENDI, D.N. Surface runoff and soil erosion from Nitisols and Ferralsols as influenced by different soil organic carbon levels under simulated rainfall conditions. **Heliyon**, v. 9, n. 7, p. e17684, 1 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17684>

SABINO, M.; SOUZA, A.P.; ULIANA, E.M.; LISBOA, L.; ALMEIDA, F.T.; & ZOLIN, C.A. Intensity-duration-frequency of maximum rainfall in Mato Grosso State. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 1, p. e2373, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2373>

SANTOS, J.F.S.; & NAVAL, L.P. Soy water footprint and socioeconomic development: An analysis in the new agricultural expansion areas of the Brazilian Cerrado (Brazilian savanna).

Environmental Development, v. 42, p. e100670, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100670>

SCHMALTZ, E.M.; KRAMMER, C.; DERSCH, G.; WEINBERGER, C.; KUDERNA, M.; & STRAUSS, P. The effectiveness of soil erosion measures for cropland in the Austrian Agri-environmental Programme: A national approach using local data. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 355, p. 108590, 1 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108590>

SCHÜTTE, R.; PLAAS, E.; GÓMEZ, J.A.; & GUZMÁN, G. (Profitability of erosion control with cover crops in European vineyards under consideration of environmental costs. **Environmental Development**, v. 35, p. 100521, 1 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100521>

SERAFIM, M.E.; MENDES, I.C.; WU, J.; ONO, F.B.; ZANCANARO, L.; VALENDORFF, J.D.P.; ZEVIANI, W.M.; PIERANGELI, M.A.P.; FAN, M.; & LAL, R. Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till Systems in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v. 862, p. 160674, 1 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160674>

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2307/2333709>

SHEN, L.; WANG, X.; LIU, T.; WEI, W.; ZHANG, S.; KEYHANI, A B.; LI, L.; & ZHANG, W. Border row effects on the distribution of root and soil resources in maize–soybean strip intercropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 233, p. 105812, 1 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105812>

SILVA, P.C.G. DA; TIRITAN, C.S.; ECHER, F.R.; CORDEIRO, C.F. DOS S.; REBONATTI, M.D.; & SANTOS, C.H. DOS. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 1 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107947>

SILVA, L. DE C.M.; AVANZI, J.C.; PEIXOTO, D.S.; MERLO, M.N.; BORGHI, E.; RESENDE, Á.V. DE; ACUÑA-GUZMAN, S.F.; & SILVA, B.M. Ecological intensification of cropping systems enhances soil functions, mitigates soil erosion, and promotes crop resilience to dry spells in the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, n. 4, p. 591–604, 1 dez. 2021.

SILVA, T.P.; BRESSIANI, D.; EBLING, É.D.; & REICHERT, J.M. Best management practices to reduce soil erosion and change water balance components in watersheds under grain and dairy production. **International Soil and Water Conservation Research**, 4 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.06.003>

SOUZA, A.P.; DA MOTA, L.L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C.C.; DE ALMEIDA, F.T.; & PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climático no estado de Mato Grosso, Brasil. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334>

SOUZA, R.; JHA, A.; CALABRESE, S. Quantifying the hydrological impact of soil mulching across rainfall regimes and mulching layer thickness, **Journal of Hydrology**, v. 607, p. e127523, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127523>.

TAO, W.; WU, J.; & WANG, Q. Mathematical model of sediment and solute transport along slope land in different rainfall pattern conditions. **Sci Rep**, v. 7, p. e44082, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep44082>

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; & TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017. Disponível online: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209> (accessO Ago 22, 2023).

WANG, W.; YIN, S.; XIE, Y.; LIU, B.; & LIU, Y. Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. **Catena**, v. 141, p. 56–65, 1 jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.019>

WEI, W.; LIU, T.; SHEN, L.; WANG, X.; ZHANG, S.; & ZHANG, W. Effect of Maize (Zea mays) and Soybean (Glycine max) Intercropping on Yield and Root Development in Xinjiang, China. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12070996>

WENZEL, D.A.; ULIANA, E.M.; ALMEIDA, F.T.; SOUZA, A.P.; MENDES, M.A.D.S.A.; SILVA, S.L.G. Physiographic characteristics of the medium and upper Teles Pires River sub-basins, Mato Grosso, Brazil. **Rev. Ciênc. Agroambient.**, v. 15, p. 123–131, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v15i2.2193>

WU, S.; CHEN, L.; WANG, N.; & ASSOULINE, S. (Modeling rainfall-infiltration-runoff processes on sloping surfaces subject to rapidly changing soil properties during seal formation. **Journal of Hydrology**, v. 619, p. 129318, 1 abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129318>

YUAN, M., BI, Y., HAN, D., WANG, L., WANG, L., FAN, C., ZHANG, D., WANG, Z., LIANG, W., ZHU, Z., LIU, Y., LI, W., SUN, H., LIU, M., LIU, J., WANG, J., MA, B., DI, S., YANG, G., & LAI, Y. Long-Term Corn–Soybean Rotation and Soil Fertilization: Impacts on Yield and Agronomic Traits. **Agronomy**, v. 12, p. 2554, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102554>.

ZHANG, Z.; ZENG, R.; MENG, X.; ZHAO, S.; WANG, S.; MA, J.; & WANG, H. Effects of changes in soil properties caused by progressive infiltration of rainwater on rainfall-induced landslides. **Catena**, v. 233, p. 107475, 1 dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107475> 2023.

4. CAPÍTULO III

PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO AFETAM AS PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM ÁREAS DA REGIÃO DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA- CERRADO CULTIVADAS COM PASTAGEM E MILHO

4.1 RESUMO

A erosão hídrica é um problema de alcance global e assume características preocupantes nas áreas de transição Cerrado-Amazônia, especialmente em regiões de alta produtividade agrícola como Mato Grosso. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo quantificar as perdas de solo e água em diferentes sistemas de uso do solo sob distintos padrões de precipitação, visando subsidiar o desenvolvimento de práticas de manejo conservacionista. Foram conduzidos experimentos em duas áreas localizadas no ecótono Cerrado-Amazônia em Mato Grosso, utilizando um delineamento experimental fatorial 4x3. As áreas de cultivo de milho e pastagem foram avaliadas sob três condições de cobertura (com planta, solo exposto e solo revolvido) e quatro padrões de precipitação (Constante, Avançado, Intermediário e Atrasado) aplicados pelo simulador de chuva *InfiAsper*, com intensidade de precipitação variando de 50,0 a 133,1 mm h⁻¹. Os maiores valores de taxas máximas de escoamento superficial (TME) e perdas de solo (PS) foram registrados em parcelas com solo revolvido no milho, alcançando 86,81 mm h⁻¹ e 3,68 g m⁻², respectivamente. Nas áreas de pastagem, a PS apresentou efeito semelhante ao milho, com valores máximos de 3,24 g m⁻². No entanto, a TME nas pastagens foi superior em áreas com cobertura vegetal, atingindo 77,6 mm h⁻¹, fato que pode ser atribuído às características morfológicas do solo nessas áreas. Os padrões Avançado e Intermediário proporcionaram maiores perdas de solo (3,78 e 2,04 g m⁻²), indicando a influência do momento da aplicação do pico de intensidade. As perdas de solo foram maiores nas áreas de pastagem em comparação com aquelas cultivadas com milho. A análise dos dados reforça a necessidade de estratégias de manejo e controle da erosão, considerando as variações naturais das chuvas e a cobertura do solo para mitigar os impactos negativos da degradação na produção agrícola e na sustentabilidade ambiental.

Palavras-Chave: Erosão Hídrica. Chuva Simulada. Manejo Conservacionista.

4.2 ABSTRACT

Water erosion, a global issue with severe consequences, is particularly pronounced in the transition zones between the Cerrado-Amazon, especially in regions with high agricultural productivity like Mato Grosso, Brazil. His study aimed to quantify soil and water losses in different land use systems under varying rainfall patterns in this region, providing a basis for developing sustainable management practices. Experiments were conducted on two properties located in the Cerrado-Amazon ecotone in Mato Grosso, using a 3x4factorial design. The variables analyzed were: soil cover (corn and pasture) in three different conditions (with plants, bare soil, and tilled soil) and four rainfall patterns (constant, advanced, intermediate, and delayed), varying from 50.0 to 133.1 mm h⁻¹ using the Infiasper simulator. The highest values of maximum runoff rates (MRR) and soil loss (SL) were recorded in plots with tilled corn soil, reaching 86.81 mm h⁻¹ and 3.68 g m⁻², respectively. In pasture areas, SL showed a similar pattern to corn, with maximum values of 3.24 g m⁻². However, MRR in pastures was higher in areas with vegetation cover, reaching 77.6 mm h⁻¹. This fact can be attributed to the morphological characteristics of the soil in pasture areas. The advanced and intermediate patterns caused higher soil losses (3.78 and 2.04 g m⁻², respectively), indicating the influence of the timing of peak intensity. Soil losses were higher in pasture areas compared to those cultivated with corn. The data analysis reinforces the need for management strategies and erosion control, considering the natural variations in rainfall and soil cover to mitigate the negative impacts of degradation on agricultural production and environmental sustainability

Keywords: Water Erosion. Simulated Rainfall. Conservation Management.

4.3 INTRODUÇÃO

A erosão é globalmente reconhecida como um dos principais processos de degradação dos solos e amplamente considerada uma ameaça significativa à segurança alimentar (LUETZENBURG et al., 2020). As perdas de solo devido à erosão são alarmantes e totalizam de 25 a 40 bilhões de toneladas anuais em termos globais, representando uma redução anual de 1 a 2% da terra arável do planeta (FAO, 2023). As maiores taxas de perda de solo são registradas em áreas agrícolas (EEKHOUT et al., 2021; MACHADO & WADT, 2021) e o impacto disso na economia mundial é estimado em 8 bilhões de dólares, podendo influenciar aumento nos preços dos alimentos de 0,4 a 3,5% (SARTORI et al., 2019).

O estado de Mato Grosso é reconhecido como líder na produção agropecuária no Brasil, com uma safra de 43,8 milhões de toneladas de milho em 2023 (IMEA, 2024) e um rebanho bovino de 34,4 milhões de animais, representando 15% do rebanho nacional (INDEA, 2023). Entre 1985 e 2022, a conversão de áreas naturais em pastagens na fronteira agrícola do estado totalizou 15,5 milhões de hectares, e atualmente o setor pecuário ocupa mais de 17,7 milhões de hectares, tornando-o um destaque nacional na produção de gado de corte (MapBiomas, 2022). É importante ressaltar, no entanto, que a produção agropecuária mantém uma relação dialética com a conservação dos recursos naturais (VIEIRA et al., 2022), uma vez que a erosão dos solos vem crescendo no estado, considerado um *hotspot* de biodiversidade com três biomas (Cerrado, Pantanal e Amazônia), que abrangem 54% do território nacional (CARAUTA et al., 2021).

A supressão vegetal e a implantação de áreas de produção agropecuária no sul da Amazônia brasileira têm causado impactos significativos, que podem afetar a produtividade agrícola, o clima, a biodiversidade, a quantidade e qualidade da água (ALVES et al., 2023b; KRAESKI et al., 2023; SIRQUEIRA et al., 2022). Apesar de abrigar uma rica biodiversidade e processos ecológicos complexos, a região encontra-se sob crescente pressão antrópica, o que exige a adoção de uma abordagem integrada e multidisciplinar para a gestão ambiental (BORELLA et al., 2023; MORATELLI et al., 2023). De acordo com Zolim et al. (2021), aspectos relacionados às perdas de água e solo em diferentes usos do solo em regiões de fronteira agrícola, como a área de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, ainda são pouco compreendidos.

Estudos recentes têm buscado avaliar o efeito do manejo do solo em áreas agrícolas no processo erosivo, quantificando não apenas as perdas de solo (ALMEIDA et al., 2021; ALMEIDA et al., 2018; CARVALHO et al., 2022; CERDÀ et al., 2021; LI et al., 2022), mas também os custos associados (ALVES et al., 2023a; PATAULT et al., 2021). Avaliações da erosão a nível de campo podem ser realizadas sob chuva natural ou simulada (LUZ et al., 2024), por meio de equipamentos capazes de reproduzir o mais próximo possível as características do evento natural (YAKUBU & YUSOP, 2017). Os simuladores de chuva permitem a aquisição rápida de dados e o controle experimental, possibilitando a repetibilidade dos ensaios sem depender das condições naturais ideais de precipitação (GREEN & PATTISON 2022). Entretanto, poucos estudos consideram as variações da intensidade de precipitação ao longo de um evento chuvoso. O simulador InfiAsper (ALVES SOBRINHO et al., 2008) é um equipamento eficiente para medição de escoamento superficial e erosão do solo, e devido ao seu tamanho e portabilidade, tem baixo consumo de água e fácil gerenciamento em campo (KAVIAN et al., 2019). Operando com o painel de controle proposto por Macedo et al. (2021), é um dispositivo eficiente na simulação de padrões de chuvas com diferentes intensidades e durações.

Diante desse cenário, torna-se imprescindível compreender os mecanismos e os fatores que impulsionam o processo erosivo, a fim de minimizá-lo de forma eficaz. Nesse contexto, a

avaliação abrangente do processo erosivo, considerando os padrões de precipitação e as características das áreas cultivadas, surge como ferramenta fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo do solo e controle da erosão. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as perdas de solo e água na região de transição Amazônia-Cerrado, Mato Grosso, sob diferentes padrões de precipitação.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas propriedades agrícolas localizadas no ecótono Cerrado-Amazônia, no estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 14). Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido, com uma precipitação média anual de 1.950 mm e um período seco de maio a setembro. A temperatura média anual na região é de 25 °C, com variações mensais entre 16 °C e 34 °C ao longo do ano, conforme observado em estudos anteriores (Souza et al., 2013).

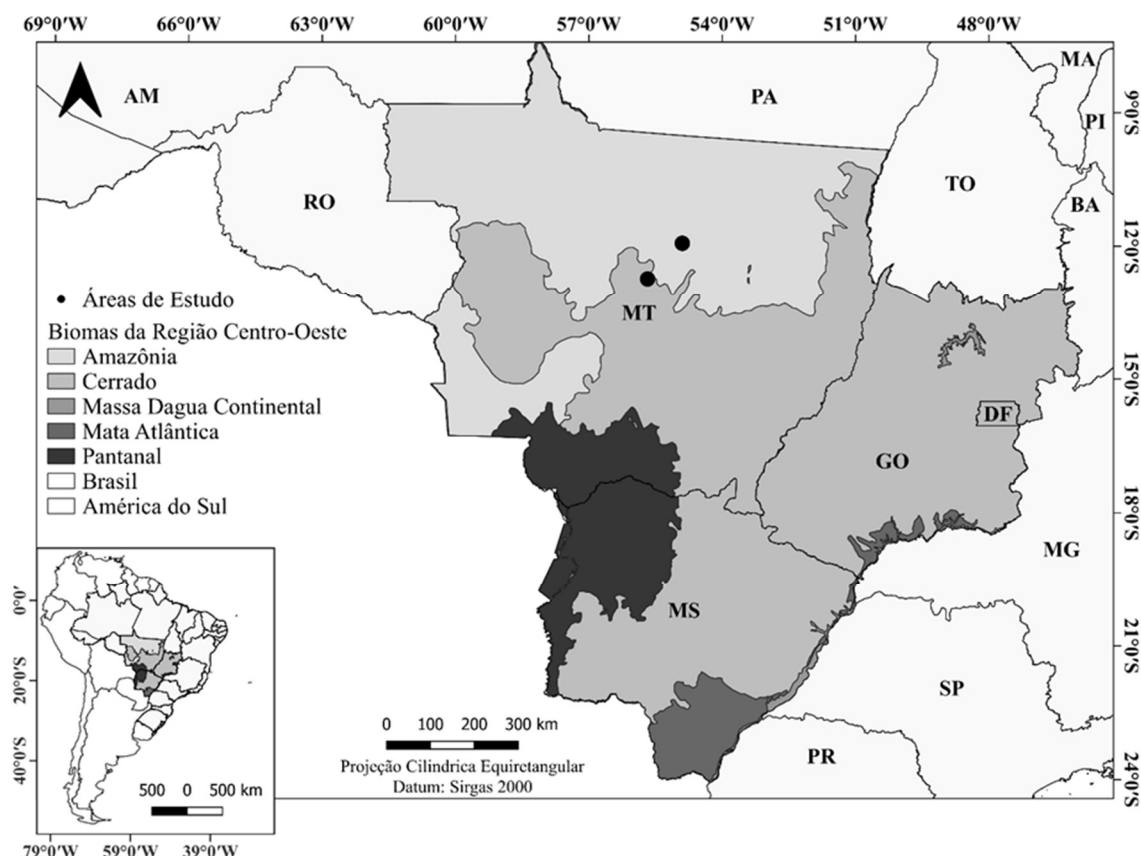


Figura 14. Áreas de estudo localizadas no ecótono Cerrado-Amazônia na região Centro-Oeste do Brasil.

A classe de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, com textura franco arenosa (Alves et al. 2022; Moratelli et al. 2023). Os atributos físicos e químicos do solo foram avaliados até 20 cm de profundidade, conforme Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira et al., 2017), sendo retiradas 40 amostras deformadas e indeformadas próximas aos pontos de aplicação das chuvas, como apresentado nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10. Análise textural e atributos físico-hídricos do solo em diferentes profundidades na lavoura de milho e áreas com pastagem.

Prof.*	Cobertura	Argila	Silte	Areia	Densidade	Ko
		----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	-- g cm ⁻³ --	---- cm h ⁻¹ ----
0 – 10	Milho	292	71,5	636	1,48 ± 0,91	1,82 ± 0,94
	Pastagem	298	72,5	630	1,44 ± 0,91	2,21 ± 1,01
10 – 20	Milho	308	78,8	613	1,53 ± 0,78	4,22 ± 1,58
	Pastagem	320	83,5	597	1,43 ± 0,74	2,30 ± 1,39

*Profund: profundidade (cm); Ko: condutividade hidráulica do solo saturado.

Tabela 11. Atributos químicos da área experimental a partir de amostras em diferentes profundidades na lavoura de milho e áreas com pastagem.

Cobertura	pH (H ₂ O)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ₃ ⁺	H + Al	SB	CTC	MO (%)
	---- cmolc dm ⁻³ -----								
	0,0 – 0,10 m								
Milho	5,78	0,07	2,95	0,72	0,19	3,85	3,75	7,6	2,77
Pastagem	6,45	0,9	4,46	1,32	0	1,23	5,88	7,1	2,61
0,10 – 0,20 m									
Milho	5,28	0,05	1,64	0,42	0,71	4,22	2,12	6,35	2,06
Pastagem	6,25	0,04	3,02	0,64	0	1,68	3,7	5,38	1,87

Os ensaios de campo foram realizados em duas áreas distintas: uma de pastagem (*Brachiaria ruziziensis* ou *Urochloa*), com altura média 0,78 m e lotação de 10 animais ha⁻¹ estabelecida há mais de uma década e submetida a adubação nitrogenada anual; e uma cultivada com milho (*Zea mays* L.), estágio vegetativo V6, com altura 0,60 m e densidade de 6 plantas por parcela, cultivada em sistema convencional.

Foram avaliadas a taxa máxima de escoamento (TME), a perda de solo (PS) e a lâmina total escoada (LE), considerando diferentes condições de cobertura do solo: com cobertura – M (Figura 15a) e PAST (Figura 15d); sem cobertura - MSE (Figura 15b) e PSE (Figura 15e); e sem cobertura e com revolvimento a 0,10 m do solo – MSR (Figura 15c) e PSR (Figura 15f), possibilitando a avaliação dos preparos mecanizados do solo para áreas agrícolas.

Para a coleta do escoamento foi utilizada uma estrutura retangular de 1,0 x 0,7 m (Figura 15), confeccionada com chapas de aço galvanizado e cravada no solo a uma profundidade de aproximadamente 0,15 m. Foi realizado pré-molhamento em todas as parcelas experimentais antes de iniciar as simulações de chuva, a fim de garantir a padronização das condições iniciais de umidade do solo. De forma similar a uma chuva antecedente, a água foi uniformemente distribuída sobre a superfície de cada parcela, evitando a formação de áreas encharcadas ou com baixa umidade. Os testes foram iniciados após o tempo necessário para infiltração e estabilização do perfil de umidade (ALMEIDA et al., 2018). Os percentuais médios de umidade foram de M - 16,52% (M), 18,26% (MSE), 19,67% (MSR), 17,65% (PAST), 23,35% (PSE), e 27,67% (PSR). As áreas apresentavam declividade média de, aproximadamente, 0,05 m m⁻¹.

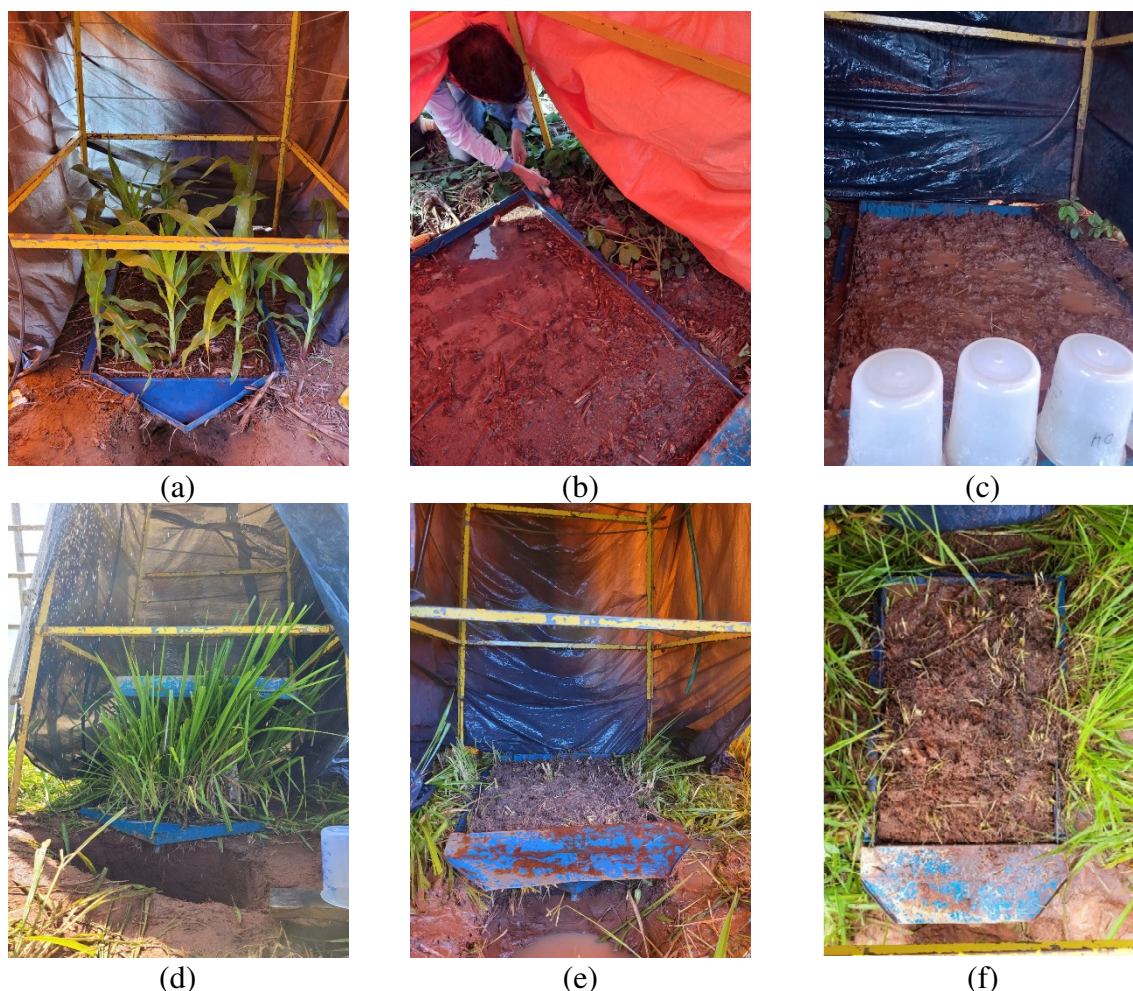


Figura 15. Parcelas experimentais com os tratamentos milho (a), área de milho sem cobertura (b), área de milho sem cobertura e revolvida (c), pastagem (d), área de pastagem sem cobertura (e), área de pastagem sem cobertura e revolvida (f).

As chuvas foram aplicadas por meio do simulador *InfAsper* (ALVES SOBRINHO et al., 2008), operando com o painel de controle desenvolvido por Macedo et al. (2021), que permite a programação de diferentes padrões de precipitação, a partir de calibração prévia. Com base na relação IDF proposta por Sabino et al. (2020) foram definidos os padrões Avançado (AV), Intermediário (IN) e Atrasado (AT) considerando intensidade de precipitação (IP) variando de 50,0 a 133,1 mm h⁻¹, além do padrão Constante (CT), com IP de 75 mm h⁻¹ (Figura 16a). Em laboratório, o equipamento foi avaliado quanto à uniformidade de aplicação de água, e apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC (CHRISTIASSEM, 1942) acima de 80%. As chuvas simuladas tiveram duração de 60 min em todos os padrões estudados, e após o início do escoamento, o volume da enxurrada era coletado a cada 1 min, por meio de proveta graduada, para posterior quantificação da perda total de sedimentos. Para tanto, 10 amostras homogêneas foram agrupadas a cada 5 min, e a cada 6 min, a enxurrada era armazenada conforme Almeida et al. (2018). A Figura 16b apresenta a lâmina relativa de chuva aplicada pelo simulador ao longo de sua duração.

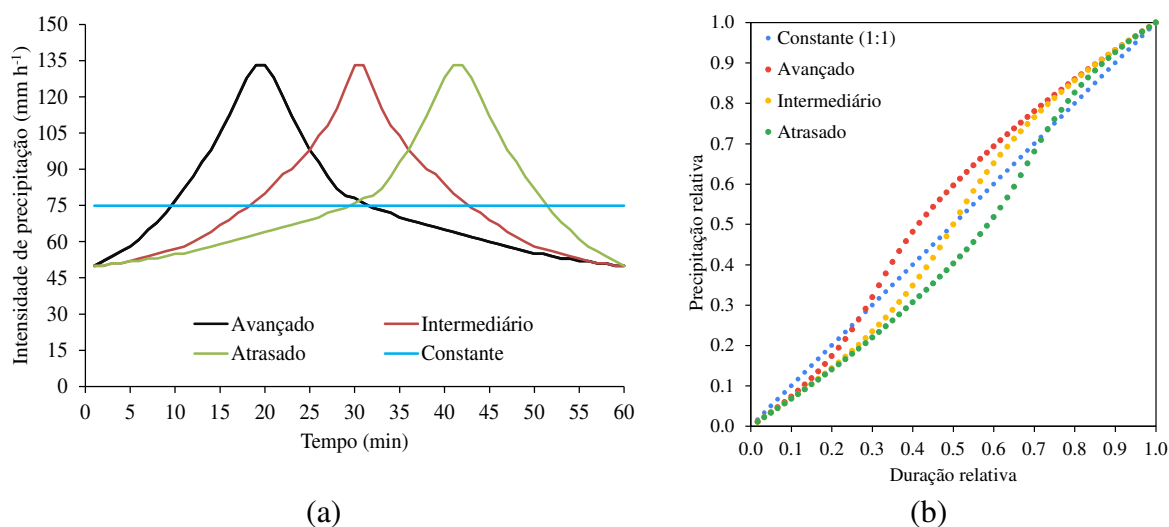


Figura 16. Padrões de precipitação aplicados pelo *InfiAsper* (a) e lâminas relativas de precipitação aplicadas nos tratamentos (b).

O experimento foi realizado segundo delineamento experimental em blocos ao acaso, em um arranjo fatorial 3 x 4, sendo 3 condições de cobertura do terreno e 4 padrões de precipitação com 3 repetições, totalizando 36 testes para cada cultura. Os dados foram analisados para cada área de cultivo isoladamente, empregando testes de normalidade e homogeneidade de variâncias. A análise de variância foi realizada para avaliar o efeito dos tratamentos, e os resultados foram comparados pelo teste de Scott-Knott, com nível de significância de $p \leq 0,05$. Posteriormente, realizou-se uma análise conjunta dos dados, e assim todas as variáveis foram submetidas ao teste de Kruskal-Wallis, a 5% de probabilidade, utilizando software R versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2021).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. Área cultivada com milho

As chuvas simuladas com padrões AV, IN e AT proporcionaram taxas máximas de escoamento superficial (TME) semelhantes entre si, porém superior à verificada no padrão CT, em 5,65; 6,33 e 6,04 vezes, respectivamente (Tabela 12). Resultados obtidos por Carvalho et al. (2022), ao aplicarem chuvas em um Argissolo Vermelho Amarelo, utilizando o *Infiasper*, indicaram que o padrão CT não gerou escoamento e o padrão AT apresentou maior TME (56,23 mm h⁻¹), seguido pelo padrão IN (46,48 mm h⁻¹). Esses resultados foram obtidos considerando chuvas de 40 min e IP variando de 20 a 110 mm h⁻¹.

Utilizando um simulador estacionário de bicos múltiplos e chuvas com duração de 60 min, com pico de 120 mm h⁻¹, Eltz et al. (2001) encontraram TME, no padrão AT, 19%, 22% e 79% maiores do que nos padrões AV, IN e CT, respectivamente. A taxa de escoamento é influenciada pelo tempo de ocorrência e duração da IP máxima durante um evento de chuva com intensidade variável, conforme indicado em testes laboratoriais realizados por Alavínia et al. (2019).

Tabela 12. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), perda de solo e lâmina de escoamento (LE) em área cultivada com milho.

Cobertura	Padrões				Médias
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante	
Taxa Máxima de Escoamento (mm/h ⁻¹)					
M	73,86 ± 13,14	77,71 ± 17,82	78,86 ± 15,45	9,17 ± 2,97	59,90 ± 29,35 A
MSE	77,29 ± 9,93	84,14 ± 30,40	81,34 ± 15,32	7,20 ± 4,75	62,49 ± 32,02 A
MSR	81,57 ± 21,28	98,57 ± 22,27	88,20 ± 17,34	24,77 ± 5,33	73,28 ± 28,65 A
Médias	77,57 ± 3,15 a	86,81 ± 8,72 a	82,80 ± 3,95 a	13,71 ± 7,86 b	----
Perda de solo (g m ⁻²)					
M	0,49 ± 0,21	1,43 ± 0,13	0,54 ± 0,32	0,19 ± 0,08	0,66 ± 0,47 B
MSE	0,94 ± 0,22	1,16 ± 0,35	0,90 ± 0,39	0,18 ± 0,06	0,79 ± 0,37 B
MSR	5,03 ± 1,36	5,90 ± 0,87	3,19 ± 1,72	0,59 ± 0,08	3,68 ± 2,03 A
Médias	2,15 ± 2,04 b	2,83 ± 2,17 a	1,54 ± 1,17 b	0,32 ± 0,19 c	----
Lâmina de escoamento (mm)					
M	21,64 ± 11,07	25,91 ± 10,36	20,72 ± 5,80	4,01 ± 1,92	18,07 ± 8,08 A
MSE	21,07 ± 9,87	24,05 ± 10,16	22,74 ± 5,37	2,76 ± 1,86	17,66 ± 8,67 A
MSR	24,75 ± 11,96	30,52 ± 6,04	28,60 ± 5,74	7,44 ± 1,71	22,83 ± 9,12 A
Médias	22,49 ± 1,18 a	26,83 ± 2,91 a	24,02 ± 3,34 a	4,74 ± 1,98 b	----

* M: Milho; MSE: sem cobertura; MSR: sem cobertura com revolvimento. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e por letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

Apesar da análise estatística não apresentar diferenças entre as coberturas, observa-se maiores valores de TME em parcelas de solo revolvido, estando 22,39% e 17,26% maior à parcela com milho e com solo exposto. Tal fato sugere a ocorrência de um maior grau de impermeabilização superficial, conforme apontado por Rahma et al. (2019). Os autores explicam que quando a superfície do solo fica descoberta, sujeita ao impacto das gotas de chuva, a lâmina escoada reflete o grau de impermeabilização da superfície, e condutividade hidráulica do solo compactado superficialmente reduz a infiltração.

Os padrões de precipitação IN e AV ocasionaram as maiores perdas médias de solo (2,83 e 2,15 g m⁻² respectivamente). Tal fato pode ser atribuído, em parte, aos baixos valores

de condutividade hidráulica saturada encontrados na camada superficial do solo (0-10 cm), conforme demonstrado na Tabela 10. A combinação de uma baixa capacidade de infiltração com o impacto das gotas de chuva, que pode ter intensificado o selamento superficial, resulta em um escoamento superficial mais concentrado e, conseqüentemente, em maiores perdas de solo (PRIMA et al., 2018).

Resultados semelhantes foram obtidos por Alves et al. (2023a) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, onde os padrões de precipitação influenciaram tanto a perda de solo quanto o escoamento superficial, destacando os padrões AV e IN com as maiores perdas de solo (27,19 e 16,75 g m⁻², respectivamente), considerando parcelas de solo descoberto, com chuva simulada com IP variando de 45 a 110 mm h⁻¹, e duração de 40 min. De acordo com Oliveira et al. (2024), o padrão avançado está associado a perdas significativas de solo por evento, sendo que a umidade prévia do solo, a falta de cobertura vegetal e o selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva são fatores que contribuem para o aumento da perda de solo.

As menores perdas de solo foram registradas no padrão de chuva CT, contudo, esse padrão pouco representa as precipitações naturais. Diversos estudos utilizam simuladores que não produzem variações de IP como ocorrem eventos naturais, assumindo a intensidade da precipitação como um parâmetro constante, sendo que essas inferências podem não representar adequadamente o evento chuvoso na realidade (MEENA et al., 2022).

O tratamento MSR apresentou a maior média de perda de solo (3,68 g m²), diferindo dos demais tratamentos com 0,66 g m² nas parcelas M e 0,79 g m² nas parcelas MSE, ressaltando a importância das práticas de manejo conservacionistas. O transporte de sedimentos depende fortemente das condições da superfície do solo, sendo consideradas mais desfavoráveis aquelas em que o solo se encontra desnudo ou recém-cultivado (STAŠEK et al., 2023). Estudos com chuva natural destacam a eficiência da cobertura do solo contra a erosão em terrenos inclinados (CHEN et al., 2020; BENIAICH et al., 2020). Além disso, a presença de raízes promove diversos benefícios para a microbiologia do solo, aumento de carbono orgânico e contribuem na integridade física do solo (HAN et al., 2021).

A análise das diferentes coberturas não revelou um impacto na lâmina escoada (LE). No que diz respeito aos padrões de precipitação, valores semelhantes em relação à LE foram obtidos, com exceção do padrão CT, que apresentou, em média, uma redução de 19,59% em comparação aos demais. O momento de pico de aplicação é crucial para compreender o comportamento do escoamento, sugerindo que a ausência desse pico no padrão CT pode limitar a obtenção de dados de escoamento mais representativos da realidade. As chuvas simuladas, com uma intensidade constante, não reproduzem fielmente as características das chuvas naturais, o que pode causar diferenças substanciais nos desfechos de estudos relacionados à perda de solo e água (MACEDO et al., 2021).

4.5.2. Área cultivada com pastagem

Os diferentes padrões de precipitação resultaram em variações no TME e na perda de solo (Tabela 13). Foi observado um TME maior nos padrões AV e IN (72,46 e 67,42 mm, respectivamente), e menor nos padrões AT e CT (56,53 e 42,40 mm). A presença de cobertura vegetal proporcionou um TME médio de 75,03 mm, representando um aumento médio de 47,29% em comparação com as áreas sem cobertura (PASTSE e PASTSR).

Tabela 13. Valores médios e respectivos desvios-padrão da taxa máxima de escoamento superficial (TME), perda de solo e lâmina de escoamento (LE) em área de pastagem.

Cobertura	Padrões				Médias
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante	
Taxa Máxima de Escoamento (mm)					
PAST	89,71 ± 10,96	81,54 ± 15,86	65,71 ± 44,20	63,14 ± 23,83	75,03 ± 11,02 A
PASTSE	76,57 ± 8,41	71,14 ± 9,54	54,46 ± 29,21	38,74 ± 16,93	59,59 ± 14,40 B
PASTSR	51,08 ± 28,65	52,14 ± 15,12	49,43 ± 21,65	25,31 ± 8,96	44,49 ± 11,11 B
Médias	72,46 ± 16,03 a	67,42 ± 12,03 a	56,53 ± 6,81 b	42,40 ± 15,65 b	
Perda de solo (g m ⁻²)					
PAST	0,69 ± 0,15	1,30 ± 0,22	1,0 ± 0,18	0,55± 0,04	0,88 ± 0,28 C
PASTSE	1,32 ± 0,50	2,07 ± 0,33	2,63 ± 0,41	0,90 ± 0,50	1,73 ± 0,67 B
PASTSR	6,43 ± 1,12	6,96 ± 1,97	5,33 ± 0,74	5,50 ± 2,75	6,05 ± 0,68 A
Médias	2,81 ± 2,57 b	3,44 ± 2,51 a	2,99 ± 1,79 a	2,31 ± 2,25 b	
Lâmina de escoamento (mm)					
PAST	34,28 ± 5,23	31,00 ± 10,8	25,44 ± 12,83	46,12 ± 24,72	34,21 ± 7,24 A
PASTSE	25,80 ± 1,72	24,40 ± 8,02	22,21 ± 9,80	27,27 ± 12,87	24,92 ± 1,86 B
PASTSR	22,14 ± 4,47	19,43 ± 7,77	16,31 ± 8,77	16,63 ± 5,49	18,63 ± 2,36 B
Médias	27,40 ± 5,08 a	25,26 ± 5,79 a	21,32 ± 3,78 a	30,01 ± 12,19 a	

* PAST: pastagem; PASTSE: sem cobertura; PASTSR: sem cobertura com revolvimento. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e por letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Os menores valores de perda de solo foram obtidos no tratamento com presença de pastagem. Por apresentar alto potencial de cobertura do solo (60-89%), a *Brachiaria ruziziensis* atua como uma barreira física contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, reduzindo assim a perda de solo (ATAKOUN et al., 2023). Essa capacidade de cobertura é corroborada pelos resultados de Pavei et al. (2021), que evidenciaram que o pasto de *Brachiaria* sob pastejo rotacionado promove melhores propriedades físicas do solo e menor erosão em comparação com sistemas convencionais e de plantio direto.

As maiores perdas de solo nos padrões IN e AT (3,44 e 2,99 g m⁻², respectivamente) justificam-se pela dinâmica dos padrões de precipitação. O pico de intensidade (133,3 mm h⁻¹) ocorre após 50% de duração, permitindo um aumento gradual do conteúdo de água na camadas superficial do solo durante a aplicação da chuva com menor intensidade. Essa condição favorece a fragmentação das partículas do solo, tornando-as mais suscetíveis ao transporte. Quando o aumento da IP, a energia cinética das gotas de chuva aumenta significativamente, gerando um intenso escoamento superficial que arrasta as partículas desagregadas (MASHESHA et al., 2016). Estudos realizados em Argissolos Vermelhos, desprovidos de cobertura, no sul da China, revelaram que a perda média de solo em chuvas de intensidade variável (IN, AT e AV) foi de 1,1 a 12,1 vezes maior do que em chuvas de intensidade constante, considerando precipitações com IP entre 30 e 90 mm h⁻¹ e duração de 180 min (MA et al., 2023).

A ausência de cobertura vegetal e o revolvimento da camada superficial do solo proporcionaram as maiores perdas de solo (6,05 g m⁻²). A disposição das partículas do solo sem a presença de cobertura vegetal aliada ao preparo mecânico intensifica o efeito do impacto direto das gotas de chuva, tornando o solo mais suscetível ao processo erosivo. Em uma análise da eficácia das braquiárias na recuperação de áreas degradadas no Espírito Santo, Gonçalves et al. (2023) demonstraram resultados satisfatórios na redução das perdas de solo, passando a ter apenas 0,24 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ durante a estação seca. É importante ressaltar que o manejo adequado

e de longo prazo das pastagens desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade do solo (BONETTI et al., 2019). Essas descobertas enfatizam importância de examinar as práticas de manejo e o uso da cobertura vegetal para aprimorar a compreensão do impacto do uso da terra na conservação do solo e da água (MEENA et al., 2023).

Embora a parcela com cobertura vegetal (PAST) tenha proporcionada maior lâmina escoada, a perda de solo não seguiu o mesmo padrão. Esses resultados indicam que a cobertura vegetal influencia de forma distinta o escoamento superficial e a erosão, sugerindo que outros fatores, como a rugosidade do solo e a tipologia da cobertura, podem estar modulando a relação entre essas duas variáveis. As características intrínsecas das plantas, como um sistema radicular profundo e bem desenvolvido, contribuem para uma elevada capacidade estrutural do solo, além de facilitar a infiltração de água (GONÇALVES et al., 2023). Entretanto, a capacidade de infiltração de água no solo também depende de outros fatores, como textura, porosidade, densidade do solo e níveis de compactação. Mesmo em tratamentos de solo coberto, que reduzem as perdas de solo, pode ocorrer um aumento no escoamento superficial (ALVES et al., 2023b).

A expansão da fronteira agrícola na Amazônia tem levado à perda de cobertura vegetal e à degradação dos solos, caracterizada pela redução do teor de matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica e da condutividade hidráulica. Essas alterações comprometem a capacidade de infiltração de água no solo, intensificando o escoamento superficial e a erosão, e, conseqüentemente, a degradação do solo (BERIHUN et al., 2022). Nesse sentido, o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), aliado à adoção de práticas de manejo conservacionistas eficientes, apresentam-se como uma alternativa promissora para a região, promovendo a recuperação da fertilidade do solo, a redução do escoamento superficial e a conservação da biodiversidade (ZOLIN et al., 2021; FERREIRA et al., 2023).

4.5.3. Análise conjunta dos dados (Kruskall-Wallis)

Independente do padrão analisado, as áreas de pastagem apresentaram maiores perdas de solo quando revolvidas (PASTSR), não diferindo estatisticamente no padrão Intermediário (Tabela 14). Essa variação na perda de solo foi significativa em comparação às outras condições, com um aumento médio de 64% em relação às áreas nas mesmas condições de cultivo de milho (MSR). O revolvimento excessivo do solo em pastagem, como a operação de aração e a gradagem, pode proporcionar efeitos negativos na erosão hídrica do solo, pois expõem o solo e destroem sua estrutura, facilitando o transporte das partículas. Operações iniciais de manejo, como escarificação em contorno e dessecação química, têm sido recomendados para melhorar a qualidade do solo e aumentar sua produtividade, pois proporcionam um uso potencial para práticas conservacionistas de pastoreio reduzindo as perdas de sedimentos e água (ROCHA JÚNIOR et al., 2017).

Tabela 14. Valores médios e respectivos desvios-padrão da perda de solo e lâmina de escoamento por padrão de precipitação, sob diferentes tipos de cobertura do solo.

Coberturas	Padrões de precipitação			
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante
Perda de Solo (g m ⁻²)				
M	0,49 ± 0,21 b	1,43 ± 0,13 a	0,54 ± 0,32 b	0,19 ± 0,08 b
MSE	0,94 ± 0,22 ab	1,16 ± 0,35 a	0,90 ± 0,39 b	0,18 ± 0,06 b
MSR	5,03 ± 1,36 ab	5,90 ± 0,87 a	3,19 ± 1,72 ab	0,59 ± 0,08 ab

Continua...

Continuação da Tabela 14.

Coberturas	Padrões de precipitação			
	Avançado	Intermediário	Atrasado	Constante
Perda de Solo (g m ⁻²)				
PAST	0,69 ± 0,15 ab	1,30 ± 0,22 a	1,00 ± 0,18 ab	0,55 ± 0,04 ab
PASTSE	1,32 ± 0,50 ab	2,07 ± 0,33 a	2,63 ± 0,41 ab	0,90 ± 0,50 ab
PASTSR	6,43 ± 1,12 a	6,96 ± 1,97 a	5,33 ± 0,74 a	5,50 ± 2,75 a
Lâmina Escoadada (mm)				
M	21,6 ± 11,07 a	25,91 ± 10,36 a	20,72 ± 5,80 a	4,01 ± 1,92 ab
MSE	21,07 ± 9,87 a	24,05 ± 10,16 a	22,74 ± 5,37 a	2,76 ± 1,86 b
MSR	24,75 ± 11,96 a	30,52 ± 6,04 a	28,60 ± 5,74 a	7,44 ± 1,71 ab
PAST	34,28 ± 5,23 a	31,00 ± 10,8 a	25,44 ± 12,83 a	46,12 ± 24,72 a
PASTSE	25,80 ± 1,72 a	24,40 ± 8,02 a	22,21 ± 9,80 a	27,27 ± 12,87 ab
PASTSR	22,14 ± 4,47 a	19,43 ± 7,77 a	16,31 ± 8,77 a	16,63 ± 5,49 ab

* M: Milho; MSE: sem cobertura; MSR: sem cobertura com revolvimento; PAST: pastagem; PASTSE: sem cobertura; PASTSR: sem cobertura com revolvimento. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

O padrão intermediário (IN) apresentou maior perda de solo em todas as coberturas, com exceção da PASTSE, onde o padrão AT registrou os maiores valores. Esses resultados indicam a importância da escolha adequada da cobertura do solo e manejo para reduzir a erosão.

Em contrapartida, o padrão CT tendeu a resultar na menor perda de solo e em menores desvios padrão, comparado aos outros padrões de precipitação, variando de 0,19 a 5,50 g m⁻². Experimentos conduzidos em laboratório na China para investigar os impactos dos padrões de precipitação no escoamento e na erosão do solo revelaram que a perda de solo nos padrões AT e AV foi de 3,64 a 5,17 e 2,03 a 3,79 vezes maior do que no padrão CT, respectivamente. Essas comparações foram feitas levando em conta uma intensidade média de 75 mm h⁻¹ e uma duração de 60 minutos (AN et al., 2014).

Os diferentes padrões de precipitação exercem influência sobre a lâmina escoada, embora de maneira menos acentuada do que na perda de solo. Mais uma vez, o padrão de precipitação IN se destacou, proporcionando as maiores lâminas escoadas em todas as áreas de cultivo de milho. Após o pico de intensidade, a saturação dos poros pode promover maior acúmulo de água na superfície do solo durante a fase final do evento chuvoso, ou mesmo o transporte partículas de solo obstruindo os poros, resultando na diminuição da porosidade efetiva do solo e consequentemente reduzindo a capacidade de infiltração de água no solo (ANTONELLI e BEDNARZ, 2010). Utilizando o simulador *Infiasper*, Carvalho et al. (2022) observaram que os padrões de precipitação IN e AT apresentam um alto potencial de erosão por evento, provocando perdas de água 202,64% e 211,32% maiores, respectivamente, em comparação com o padrão AV. Essas análises foram realizadas considerando chuvas simuladas de 30 mm, com duração de 40 minutos e picos de PI de 110 mm h⁻¹.

O padrão CT proporcionou menor lâmina escoada, com exceção da cobertura PAST, onde observou-se um aumento médio de 74,77% em relação às demais coberturas. A simulação de chuvas de intensidade constante é inadequada para muitos experimentos, Dunkerley (2021) ressalta que a simulação de precipitação é valiosa para controlar a intensidade e a duração, mas deve incluir as variações de intensidade de precipitação para aumentar a sua relevância e assemelhar-se as respostas de infiltração e escoamento superficial vistos em condições naturais.

4.5.4. Perda de solo e escoamento superficial relativos

O escoamento superficial relativo e as perdas relativas de solo em função da duração relativa das precipitações simuladas demonstram a influência dos padrões e das condições de cobertura do solo na evolução do processo erosivo (Figuras 17 e 18).

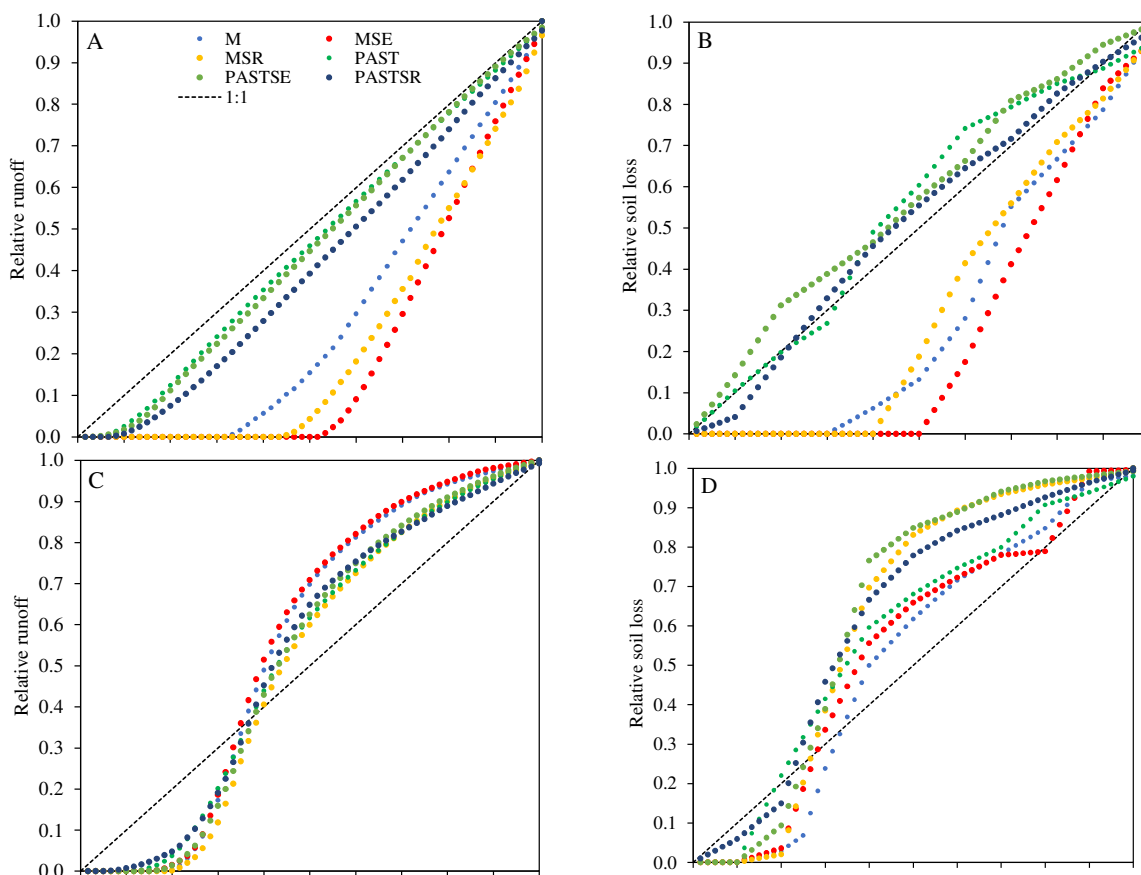


Figura 17. Escoamento superficial e perda de solo relativos ao longo dos eventos de precipitação com diferentes padrões e cobertura em área de milho e pastagem: constante (A, B) e Avançado (C, D).

O milho apresentou menor escoamento superficial em comparação à pastagem sob o padrão de precipitação CT (Figura 17A). Essa diferença pode ser atribuída à maior condutividade hidráulica do solo na área de milho (Tabela 10), que favorece a infiltração e reduz o escoamento superficial. Esses resultados corroboram com estudos de Mai et al. (2023) e Petryk et al. (2023), que destacam a influência da condutividade hidráulica no escoamento superficial e na conservação do solo.

A perda de solo relativa em área com pastagem em relação à duração relativa da precipitação apresentou maior linearidade, indicando maior suscetibilidade à erosão em comparação à área cultivada com milho (Figura 17B). Esse efeito pode ser explicado pela porcentagem de solo descoberto e a matéria seca total, pois em condição de maior cobertura do solo, os sedimentos presentes no escoamento superficial diminuem devido ao menor desprendimento do solo (HOFMANN & RIES, 1991).

O escoamento superficial no padrão Avançado se apresentou de maneira uniforme entre as diferentes condições de cobertura do terreno, com 60 a 70% do total escoado ocorrendo em até 50% da duração da chuva simulada (Figura 17C). Com esse padrão, perdas de solo da ordem

de 83% ($4,18 \text{ g m}^{-2}$ - MSR) e 84% ($1,12 \text{ g m}^{-2}$ - PASTSE) ocorreram até a metade da chuva aplicada (30 min) (Figura 17D). Tal fato pode ser atribuído à concentração da erosividade da chuva no terço inicial da sua duração e ao menor tempo para o desenvolvimento de mecanismos naturais de proteção do solo contra a erosão. Em comparação com outros padrões de chuva, o padrão Avançado tende a causar menores perdas totais de solo, uma vez que a impermeabilização superficial, a desintegração e o transporte de partículas são reduzidos no início do evento de chuva, (ELTZ et al., 2001). Em contrapartida, para a mesma duração relativa, foram observadas 61% ($0,24 \text{ g m}^{-2}$), 65% ($0,62 \text{ g m}^{-2}$), 68% ($0,40 \text{ g m}^{-2}$) e 78% ($5,01 \text{ g m}^{-2}$) das perdas nas coberturas M, MSE, PAST e PASTSR, respectivamente, ressaltando a eficiência da cobertura vegetal. A dissipação da energia cinética da chuva ocorre por diversos mecanismos, como a interceptação de gotas de chuva pelas folhas e a formação de uma camada de serrapilheira, reduzindo o escoamento superficial (LIMA et al., 2020; YAN et al., 2021).

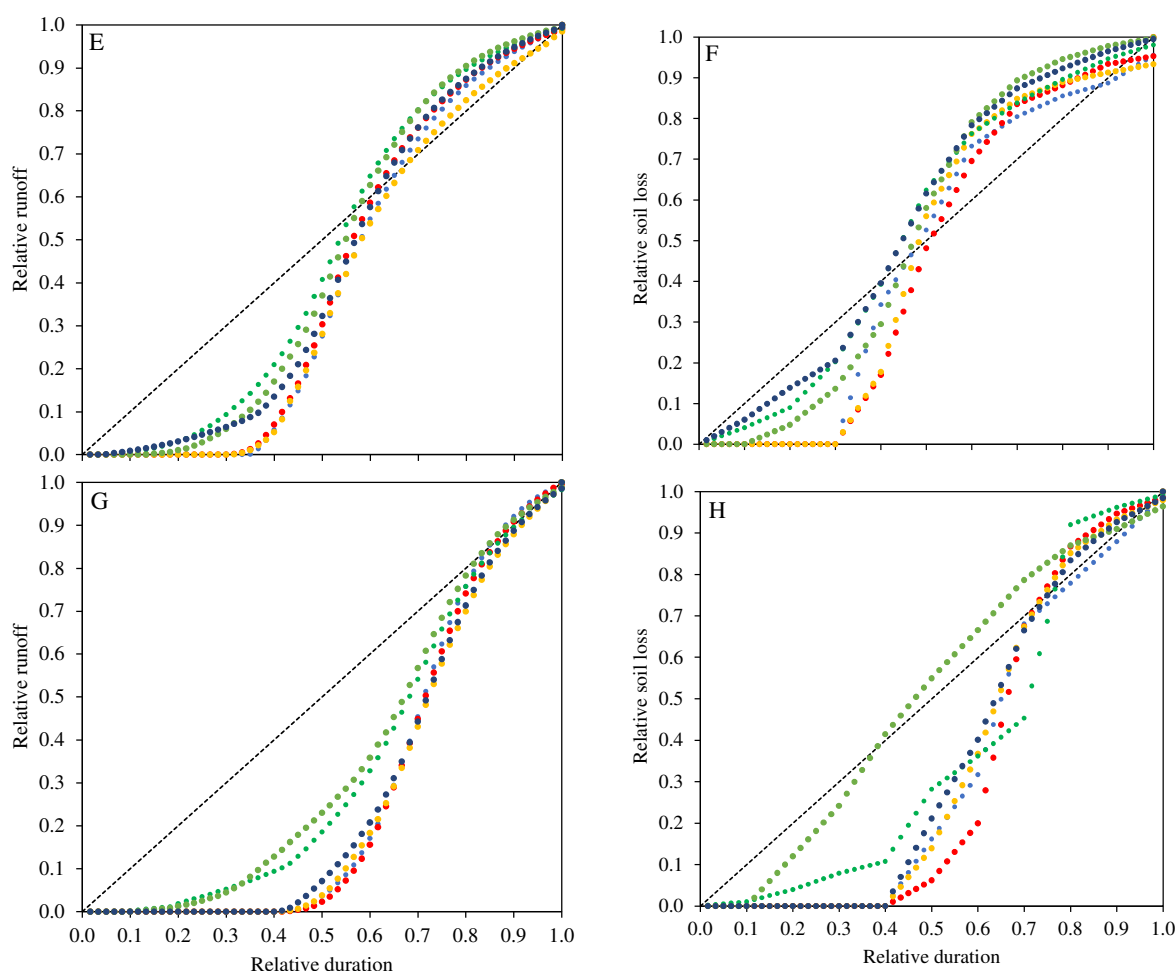


Figura 18. Escoamento superficial e perda de solo relativos ao longo dos eventos de precipitação com diferentes padrões e cobertura em área de milho e pastagem: Intermediário (E, F) e Atrasado (G, H).

Sob padrão intermediário (IN), o escoamento superficial tende a aumentar gradativamente ao longo do evento de precipitação, atingindo valor máximo próximo ao momento do pico de chuva (50% da duração) e diminuindo posteriormente. Essa dinâmica se deve ao crescente umedecimento da camada superficial do solo com o avanço da distribuição da água nos poros, levando à redução da infiltração e intensificação do escoamento superficial. O escoamento superficial teve início, em média, com duração relativa da precipitação de 0,3

(aproximadamente 20 minutos) e 0,05 (3 minutos), respectivamente, nas áreas de milho e pastagem (Figura 17E).

A perda de solo no padrão IN tende a aumentar gradativamente ao longo do tempo, acompanhando o aumento do escoamento superficial. Destaca-se um período inicial mais lento e o aumento mais acentuado após 0,3 (18 min) principalmente nos tratamentos com milho (Figura 17F), corroborando com os estudos de Wang et al. (2018) sobre o potencial erosivo das chuvas com máximo intensidade ocorrendo na metade da duração do evento. O aumento da intensidade da precipitação ao longo do evento chuvoso provoca um acúmulo progressivo de água no solo, elevando a tensão da água no solo e, conseqüentemente, desestabilizando o solo e aumentando o risco de deslizamentos em áreas com declives acentuados. (YIN et al., 2023).

No padrão AT, o tratamento PASTSR apresentou um comportamento de escoamento distinto, com redução em relação aos demais. Essa diferença pode ser explicada pelo acúmulo de água nas depressões formadas pelo revolvimento do solo, que retardou o início do escoamento superficial. Com o aumento da IP, a água acumulada nessas depressões começou a escoar, mas o volume total de escoamento foi menor em comparação ao padrão intermediário (IN).

Um ponto de inflexão nas curvas de perda de solo é observado em torno de 80% da duração da precipitação, indicando que a erosão do solo se acelera para ambos os tipos de cobertura. Na área cultivada com milho, a perda de solo relativa entre 80% e 100% da duração da precipitação foi de $0,06 \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Na pastagem, a taxa média de erosão do solo relativa entre 80% e 100% da duração da precipitação foi de $0,09 \text{ g cm}^{-2}$ por minuto (Figura 17H).

O tratamento com PAST apresentou inicialmente valores menores de erosão do solo, mas após a metade do evento chuvoso houve aumento expressivo. Em contraste, nas parcelas com milho, o aumento inicial da erosão do solo ocorreu de forma mais gradual, seguido por uma aceleração após 40-50% da duração da precipitação. A influência de diferentes intensidades de chuva na erosão do solo é evidente, resultando em distintos escoamentos e taxas de produção de sedimentos (SALEM & MESELHY, 2020).

Este estudo ressalta a relevância da compreensão da interação entre padrões de precipitação e cobertura vegetal para mitigar a erosão em áreas cultivadas com milho e pastagem na região de transição Amazônia-Cerrado. Os resultados evidenciam que a escolha estratégica de práticas agrícolas é primordial para a sustentabilidade da produção regional. A adoção de técnicas conservacionistas do solo, como o plantio direto e a cobertura morta, se configuram como ferramentas essenciais para minimizar os impactos negativos da erosão.

4.6 CONCLUSÕES

Os diferentes padrões de precipitação exercem influência significativa na perda de solo e na lâmina escoada, tanto nas áreas de pastagem e quanto nas de milho. O padrão Intermediário (IN) destaca-se como um agente erosivo proeminente em pastagens, enquanto suas consequências nas áreas de milho assemelham-se aos padrões Avançado (AV) e Atrasado (AT). Por outro lado, o padrão Constante (CT) proporciona as menores perdas de solo e água, embora sua representatividade em relação às precipitações naturais seja questionável.

A cobertura vegetal exerce maior impacto na perda de solo. A *Brachiaria ruziziensis* em particular, destaca-se por sua capacidade de cobertura do solo satisfatória. Apesar disso, as perdas de solo foram maiores nas áreas de pastagem do que em áreas cultivadas com milho.

Além dos padrões de precipitação, fatores como a textura do solo, topografia, condições climáticas, histórico de manejo e densidade animal em pastagens desempenham papéis relevantes, no processo erosivo. Para uma gestão sustentável do solo e dos recursos naturais relacionados, é importante ter uma abordagem abrangente e integrada desses elementos.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAVINIA, M.; SALEH, F. N.; ASADI, H. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. **International Journal of Sediment Research**, 34(3), 270-278. 2019. DOI: <https://org/10.1016/j.ijsrc.2018.11.001>.
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, 175, 130-138. 2018. Available at: DOI: <https://org/10.1016/j.still.2017.07.009>.
- ALMEIDA, W. S.; SEITZ, S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil and Water Conservation Research**, 9, 69-75. 2021. DOI: <https://org/10.1016/j.iswcr.2020.10.004>.
- ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use & Management**, 24, 163-170. 2008. DOI: <https://org/10.1111/j.1475-2743.2008.00150.x>.
- ALVES, A. S.; SCHULTZ, N.; CONFORTO, B. A. A. F.; ZONTA, E.; CARVALHO, D. F. Soil, water and nutrient loss under simulated rainfall patterns in an area fertilised with chicken litter. **Journal of Hydrology**, 620, 129543, 2023a. DOI: <https://org/10.1016/j.jhydrol.2023.129543>.
- ALVES, M. A. B.; BORELLA, D. R.; LUZ, C. C. DA S.; CASTAGNA, D.; SILVA, W. C. DA; SILVA, A. F. DA; ALMEIDA, F. T. DE; SOUZA, A. P. DE. Classes de solos nas bacias hidrográficas dos rios Caiabi e Renato, afluentes do rio Teles Pires, no sul da Amazônia. **Nativa**, v. 10, n. 3, 2022. DOI: <https://org/10.31413/nativa.v10i3.14192>.
- ALVES, M. A. B.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T.; HOSHIDE, A. K.; ARAÚJO, H. B.; SILVA, A. F.; CARVALHO, D. F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment. **Sustainability**, v. 15, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15064954>
- AN, J.; ZHENG, F. L.; HAN, Y. Effects of Rainstorm Patterns on Runoff and Sediment Yield Processes. **Soil Science**, v.179, 2014. DOI: [doi:10.1097/ss.0000000000000068](https://doi.org/10.1097/ss.0000000000000068)
- ATAKOUN, A. M.; TOVIHOUDJI, P. G.; DIOGO, R. V. C.; YEMADJE, P. L.; BALARABE, O.; AKPONIKPÈ, P. B. I.; SEKLOKA, E.; HOUGNI, A.; TITTONELL, P. Evaluation of cover crop contributions to conservation agriculture in northern Benin. **Field Crops Research**, v. 303, p. 109118, 1 nov. 2023.
- BENIAICH, A.; SILVA, M. L. N.; GUIMARÃES, D. V.; BISPO, D. F. A.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; PIO, R. Assessment of soil erosion in olive orchards (*Olea europaea* L.) under cover crops management systems in the tropical region of Brazil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 44, 2020. DOI: [10.36783/18069657rbcs20190088](https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190088)
- BERIHUN, M. L. TSUNEKAWA, A.; HAREGEWEYN, N.; TSUBO, M.; FENTA, A. A.; EBABU, K.; SULTAN, D.; DONDEYNE, S. Reduced runoff and sediment loss under

alternative land capability-based land use and management options in a sub-humid watershed of Ethiopia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 40, p. 100998, 2022. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.100998

BONETTI, J.; ANGHINONI, I.; IVONIR GUBIANI, P.; CECAGNO, D.; MORAES, M. T. D. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 280–291, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2018.11.003.

BORELLA, D. R. SOUZA, A. P. DE; ALMEIDA, F. T. DE; ABREU, D. C. DE; HOSHIDE, A. K.; CARVALHO, G. A.; PEREIRA, R. R.; SILVA, A. F. Dynamics of Sediment Transport in the Teles Pires River Basin in the Cerrado-Amazon, Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 16050, 2022. DOI: 10.3390/su142316050.

CARAUTA, M.; PARUSSIS, J.; HAMPF, A.; LIBERA, A.; BERGER, T. No more double cropping in Mato Grosso, Brazil? Evaluating the potential impact of climate change on the profitability of farm systems. **Agricultural Systems**, v. 190, p. 103104, 2021. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103104

CARVALHO, D.F.; MACEDO, P.M.S.; PINTO, M.F.; ALMEIDA, W.S.; SCHULTZ, N. Soil loss and runoff obtained with customised precipitation patterns simulated by InfiAsper. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, p. 407-413, 2022. DOI: <https://org/10.1016/j.iswcr.2021.12.003>.

CERDÀ, A.; BORJA, M. E. L.; PARDO, I. F.; ÚBEDA, X.; NOVARA, A.; VICENTE, M. L.; POPOVIĆ, Z.; PULIDO, M. The role of plant species on runoff and soil erosion in a Mediterranean shrubland. **Science of The Total Environment**, v. 799, p. 149-218, 2021. DOI: <https://org/10.1016/j.scitotenv.2021.149218>.

CHEN, J.; Xiao, H.; Ning, K.; Tang, C. Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review. **Journal of Environmental Management**, v. 282, p. 111924, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111924.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station**. Bulletin n. 670, 1942; 124, 2022.

EEKHOUT, J. P. C.; MILLARES-VALENZUELA, A.; MARTÍNEZ-SALVADOR, A.; GARCÍA-LORENZO, R.; PÉREZ-CUTILLAS, P.; CONESA-GARCÍA, C.; DE VENTE, J. A process-based soil erosion model ensemble to assess model uncertainty in climate-change impact assessments. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 7, p. 2409–2422, 2021. DOI: 10.1002/ldr.3920.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 485-493.

FAO. **The State of Food and Agriculture 2023: Revealing the true cost of food to transform agrifood systems** [online]. Roma, Itália: FAO, 2023. doi:10.4060/cc7724en

FERREIRA, L. DE S.; OLIVEIRA, V. DE S.; MARCHIORI, J. J. DE P.; GOMES, M. DE P.; FERREIRA, T. C.; VARGENS, F. N.; BOLSONI, E. Z.; CARRIÇO, E.; HOLTZ, A. M. Soil

Fertility Indicators in Crop-Livestock-Forest Integration Systems. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 20, p. 1093–1104, 2023. DOI: 10.9734/ijpss/2023/v35i203906.

GONÇALVES, M. S.; RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, D. DA C.; GUERRA FILHO, P. A.; TANURE, M. M. C.; AMARAL, J. F. T. DO; COSER, A. C.; GARCIA, G. DE O.; REIS, E. F. DOS; SANTOS, A. R DOS. Tropical grasses adaptability as a sustainable tool for recovering degraded pastures and restricting soil loss: Use diagnosis and future scenarios. **Environmental Development**, v. 47, p. 100887, 2023. DOI: 10.1016/j.envdev.2023.100887

GREEN, D. Chapter 5.3: Modelling geomorphic systems: scaled physical models. In: COOK, S.; CLARKE, L.; NIELD, J. (Eds.). **Geomorphological Techniques** (Online Edition). British Society for Geomorphology, 2014, p. 1-17.

HAN, D.; DENG, J.; GU, C.; MU, X.; GAO, P.; GAO, J. Effect of shrub-grass vegetation coverage and slope gradient on runoff and sediment yield under simulated rainfall. **International Journal of Sediment Research**, v. 36, n. 1, p. 29–37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.05.004>.

HOFFMANN, L.; RIES, R.E. Relationship of soil and plant characters to erosion and runoff on pasture and range. **Journal of soil and water conservation**, v. 2, p. 143-147, 1991.

IMEA. **Boletim Anual: Retrospectiva e Perspectiva - Milho**. [Boletim anual], n° 780, 18 de dezembro de 2023. Disponível em: https://imea.com.br/imea-site/arquivo-externo?categoria=relatorio-de-mercado&arquivo=boletimmanual-milho&numero_publicacao=780&_gl=1*_lgtigtv*_ga*mta5ndk3njy2ms4xnza5mtu4ntc3*_ga_243h7nmkpd*_mtcxmzq2otuyoc4yljeumtcxmzq2otg3nc4lns4wlja. [acesso em: 22 de jan 2024]

INDEA. **Rebanho bovino de Mato Grosso chega a 34,4 milhões de animais** [online]. Disponível em: <https://www.indea.mt.gov.br/-/rebanho-bovino-de-mato-grosso-chega-a-34-4-milh%C3%B5es-de-animais>. [Acesso em 26 de mar 2024]

JIANG, F.; HUANG, Y.; WANG, M.; LIN, J.; ZHAO, G.; & GE, H. Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on Steep Colluvial Deposit Erosion in Southeast China. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 5 p. 1741-1752, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2014.04.0132>.

KAVIAN, A.; MOHAMMADI, M.; CERDÀ, A.; FALLAH M.; GHOLAMI, L. Calibration of the SARI portable rainfall simulator for field and laboratory experiments. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, p. 1581364, 2019. DOI: 10.1080/02626667.2019.1581364.

KRAESKI, A.; ALMEIDA, F. T. DE; SOUZA, A. P. DE; CARVALHO, T. M. DE; ABREU, D. C. DE; HOSHIDE, A. K.; ZOLIN, C. A. Land Use Changes in the Teles Pires River Basin's Amazon and Cerrado Biomes, Brazil, 1986–2020. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4611, 2023. DOI: 10.3390/su15054611

LI, D.; CHEN, X.; TAO, T.; TAN, W.; MA, L. Quantifying the sheet-rill erosion process along a saturated soil slope. **Catena**, v. 219, p. 106631, 2022. DOI: [doi:10.1016/j.catena.2022.106631](https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106631)

LIMA, C. A DE; MONTENEGRO A. A de A; LIMA, J. L. M. P. de; ALMEIDA, T. A. B.; SANTOS, J. C. N. dos. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de

solo em regiões semiáridas. **Eng Sanit Ambient**, v. 25, n. 3, p. 53142, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020193900>

LUETZENBURG, G.; BITTNER, M. J.; CALSAMIGLIA, A.; RENSCHLER, C. S.; ESTRANY, J.; POEPPL, R. Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz – Austria, Can Revull – Spain. **Science of The Total Environment**, v. 704, p. 135389, 2020. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135389

LUZ, C. C. DA S.; ALMEIDA, W. S. DE; SOUZA, A. P. DE; SCHULTZ, N.; ANACHE, J. A. A.; & CARVALHO, D. F. DE. Simulated rainfall in Brazil: An alternative for assesment of soil surface processes and an opportunity for technological development. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 12, n. 1, p. 29-42, 2024. DOI: doi:10.1016/j.iswcr.2023.05.002

MA, Y.; LIU, Y.; TIAN, L.; LONG, Y.; LEI, M.; DUAN, J.; YANG, J.; NIE, X.; LI, Z. Roles of soil surface roughness in surface–subsurface flow regulation and sediment sorting. **Journal of Hydrology**, v. 623, p. 129834, 2023. DOI: <https://org/10.1016/j.jhydrol.2023.129834>.

MACEDO, P. M. S.; PINTO, M. F.; SOBRINHO, T. A.; SCHULTZ, N.; COUTINHO, T. A. R.; & CARVALHO, D. F. A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment under different rainfall patterns. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 126052, 2021. DOI: <https://org/10.1016/j.jhydrol.2021.126052>.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. **Boas práticas agrícolas: Terraceamento** [online]. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>. [Acesso em: 22 ago. 2023]

MAI, J.; WANG, Z.; HU, F.; HUANG, J.; & ZHAO, S. Study on soil hydraulic properties of slope farmlands with different degrees of erosion degradation in a typical black soil region. **Environmental Science**, v. 11, e15930, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.15930>.

MAPBIOMAS. *Coleções do MapBiomas no Brasil: Cobertura e transições bioma & Estados (coleção 8)* [online]. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. [Acesso em 26 de mar 2024]

MESHESHA, D.; TSUNEKAWA, A.; TSUBO, M.; HAREGEWEYN, N.; & TEGEGNE, F. Evaluation of kinetic energy and erosivity potential of simulated rainfall using Laser Precipitation Monitor. **Catena**, v. 137, p. 237-243, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2015.09.017>.

MEENA, R. K.; SEN, S.; NANDA, A.; DASS, B.; MISHRA, A. A contribution to rainfall simulator design – a concept of moving storm automation. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 26, p. 4379-4390, 2022. DOI:<https://org/10.5194/hess-26-4379-2022>.

MEENA, G. L.; SETHY, B. K.; MEENA, H. R.; ALI, S.; KUMAR, A.; SINGH, R. K.; MEENA, R. S.; MEENA, R. B.; SHARMA, G. K.; MINA, B. L.; KUMAR, K. Quantification of Impact of Land Use Systems on Runoff and Soil Loss from Ravine Ecosystem of Western India. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 773, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13040773.

MORATELLI, F. A.; ALVES, M. A. B.; BORELLA, D. R.; KRAESKI, A.; ALMEIDA, F. T. D.; ZOLIN, C. A.; HOSHIDE, A. K.; SOUZA, A. P. D. Effects of Land Use on Soil Physical-

Hydric Attributes in Two Watersheds in the Southern Amazon, Brazil. **Soil Systems**, v. 7, n. 4, p. 103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040103>

OLIVEIRA, E. M.; DE HERMÓGENES, G. M.; BRITO, L. DA C.; SILVA, B. M.; AVANZI, J. C.; BENIAICH, A.; SILVA, M. L. N. Cover crop management systems improves soil quality and mitigate water erosion in tropical olive orchards. **Scientia Horticulturae**, v. 330, p. 113092, 2024. DOI: [10.1016/j.scienta.2024.113092](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113092).

PATAULT, E.; LEDUN, J.; LANDEMAINE, V.; SOULIGNAC, A.; RICHET, J.-B.; FOURNIER, M.; OUVRY, J.-F.; CERDAN, O.; LAIGNEL, B. Analysis of off-site economic costs induced by runoff and soil erosion: Example of two areas in the northwestern European loess belt for the last two decades (Normandy, France). **Land Use Policy**, v. 108, p. 105541, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105541>.

PETRYK, A.; KRUK, E.; RYCZEK, M.; & LACKÓOVÁ, L. Comparison of Pedotransfer Functions for Determination of Saturated Hydraulic Conductivity for Highly Eroded Loess Soil. **Land**, v. 12, p. 610, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12030610>.

PRIMA, S.; CONCIALDI, P.; LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; PIRASTRU, M.; CERDÀ, A., & KEESSTRA, S. Laboratory testing of Beerkan infiltration experiments for assessing the role of soil sealing on water infiltration. **Catena**, v. 167, p. 373-384, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.05.013>.

R CORE TEAM. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org>. [Acesso em 20 jul 2023].

RAHMA, A. E.; WARRINGTON, D. N.; LEI, T. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 4, p. 335-345, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.003>.

ROCHA JUNIOR, P. R. DA; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. DE S.; DONAGEMMA, G. K.; FERNANDES, R. B. A.; BHATTARAI, R.; KALITA, P. K. Soil, water, and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in Brazilian Atlantic Rainforest biome. **Science of The Total Environment**, v. 583, p. 53-63, 2017. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.12.187](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.187)

SALEM, H., & MESELHY, A. A portable rainfall simulator to evaluate the factors affecting soil erosion in the northwestern coastal zone of Egypt. **Natural Hazards**, v. 105, p. 2937 – 2955, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04432-8>.

SARTORI, M.; PHILIPPIDIS, G.; FERRARI, E.; BORRELLI, P.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. **Land Use Policy**, 86, 299-312. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>

SIRQUEIRA, E. S.; ALMEIDA, F. T. DE; SOUZA, A. P. DE; ARAÚJO, H. B.; ZOLIN, C. A.; PAULISTA, R. S. D. Avaliação das Perdas de Solo pela MUSLE na Microbacia do rio Caiabi. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2430-2447, 2022. DOI: [10.26848/rbgf.v15.5.p2430-2447](https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2430-2447).

SOUZA, A. P. DE; MOTA, L. L. DA; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. DE; PAULINO, J. Climate classification and climatic water balance in Mato Grosso State, Brazil. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013.

STAŠEK, J.; KRÁSA, J.; MISTR, M.; DOSTÁL, T.; DEVÁTÝ, J.; STŘEDA, T.; MIKULKA, J. Using a Rainfall Simulator to Define the Effect of Soil Conservation Techniques on Soil Loss and Water Retention. **Land**, v. 12, n. 2, p. 431, 2023. DOI: 10.3390/land12020431.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 22 ago. 2023.

THORNTON, C. M.; ELLEDGE, A. E. Heavy grazing of buffel grass pasture in the Brigalow Belt bioregion of Queensland, Australia, more than tripled runoff and exports of total suspended solids compared to conservative grazing. **Marine Pollution Bulletin**, v. 171, p. 112704, 2021. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112704

VIEIRA FILHO, J. E. R. **O desenvolvimento da agricultura do brasil e o papel da Embrapa** [online]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11100/1/td_2748.pdf. [Acesso em: 22 ago. 2023]

WANG, Y.; YOU, W.; FAN, J.; JIN, M.; WEI, X., & WANG, Q. Effects of subsequent rainfall events with different intensities on runoff and erosion in a coarse soil. **Catena**, v. 170, p. 100–107, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.06.008>. YAKUBU, M.L.; YUSOP, Z. Adaptability of rainfall simulators as a research tool on urban sealed surfaces – a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, p. 996–1012, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2016.1267355>

YAN, T.; WANG, Z.; LIAO, C.; XU, W.; WAN, L. Effects of the morphological characteristics of plants on rainfall interception and kinetic energy. **Journal of Hydrology**, v. 592, p. 125807, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125807>.

YIN, L.; HUANG, C.; HAO, S.; MIAO, L.; LI, J.; QIU, Y.; LIU, H. Experimental Study on the Stability of Shallow Landslides in Residual Soil. **Water**, v. 15, p. 37–32, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15213732>

ZOLIN, C. A.; MATOS, E. da S.; MAGALHÃES, C. A. de S.; PAULINO, J.; LAL, R.; SPERA, S. T.; BEHLING, M. Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the Cerrado-Amazon ecotone. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 2, p. 102–112, 2021. DOI: <https://org/10.1590/1809-4392202000391>.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A pesquisa com chuva simulada tem evoluído significativamente no Brasil, impulsionada pelo desenvolvimento de simuladores cada vez mais sofisticados e pela aplicação em uma gama abrangente de estudos sobre erosão do solo e outros processos hídricos. Os simuladores de chuva possibilitam a replicação precisa de diversos padrões de precipitação, incluindo aqueles com pico de intensidade em diferentes momentos do evento chuvoso. Essa capacidade ímpar se torna crucial para avaliar o impacto da chuva no solo sob diversas condições, como diferentes tipos de coberturas vegetais, práticas de manejo do solo e cenários de mudanças climáticas.

O estudo também destaca a necessidade de mais pesquisas sobre chuva simulada em diferentes regiões do Brasil, particularmente nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, onde se encontram biomas de extrema relevância como o Cerrado, a Amazônia e a Caatinga. A compreensão do processo erosivo nessas regiões é essencial para o desenvolvimento de estratégias de mitigação da erosão adaptadas às condições locais e às características dos sistemas de produção agrícola.

Os resultados deste estudo indicam que os padrões de precipitação desempenham um papel fundamental na dinâmica do escoamento superficial e na erosão do solo. Diferentes padrões de precipitação afetaram os TIES e TFE, em particular, o padrão Atrasado mostrou um TIES mais longo, enquanto o padrão Avançado se caracterizou por um TFE mais curto.

Os padrões de precipitação intermediário e atrasado produzem maiores perdas de solo em comparação com os padrões avançado e constante em todas as coberturas analisadas, salientando que o padrão intermediário resultou em uma maior lâmina de escoamento superficial nas áreas com soja e milho. A presença da palhada de milho, como cobertura, proporcionou redução na mobilidade dos sedimentos, aumentando a resistência ao fluxo, prolongando o tempo necessário para o início da erosão do solo. Esses resultados reforçam a importância de práticas conservacionistas no manejo do solo, como a manutenção de resíduos culturais e a cobertura do terreno, para reduzir a erosão e garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

Em conclusão, a pesquisa com chuva simulada é uma ferramenta valiosa e sua utilização em estudos relacionados à erosão hídrica busca obter resultados rápidos para enfrentar esse desafio. Os avanços tecnológicos na área permitem simular eventos de chuva cada vez mais realistas, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo do solo sustentáveis e para a preservação dos recursos naturais.