

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**



Dissertação

**Atributos físicos e perdas de solo, água e nutrientes sob chuva simulada em
diferentes sistemas de cultivo em Planossolo**

Tainara Vaz de Melo

Pelotas, 2023

Tainara Vaz de Melo

Atributos físicos e perdas de solo, água e nutrientes sob chuva simulada em diferentes sistemas de cultivo em Planossolo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientadora: Dra. Maria Cândida Moitinho Nunes
Coorientador (es): Dr. Filipe Selau Carlos e Dr. Pablo Miguel

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

M528p Melo, Tainara Vaz de

Atributos físicos e perdas de solo, água e nutrientes sob chuva simulada em diferentes sistemas de cultivo em Planossolo [recurso eletrônico] / Tainara Vaz de Melo ; Maria Cândida Moitinho Nunes, orientadora ; Filipe Selau Carlos, Pablo Miguel, coorientadores. — Pelotas, 2023.

67 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Preparo convencional. 2. Plantio direto. 3. Erosão hídrica. 4. Compactação do solo. 5. Áreas de planícies. I. Nunes, Maria Cândida Moitinho, orient. II. Carlos, Filipe Selau, coorient. III. Miguel, Pablo, coorient. IV. Título.

CDD 631.45

Tainara Vaz de Melo

Atributos físicos e perdas de solo, água e nutrientes sob chuva simulada em diferentes sistemas de cultivo em Planossolo

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre/Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 06/06/2023

Banca examinadora:

Profa. Dra. Maria Cândida Moitinho Nunes (Orientadora)
Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

Prof. Dr. Álvaro Luiz Carvalho Nebel.
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas, RS.

Profa. Dra. Cláudia Alessandra Peixoto de Barros
Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Dra. Eliana Aparecida Cadoná
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas, RS.

A minha mãe, padrasto *in memoriam*, irmãos e sobrinhos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter posto tantas pessoas maravilhosas em minha vida e que, de alguma forma, deixaram uma marca e me ensinaram a ser a pessoa que eu sou hoje. Sou grata a Ele por trilhar meu caminho e entregar meu destino nas mãos de pessoas tão especiais.

Agradeço à minha mãe, Janete Viana Vaz, que mesmo não tendo tido a mesma educação que eu, sempre me incentivou a continuar estudando. Agradeço ao meu padrasto, José Cidinei Silva Rodrigues já falecido, por ter me acolhido como filha e me ensinado o verdadeiro valor das conquistas.

Aos meus irmãos, que me motivaram e me mostraram que, mesmo nos momentos mais difíceis, sempre teremos o apoio um do outro.

Aos meus sobrinhos e afilhados que me encantam com seus aprendizados diários e que me mostram que eu recebi algo muito precioso em minha vida.

A minha namorada, Nathalia Vieira Ribeiro, que me acompanhou nos melhores e piores momentos desta minha jornada.

À minha orientadora, professora Maria Cândida Moitinho Nunes que me acolheu, incentivou, ensinou e esteve presente em todo esse processo de construção de conhecimento e aprendizagem. Eu não tenho palavras para te agradecer! Obrigada por despertar em mim o amor pela área da conservação do solo e por mostrar que o meu futuro é onde estou. Você foi amiga e, por muitas vezes, uma mãe além de professora.

Ao colega e amigo, Eros Miguel Sadowoy Martins Filho, pelo apoio das atividades no campo, conversas, aprendizados, confiança e por toda a ajuda em todos os processos práticos deste trabalho.

À minha amiga de vida, Eliana Aparecida Cadoná por todo apoio emocional, conselhos, incentivo, paciência e resiliência.

Aos colegas e amigos do grupo de estudos em conservação do solo e da água (GECASA) pela companhia, auxílio nos trabalhos práticos e de trocas nas aulas.

Aos colegas e professores do PPG MACSA (Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água) pelas trocas, conhecimentos, auxílios nos laboratórios e no campo. Obrigada por estarem comigo nas organizações dos eventos e por estarem comigo nessa jornada da pós-graduação.

Agradeço aos meus coorientadores, Dr. Filipe Selau Carlos e Pablo Miguel, pelas contribuições deste trabalho. Aos professores, do IFSUL - CaVG (Campus Visconde da Graça) e da FAEM (Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel), que passaram pela minha trajetória e deixaram um pouquinho do seu legado e muito de seus conhecimentos.

À CAPES pela concessão da bolsa, oportunizando minha dedicação exclusiva ao desenvolvimento desta pesquisa sobre a área da conservação do solo.

Por fim, mas não menos importante, à Universidade Federal de Pelotas, à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel e ao Departamento de Solos desta instituição, conjuntamente aos seus técnicos que prestam assistência aos alunos e à comunidade.

Obrigada a todos pela resiliência, conhecimentos diversos e pelo suporte até aqui.

“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”
Ana Primavesi

"Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento."
Albert Einstein

Resumo

MELO, Tainara Vaz de. **Atributos físicos e perdas de solo, água e nutrientes sob chuva simulada em diferentes sistemas de cultivo em Planossolo**. 2023. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

A erosão hídrica é um dos principais processos de degradação das áreas agrícolas provocando prejuízos econômicos, ambientais e socioeconômicos. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar as perdas de solos, água e nutrientes e realizar a caracterização física sobre manejos que característicos das áreas de várzea, em um Planossolo localizado no sul do Rio Grande do Sul. O estudo foi conduzido em parcelas experimentais em DBC, com 4 tratamentos e 2 repetições, submetidos à aplicação de chuva simulada com intensidade de 60 mm h^{-1} , em um período de 20 minutos. Os tratamentos utilizados foram definidos como T1 (pousio com vegetação espontânea), T2 (arroz irrigado em preparo convencional), T3 (semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado) e T4 (semeadura direta em rotação de culturas). Para a caracterização física dos tratamentos realizou-se a avaliação de granulometria, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total, umidade e resistência à penetração do solo. Após a chuva simulada foram avaliadas as perdas de solo, água e nutrientes (P, K e Na). Os resultados evidenciaram que, de modo geral, a densidade apresentou maiores valores na camada de 0,10 a 0,20 m, com menores valores de umidade e porosidade total nesta camada. A RP foi menor na camada mais superficial (0,0 a 0,10m) nos tratamentos T2, T4 e T3, ficando abaixo de 2 Mpa e aumentando a partir das camadas mais profundas. Sobre as perdas de solo e água, verificou-se que nos tratamentos T2 e T1 ocorreram as maiores perdas de solo, $319,66 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $104,32 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. As maiores perdas de água ocorreram nos tratamentos T4, T1 e T3 ($11,87$, $11,00$ e $10,52 \text{ L ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), respectivamente. Os tratamentos que apresentaram as maiores perdas de nutrientes totais, P, K e Na, foram T1 e T2 ($0,2787$ e $0,2054 \text{ mg L}^{-1}$), com maior presença na fração do solo (particulado), sendo que as maiores perdas de NH_4^{4+} e NO_3^{-} ocorreram nos tratamentos T2 e T3.

Palavras-chave: Preparo convencional; semeadura direta erosão hídrica; compactação do solo; erosão hídrica; terras baixas.

Abstrac

MELO, Tainara Vaz de. **Losses of soil, water, and nutrients under simulated rainfall and evaluation of physical attributes in different cultivation systems of a Ultisols in the south of Rio Grande do Sul.** 2023. 67 p. Dissertation (Master's in Sciences) - Graduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Eliseu Maciel Agronomy School, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Water erosion is one of the main degradation processes in agricultural areas, causing economic, environmental and socio-economic damage. Therefore, the aim of this study was to evaluate soil, water and nutrient losses and to carry out physical characterization of the management of floodplain areas in a Planossolo located in the south of Rio Grande do Sul. The study was conducted on experimental plots in a DBC design, with 4 treatments and 2 replications, subjected to simulated rainfall with an intensity of 60 mm h^{-1} over a period of 20 minutes. The treatments used were defined as T1 (fallow with spontaneous vegetation), T2 (irrigated rice in conventional preparation), T3 (direct sowing in irrigated rice monoculture) and T4 (direct sowing in crop rotation). For the physical characterization of the treatments, granulometry, soil density, particle density, total porosity, humidity and resistance to soil penetration were evaluated. After the simulated rainfall, the losses of soil, water and nutrients (P, K and Na) were assessed. The results showed that, in general, density was highest in the 0.10 to 0.20 m layer, with lower values for moisture and total porosity in this layer. PR was lowest in the top layer (0.0 to 0.10m) in treatments T2, T4 and T3, remaining below 2 Mpa and increasing from the deeper layers. With regard to soil and water losses, the highest soil losses occurred in treatments T2 and T1, $319.66 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and $104.32 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively. The highest water losses occurred in treatments T4, T1 and T3 (11.87 , 11.00 and $10.52 \text{ L ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), respectively. The treatments with the highest losses of total nutrients, P, K and Na, were T1 and T2 (0.2787 and 0.2054 mg L^{-1}), with the greatest presence in the soil (particulate) fraction, and the highest losses of NH_4^+ and NO_3^- occurred in treatments T2 and T3.

Keywords: Conventional tillage; direct sowing; water erosion; soil compaction; water erosion; lowlands.

Lista de Figuras

Figura 1	Localização geográfica da área experimental no município do Capão do Leão-RS.....	27
Figura 2	Localização e delimitação das parcelas experimentais.....	28
Figura 3	Simulador de chuvas portátil, calibrado, com bico aspersor Veejet 80-100.....	31
Figura 4	Distribuição dos <i>beckers</i> para calibração e coleta de chuva simulada em parcela de 1 m ² , localizado na estação experimental agrônômica Palma-UFPel, Capão do Leão-RS.....	32
Figura 5	Parcela delimitada para a coleta de enxurrada para determinação de perda de sedimento e água. Estação experimental agrônômica da Palma-UFPel, Capão do Leão-RS.....	33
Figura 6	Valores médios de resistência mecânica à penetração até a profundidade de 0,50 m em diferentes tratamentos.....	43
Figura 7	Umidade gravimétrica do solo obtida no momento de determinação da RP.....	45
Figura 8	Médias de nitrogênio amoniacal nas formadas de NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻ , obtidos a partir do escoamento superficial.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1	Caracterização de fertilidade sobre as áreas manejadas em semeadura direta, preparo convencional e pousio. Palma UFPEL – Pelotas, RS. 2022.....	30
Tabela 2	Distribuição de tratamentos e seus respectivos sistemas de preparo de solo, com planejamento de três safras.....	31
Tabela 3	Composição granulométrica e classificação textural do solo nos diferentes tratamentos, nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20m.....	41
Tabela 4	Caracterização de densidade do solo (D_s), densidade de partícula (D_p), umidade volumétrica (θ) e porosidade total (P_t), nas diferentes camadas entre os tratamentos.....	42
Tabela 5	Valores médios de intensidade de precipitação (I_p), início do escoamento superficial, umidade atual, perda de água e perda de solo nos diferentes sistemas de manejo adotados.....	46
Tabela 6	Valores de pH e Condutividade elétrica (CE) obtidos na água da enxurrada.....	49
Tabela 7	Valores médios da concentração de nutrientes em forma dissolvida, particulada e total, obtidos a partir de coletas de escoamento superficial, gerado por 20 minutos de chuva simulada, com intensidade 60 mm h^{-1} , em pré-semeadura.....	51

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 HIPÓTESES	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Geral	17
1.2.2 Específico.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 EROÇÃO HÍDRICA.....	18
2.1.1 Erosão entressulco.....	19
2.1.2 Erosão Hídrica sob Chuva Simulada.....	20
2.2 PLANOSSOLOS EM REGIÕES DE TERRAS BAIXAS	22
2.3 MANEJOS ADOTADOS AOS CULTIVOS DE GRÃOS EM REGIÕES DE TERRAS BAIXAS.....	23
2.3.1 Preparo convencional.....	24
2.3.2 Semeadura direta.....	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 LOCALIZAÇÃO ÁREA DE ESTUDO.....	27
3.2 DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO.....	28
3.3 HISTÓRICO DE PREPARO E CULTIVO DA ÁREA ATÉ A SAFRA 2022/2023	28
3.3.1 Caracterização da área de estudo	29
3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos utilizados	30
3.4 APLICAÇÃO DE CHUVA SIMULADA	31
3.5 COLETA DE AMOSTRAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	33
3.6 DETERMINAÇÕES DA FÍSICA DO SOLO NOS TRATAMENTOS	33
3.6.1 Granulometria do solo	33
3.6.2 Densidade do solo, umidade volumétrica, densidade de partícula e porosidade total.....	34
3.6.3 Umidade atual	36
3.6.4 Resistência mecânica do solo à penetração	37
3.7 DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA.....	37
3.8 DETERMINAÇÃO DE PERDAS DE NUTRIENTES.....	38
3.8.1 Análises químicas	38

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	41
4.2 DENSIDADE DO SOLO, UMIDADE VOLUMÉTRICA, DENSIDADE DE PARTÍCULAS E POROSIDADE TOTAL	41
4.3 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E UMIDADE INICIAL	43
4.4 PERDAS DE SOLO E ÁGUA.....	45
4.5 ANÁLISE QUÍMICA DA ENXURRADA	49
4.5.1 Condutividade elétrica e pH	49
4.5.2 Nitrogênio amoniacal.....	49
4.5.3 Concentração de Fósforo (P), Potássio (K) e Sódio (Na).....	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A degradação do solo e a erosão hídrica são dois fenômenos interligados que representam desafios significativos para a sustentabilidade ambiental em diversas regiões do mundo. O processo de degradação do solo envolve a perda ou redução de sua capacidade produtiva e funcional, resultante de processos naturais e/ou ações antrópicas inadequadas.

Nesse contexto, a erosão hídrica emerge como um dos principais processos de degradação, causado pela ação da água da chuva sobre a superfície e subsuperfície, que, como resultado, provoca o impacto e a desagregação do solo. Ao escoar, a água remove as camadas superficiais e carrega consigo nutrientes essenciais, comprometendo sua fertilidade e impactando negativamente ecossistemas naturais e áreas agrícolas.

Dentre os diferentes tipos de solo, os Planossolos despontam como um dos mais relevantes em diversas regiões do sul do Brasil, ganhando destaque em áreas de planícies e várzeas. Sua ocorrência é notável, especialmente em territórios de produção de grãos de arroz, onde seu uso para fins agrícolas é comum. No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, o Planossolo Háplico assume papel fundamental na produção agrícola, sendo amplamente utilizado para o cultivo do arroz irrigado (*Oryza sativa L.*) e, recentemente, da soja (*Glycine max L. Merrill*), que é uma cultura de sequeiro.

A aptidão desses solos para o cultivo do arroz irrigado é devido às suas características físicas e químicas que favorecem a retenção de água e nutrientes essenciais, permitindo a prática da irrigação e contribuindo para o alto rendimento dessa cultura. Contudo, a intensificação das atividades agrícolas nestes solos também aumenta a sua exposição aos riscos da erosão hídrica, demandando ações de manejo adequadas para a preservação desses importantes recursos naturais e a sustentabilidade da produção agrícola na região.

O processo de erosão hídrica em áreas de planície ou com pouca declividade ocorre de forma particular devido às características do relevo e da dinâmica das águas nessas regiões. Nesses ambientes, a água da chuva tende a se acumular e escoar de forma mais lenta, o que pode levar a um aumento da erosão hídrica em canais compreendidos como entressulco. Nestes solos, a água da chuva pode se acumular superficialmente, causando o que é conhecido como erosão laminar. Nesse processo, a água forma finas lâminas que escoam pela superfície do solo até os locais de menor

relevo carregando consigo partículas de argila, matéria orgânica e os nutrientes. A combinação de chuvas intensas em determinados períodos de implantação das lavouras, a aplicação de um conjunto de manejos inadequados do solo e a remoção de cobertura vegetal sob a superfície podem acelerar o processo erosivo, comprometendo a capacidade e o equilíbrio produtivo destas áreas, bem como fomentarem a contaminação ambiental de corpos hídricos próximo a elas.

No extremo sul do estado do Rio Grande do Sul as chuvas erosivas são mais frequentes no período da primavera e verão. Períodos em que os cultivos de arroz e soja são implantados na região. Nesses momentos, as chuvas podem exercer um grande potencial erosivo, resultando na desagregação das partículas do solo e no escoamento superficial, translocando a camada superficial dos solos agrícolas as áreas mais baixas do da lavoura. Portanto, a ação da chuva representa um desafio significativo para a conservação do solo, podendo causar perdas importantes de nutrientes e matéria orgânica, afetando a produtividade das culturas e a qualidade do solo no longo prazo nestas áreas.

Concomitante ao exposto acima, os manejos adotados nos solos de terras baixas, especialmente os aplicados nos Planossolos, apresentam complexidades distintas quando comparados com cultivos irrigados e/ou de sequeiro. Isso gera um desafio para o conhecimento e compreensão de todas as reações físicas e de perdas que ocorrem nessas áreas produtivas. Diante dessa realidade, torna-se cada vez mais essencial o estudo em tais locais, buscando compreender os impactos nos aspectos físicos e químicos do solo a partir do seu uso e da ação da erosão hídrica sobre ele.

É notável a escassez de produção científica sobre a atuação da erosão hídrica que sucede sobre estes solos no RS, tornando ainda mais premente a necessidade de pesquisas que contribuam para o melhor manejo e conservação dessas importantes áreas agrícolas. Neste contexto, é de extrema importância compreender os mecanismos que desencadeiam a erosão hídrica em áreas de planícies, buscando identificar soluções e práticas de manejo sustentáveis, a fim de mitigar os impactos negativos e preservar a qualidade do solo, garantindo a sua produtividade e a conservação do meio ambiente.

Tendo em vista a relevância do estudo sobre a erosão hídrica em diferentes condições edafoclimáticas e pelo fato da microrregião de Pelotas, localizada no sudeste do Rio Grande do Sul caracterizar-se como uma região com intensiva produção de grãos de arroz e soja, desenvolveu-se este trabalho.

1.1 Hipóteses

Considerando o impacto da erosão hídrica no solo e na perda de nutrientes, os quais contribuem para o esgotamento da fertilidade do solo, a partir de manejos não conservacionistas, as seguintes hipóteses foram formuladas:

- I. O sistema de preparo convencional apresenta as maiores perdas de solo e nutrientes por escoamento superficial, enquanto o sistema de semeadura direta apresenta as maiores perdas de água;
- II. O uso de semeadura direta, já estabelecida há mais de dois anos nos manejos adotados, resulta em melhor qualidade física do solo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Avaliar e quantificar atributos físicos, perdas de solo, água e nutrientes de um Planossolo Háplico, sob diferentes sistemas de manejo, em terras baixas do sul do Rio Grande do Sul.

1.2.2 Específicos

- I. Quantificar as perdas de solo, água e nutrientes geradas a partir do escoamento superficial de um Planossolo Háplico, sob chuva simulada, em sistemas de semeadura direta, preparo convencional e pousio;
- II. Determinar qual sistema de manejo de solo, adotado em um Planossolo Háplico, apresenta melhor qualidade na avaliação dos atributos físicos submetidos aos diferentes sistemas de cultivo.

2 Revisão de literatura

2.1 Erosão hídrica

O êxito de uma atividade agrícola está intrinsecamente relacionado ao conhecimento dos fatores que influenciam a erosão do solo, tais como a precipitação e os atributos edáficos do solo (VALIM et al., 2016). A erosão dos solos é considerada um processo geomorfológico que tem levado à degradação ambiental em várias regiões do mundo (JORGE & GUERRA, 2013; CHICAS et al., 2016; MONTANARELLA et al., 2016; GUERRA et al., 2017; THANGAVEL & SRIDEVI, 2017).

O processo de erosão é uma condição natural dada aos solos, onde são submetidos, de forma espontânea e gradativa a ação de agentes erosivos, tornando-se assim um dos principais fatores capazes de estabelecer a morfologia do solo e de influenciar o tipo de vegetação de um determinado local (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2017). Dentre as várias formas de erosão, a hídrica é a que exerce maior impacto na degradação dos solos agrícolas em escala global e apresenta maior severidade em áreas sob o cultivo anual, onde a superfície do solo permanece exposta sazonalmente a precipitações intensas (DECHEN et al., 2015).

Os fatores que condicionam os processos erosivos podem ser delimitados por características de clima, topografia do terreno, erosividade da chuva, erodibilidade do solo e cobertura vegetal (BERTOL et al., 2017; HAMANAKA et al., 2019). No entanto, o preparo e manejo do solo têm influência direta sobre as taxas de erosão hídrica, podendo expor o solo, em maior ou menor intensidade, ao impacto das gotas de chuva e à ação do escoamento superficial (PANACHUKI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2012; CANTALICE et al., 2016).

Entre os agentes erosivos da erosão hídrica, a chuva é uma das principais promotoras de perdas de solo, água e nutrientes, ocorrendo através da ação da água da chuva que promove a desagregação do solo pela energia cinética, tendo suas partículas transportadas pela ação da água (RAMALHO et al., 2013; VALENTIN, 2018). Sob o processo de desagregação, forma-se um selamento na camada superficial, o qual influencia a infiltração da água, desencadeando o escoamento superficial e o conseqüente arraste das partículas desagregadas (DEFERSHA & MELESSE, 2012; PAULA et al., 2016).

A erosão hídrica, com seus mecanismos de desagregação, transporte e deposição do solo, é responsável por três principais processos erosivos: a erosão em entressulcos, a erosão em sulcos, propostas por Meyer et al. (1975) e a formação de voçorocas, estágio final e mais grave da erosão hídrica. Esses processos estão interligados, pois representam os estágios iniciais, intermediários e avançados da erosão hídrica, porém podem ocorrer sem a dependência entre os eventos. Cada etapa contribui para o agravamento do processo erosivo, sendo fundamental entender a dinâmica de cada uma delas para implementar estratégias eficazes de controle e prevenção da erosão, visando a conservação do solo e a proteção ambiental.

2.1.1 Erosão entressulco

Os processos de erosão hídrica do solo podem ocorrer de duas maneiras, são elas: em entressulcos ou em sulcos. Conforme Meyer et al., (1975), a erosão em entressulcos é, fundamentalmente, um processo independente da erosão em sulcos, manifestando-se em áreas geralmente curtas e com orientação frequentemente alinhada ao microrelevo superficial.

Contudo, este tipo de erosão é um fenômeno significativo no contexto da degradação do solo e sofre sobre a influência de um conjunto de interações complexas entre fatores ambientais e práticas de manejo. Para Nachtigall et al. (2020), a presença de gradientes texturais e mudanças texturais abruptas nas classes de solos, como Argissolos e Planossolos, frequentemente contribuem para a suscetibilidade à erosão dos solos.

Este tipo de erosão representa o estágio inicial da erosão hídrica, sendo impulsionada principalmente pelas gotas de chuva que exercem um impacto significativo na desagregação do solo. Este tipo de erosão é caracterizado pela ação erosiva da precipitação pluvial, onde o transporte dos sedimentos é influenciado tanto pelo efeito de salpicamento ("*rain splash*") quanto pelo escoamento difuso, mediante a isso, a fonte de sedimentos nesse processo provém principalmente dos materiais presentes na superfície do solo (OLIVEIRA et al., 2012; WANG et al., 2019; ZHANG et al., 2020) tendo a incapacidade, a partir do escoamento superficial, de transportar partículas grosseiras e carregá-las para sua deposição (SHI et al., 2012).

A erosão entressulco ocorre devido à transferência de energia cinética da chuva para a massa do solo, na forma de força de pressão e cisalhamento, resultando na desintegração de várias partículas da massa original do solo. O transporte desse

material desagregado é principalmente realizado pelo fluxo laminar, conforme indicado por Armstrong et al. (2011) e carregam consigo as partículas mais finas, que são mais facilmente transportadas neste tipo de erosão (KOITER et al., 2017; HAN et al., 2019), isso ocorre devido à falta de energia gerada pelo escoamento que não é capaz de carrear agregados ou partículas grosseiras (BOVI et al., 2017).

Este tipo de erosão pode ser a forma dominante ou apresentar-se de forma mais frequente em regiões agrícolas de pastagens nativas ou áreas em pousio, assim como em terrenos de com pouca declividade e comprimentos de rampa reduzidos (MARTINS FILHO, 2007). Além disso, pode ser considerado um fenômeno significativo no contexto da degradação do solo, pois é influenciada por uma interação complexa de fatores ambientais e práticas de manejo. Conforme Cantalice et al. (2009), este tipo de erosão torna-se a mais prejudicial do ponto de vista agrícola, pois é responsável pela remoção da camada mais superficial do solo e onde estão localizados os nutrientes, insumos e matéria orgânica, reduzindo, portanto, a produtividade das culturas.

A compreensão dos efeitos das chuvas nos atributos do solo é desafiadora quando estudada por meio da chuva natural, uma vez que esta não possibilita o controle preciso sobre suas características. Diante disso, vários estudos relacionados às perdas de solo e água têm empregado dispositivos simuladores de chuvas (PANACHUKI et al., 2010; CARVALHO et al., 2012; HAMANAKA et al., 2019; BRAMORSKI & CRESTANA, 2020; MACEDO et al., 2021).

2.1.2 Erosão Hídrica sob Chuva Simulada

Os efeitos das chuvas sobre os atributos do solo são desafiadores de estudar por meio da chuva natural, pois essa não possibilita um controle sobre suas características. Em resposta a essa limitação, vários estudos relacionados a perdas de solo e água têm empregado o uso de simuladores de chuvas (PANACHUKI et al., 2010; CARVALHO et al., 2012; HAMANAKA et al., 2019). Essas pesquisas abrangem temas como escoamento superficial, infiltração e perda de sedimentos, sendo influenciadas pelo uso, cobertura e manejo em diferentes classes de solo (SARASTY et al., 2017; BOULANGE et al., 2019).

Os simuladores de precipitação permitem a reprodução controlada de diferentes características, como a duração e intensidade da precipitação, sendo amplamente empregados na avaliação da erodibilidade do solo (MHASKE et al.,

2019), dos impactos da erosão do solo, levando em consideração o uso e ocupação do solo (ALMEIDA et al., 2016), bem como a análise da taxa de infiltração de água no solo (ALMEIDA et al., 2018; MORAES et al., 2020).

No entanto, devido à variabilidade espacial e temporal dos eventos naturais de precipitação (ASSOULINE, 2009), a representação mais precisa do processo natural de perda de solo ocorre quando os simuladores incorporam mecanismos que permitem variações na intensidade ao longo da ocorrência da precipitação (NIELSEN et al., 2019). Alavinia et al. (2019) destacaram que as chuvas simuladas com intensidade constante não refletem adequadamente as características das chuvas naturais, resultando em diferenças significativas nos resultados das perdas de solo.

A quantificação do escoamento em trabalhos hidrogeomorfológicos é de extrema relevância, pois sua produção desencadeia vários processos que podem gerar impactos ao meio, seja na própria perda de água ou na condução e carreamento do material das camadas mais superficiais do terreno (CONFESSOR & RODRIGUES, 2018). Ainda, conforme os mesmos autores, recomenda-se o uso de parcelas de erosão com tamanho ideal de 1 m² para o simulador portátil. Essas parcelas são configuradas com uma folha de zinco de 40 centímetros de altura dobrada em três sessões, cada uma com 1 metro de comprimento, inserida no solo a aproximadamente 10 centímetros de profundidade. Esse arranjo visa capturar o fluxo superficial e direcioná-lo de maneira eficaz para a calha coletora, posicionada na lateral aberta voltada para a parte mais baixa do terreno. Essa concepção permite a captura do fluxo superficial gerado por toda a área de contribuição, conduzindo-o até a parte inferior do terreno e direcionando-o para a calha coletora, capaz de assimilar todo o fluxo e transportá-lo até o recipiente de armazenamento.

2.2 Planossolos em regiões de terras baixas

No Rio Grande do Sul, os solos de terras baixas, tipicamente entendidos como áreas de várzea, contemplam cerca de 6,06 milhões de hectares, representando uma área de 23 % do território no estado (ANGHINONI & CARLOS, 2018). Esta região compreende grande parte do bioma Pampa, localizado ao sul do RS.

A região onde são encontradas as áreas de terras baixas apresentam características específicas que as diferenciam das terras altas. Conforme Emygdio et al. (2017), estas áreas apresentam terrenos geralmente planos, com pouca ou nenhuma declividade, contemplando solos de baixa a média fertilidade natural. Por conta de sua baixa declividade, apresentam uma drenagem natural menos eficiente, concebendo características de solos hidromórficos (GIACOMELI, 2019).

Estes solos, quando cultivados, caracterizam-se pela reduzida taxa de infiltração de água devido ao surgimento de uma camada compactada próxima à superfície, podendo apresentar uma elevada resistência a penetração mecânica (GIACOMELI, 2019; COELHO et al., 2020).

Quando analisados as condições físicas desses solos sob o uso de culturas, tendem a apresentar características de baixa porosidade, além da reduzida macroporosidade e a presença de camadas compactadas próximas à superfície, bem como uma baixa estabilidade de agregados e tendência à formação de selamento superficial (GIACOMELI et al., 2017; GUBIANI et al., 2018).

Por conta da condição dos solos destas áreas e suas limitações físico-hídrica, como sua baixa condutividade hidráulica e a reduzida capacidade de infiltração de água no solo, o processo de drenagem é dificultado (GOMES et al., 2006). Em virtude disso, em períodos de estiagem, como no verão, estes solos tendem a apresentar uma baixa capacidade de armazenamento, limitando o acesso a água para as culturas de sequeiro (CASSOL, 2017).

Paralelo e isso, estas características, quando associadas as práticas de inundação das áreas, favorece o cultivo do arroz nestas regiões. Ao analisar os atributos químicos dos solos das áreas de terras baixas, encontra-se a ocorrência de ciclos de oxidação-redução, que afetam diretamente o pH destas áreas, além da disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio, bem como a redução dos óxidos de ferro e manganês e na condutividade elétrica (REIS, 2008).

Nas áreas de terras baixas podem ser encontrados solos classificados como Planossolos, Chernossolos, Neossolos (quartzarênicos), Plintossolos, Gleissolos e

Plintossolos e Vertissolos, dentre outros, compondo as áreas respectivamente em 56, 16, 12, 7, 7 e 1,4% que representam, no território gaúcho 9,7% dos solos do RS (ANGHINONI & CARLOS, 2018).

Dentre as principais classes que estão inclusos os solos de terras baixas, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), na microrregião de Pelotas/RS, encontram-se os Planossolos e Gleissolos. Estes solos são caracterizados por serem imperfeitamente ou mal drenados, com relevo plano a suave ondulado, apresentando perfis em sequência de horizontes A-E-Bt-C, com o horizonte A, geralmente de cor escura e horizonte E de cor clara (tipo E álbico), onde ambos apresentam textura mais arenosa, com passagem abrupta para o horizonte Bt (que é do tipo B plânico), bem mais argiloso e adensado, de cor acinzentada com ou sem mosqueados vermelhos e/ou amarelos (STRECK et al., 2018). Todavia, os Planossolos e Gleissolos associados ocupam cerca de 54% da área total dos solos de terras baixas e representa cerca de 9,3% da área total do Estado do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2017).

Na Planície Costeira interna e externa são encontrados os Planossolos Háplicos Eutróficos solódicos (Unidade Pelotas), caracterizados como aptos para o cultivo de arroz irrigado e com sistemas eficientes de drenagem, podendo permitir o cultivo para as culturas do milho, soja e de pastagens (STRECK et al., 2018). Ainda, conforme os autores, são solos formados por sedimentos eluviais e de granito que, geralmente reduzem a fertilidade destes solos.

Nestes solos são tradicionalmente cultivados o arroz irrigado sob áreas sistematizadas, e recentemente sendo inseridas as culturas de soja e milho nestas áreas. Estas culturas, por sua vez, são cultivadas em sistema de sucessão de culturas e, convenientemente, sucessão de soja e arroz no sistema *ping-pong* sob a utilização do preparo de solo que envolvem arações e/ou gradagens que, por constante revolvimento dos solos, não beneficiam sua reconstrução e que, por consequência, acabam reduzindo, em escala, seus aspectos físicos, químicos e biológicos (CARMONA et al., 2018).

2.3 Manejos adotados aos cultivos de grãos em regiões de terras baixas

Os manejos adotados as culturas de grãos do estado do RS compreendem um conjunto de práticas que, ao serem utilizadas de forma correta, promovem um aumento na produtividade das culturas, mas quando realizadas de forma incorreta,

promovem maior degradação física, química e biológica do solo e, por consequência, tendem a reduzir a produtividade das culturas (BEUTLER et al., 2014).

Conforme Rosalino (2014), nas regiões de terras baixas, onde ocorre o predomínio da monocultura do arroz, o manejo do solo ocorre predominantemente em duas épocas, sendo elas após a colheita ou antecedendo a semeadura da cultura. Ainda, segundo o autor, o manejo seguido da pós-colheita, dito preparo antecipado do solo, normalmente é realizado com grade e, ou, rolo-faca com a presença de uma fina lâmina de água, logo, após a área permanece em pousio, podendo ser cultivada com plantas de cobertura para uso como forragem, sendo os resíduos desse cultivo incorporados ao solo antes da implantação de uma nova lavoura.

Com o uso excessivo desta mesma técnica conjuntamente com a prática de revolvimento do solo constantemente associado as características físico-hídricas dos solos de terras baixas e o tráfego intensivo de máquinas nestas lavouras, tendem a potencializar a degradação dos solos em superfície. Contudo, como alternativa a esse sistema de manejo, o sistema de semeadura direta, quando adotado de forma correta, tende a reduzir os impactos mantendo a qualidade do solo (COSTA et al., 2009).

Estima-se que sejam perdidos entre 36 e 75 bilhões de toneladas de solo anualmente por erosão hídrica no mundo, prejudicando a produção agrícola mundial (BORRELLI et al., 2017). Estes solos, em sua maioria de uma vez escoados, a partir da ação da erosão hídrica, carreando solo, água e nutrientes, dentre outros elementos que, ao deslocarem-se até os recursos hídrico, estão sujeitos a causar problemas potenciais de ordem ambiental e sanitária (SILVA et al., 2018). Ainda, de acordo com os autores, as partículas de solo que aportam nos recursos hídricos através do escoamento superficial, em grande parte são oriundas das áreas agrícolas geradas a partir da má utilização de práticas não conservacionistas (SILVA et al., 2018).

2.3.1 Preparo convencional

O sistema de preparo convencional do solo é constituído geralmente de uma aração e duas gradagens que tornam o terreno plano e, através disso, incorporam resíduos orgânicos no solo. O objetivo desta prática é aumentar a porosidade e a permeabilidade, facilitando a absorção de água no solo proporcionando, com isso, o bom desenvolvimento das plantas.

Esse sistema de cultivo é subsidiado através das tecnologias desenvolvidas para as regiões de clima temperado, que envolvem o revolvimento intensivo e

profundo do solo, sendo realizado com o emprego de arados e grades, tendo como principal fundamento a exposição do solo aos raios solares no período de primavera, visando o seu degelo e aquecimento, considerado uma condição imprescindível para o desenvolvimento das culturas de verão (DEBIASI et al., 2013).

Esse sistema de cultivo promove algumas alterações das propriedades e características físicas do solo, e a sua utilização é realizada para a melhoria no desenvolvimento das plantas. Contudo, geralmente, este tipo de cultivo, na maior parte das vezes, tem proporcionado degradação devido à utilização de práticas inadequadas (VITÓRIA et al., 2014). Em média, nestes sistemas, podem ser observados perdas anuais de solo, matéria orgânica e nutrientes em cerca de 50% a mais quando utilizado o sistema convencional comparados aos solos sem preparo, como em semeadura direta, destacando-se valores da ordem de 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ (ADIMASSU et al., 2019).

Os cultivos de usos intensivos podem provocar à perda da matéria orgânica, devido ao possível aumento da aeração do solo e exposição dos organismos em ambientes diferentes que favorecem a decomposição de resíduos orgânicos (TIAN et al., 2016). Em paralelo ao processo de degradação utilizado pelo uso intensivo do solo em sistema convencional, a perda da matéria orgânica reduz a qualidade química, física e biológica do solo.

2.3.2 Semeadura direta

Em contraposição ao sistema convencional, tem-se o sistema de semeadura direta, cujo termo é utilizado para definir um sistema de cultivo e manejo do solo no qual as culturas são semeadas sem preparo algum, determinando uma perturbação limitada do solo (menor que 5 cm), somente no sulco de semeadura (SOANE et al., 2012).

No sistema de semeadura direta devem ser mantidos pelo menos um terço da superfície do solo coberta com resíduos vegetais (BLANCO-CANQUI & RUIS, 2018). Este manejo busca auxiliar na proteção do solo contra o processo de erosão hídrica (PROSDOCIMI et al., 2016; BOGUNOVIC et al., 2018), promovendo e aumentando potencialmente o teor de matéria orgânica e conseqüentemente, a presença de microrganismos no solo (BOTTINELLI et al., 2015). Estudos propostos por Ivo et al. (2018) demonstraram que a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva reduz as perdas em 28 vezes. Logo, o processo de conservação no sistema

semeadura direta pode melhorar tanto as propriedades físicas, química e biológica do solo (SIMON et al.,2021), reduzindo os custos operacionais e as emissões de poluentes por máquinas agrícolas (VAN DE PUTTE et al., 2010).

3 Metodologia

3.1 Localização área de estudo

O experimento foi realizado no município do Capão do Leão, no estado do Rio Grande do Sul, localizado entre as latitudes 31°48'02" sul e longitude 52°29'44" oeste com 12 m de altitude a nível do mar. A condução do trabalho realizou-se em parcelas experimentais localizados na Estação Experimental do Centro Agropecuário da Palma (CAP), da Universidade Federal de Pelotas (Figura 1).

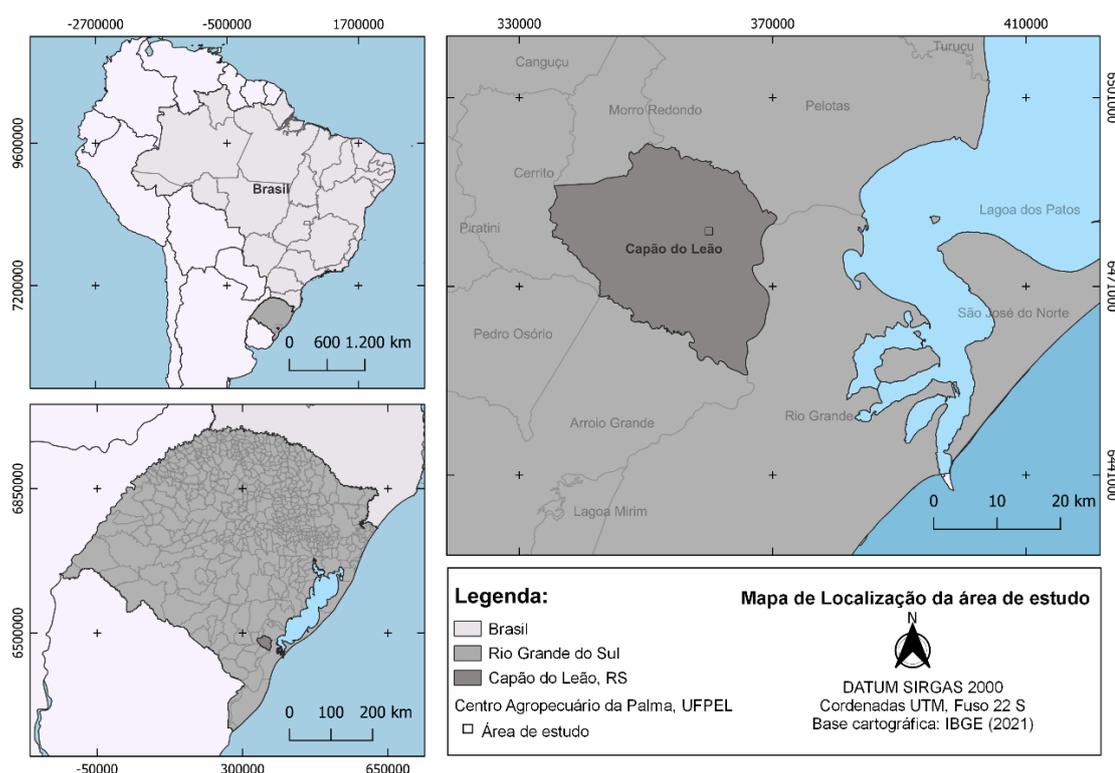


Figura 1 – Localização geográfica da área experimental no município do Capão do Leão - RS. Fonte: Autora.

A área experimental encontra-se na região fisiográfica da Encosta Sudeste do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado como Cfa (Clima temperado úmido com verões quentes), conforme a classificação climática de Köppen. A precipitação média anual, na região é de 1.385,6 mm (ALVARES et al., 2013). Os meses de fevereiro e julho apresentam as maiores médias mensais, com 189,7 e 129,5 mm, respectivamente, enquanto as menores médias mensais são de março e maio, com 90,6 e 99,3 mm, respectivamente (SANTOS, 2013). O solo de maior predominância da região do estudo é composto pela associação de Planossolo Háplico e Gleissolos (SANTOS et al.2018 corrigido de SEVERO, 1999).

3.2 Delimitação das parcelas para implantação dos sistemas de manejo

As parcelas foram delimitadas por chapas galvanizadas de 0,20 m de altura e espessura de 0,65 mm. Estas, por sua vez, foram enterradas a 0,10 m de profundidade no solo, ficando a 0,10 m acima de sua superfície. A área de cada parcela utilizada foi de 33 m², delimitada a partir das dimensões de 11 m x 3,0 m. As parcelas foram implantadas seguindo o sentido do declive em comprimento e largura, sendo separadas entre si por um espaçamento de 2,5 m (Figura 2).

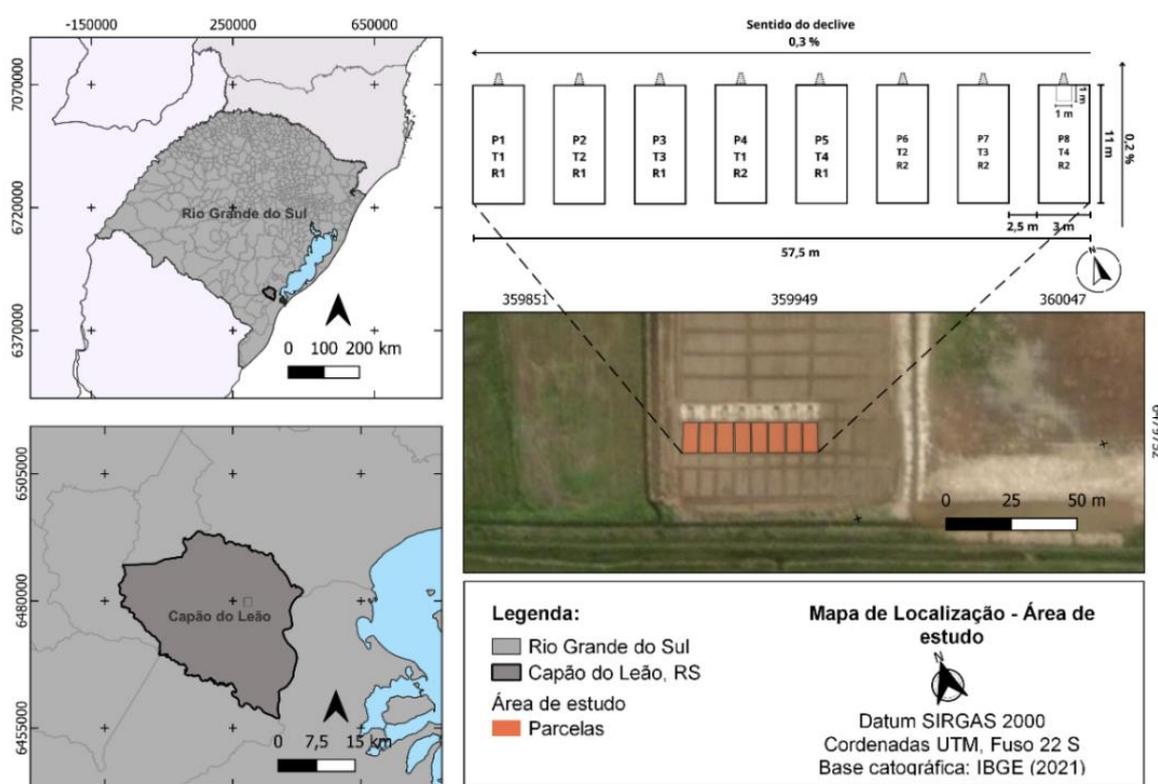


Figura 2 – Localização e delimitação das parcelas experimentais. Fonte: Autora.

A instalação das chapas para a delimitação das parcelas foi realizada após as operações de correção de pH, do preparo e semeadura de cada tratamento na safra 2020/2021, tendo sido conduzido os manejos das safras 2021/2022 e 2022/2023.

3.3 Histórico de preparo e cultivo da área até a safra 2022/2023

O preparo do solo da área experimental foi realizado com grade em 10/11/2021, para posterior implantação dos cultivos de verão. Na condução dos tratamentos do ano agrícola 2021/22, foi utilizada a cultivar de arroz IRGA 424RI. A semeadura do arroz foi realizada em 10/11/2021 e da soja em 20/11/2021.

Na data de 30/11/21 foi realizada a ressemeadura do arroz (semeadora em 9 linhas), para reduzir problemas de falhas de emergência.

Em 02/12/21 foi finalizada a montagem do experimento. Após, em 04/01/22 foi iniciada a irrigação da cultura do arroz. A colheita da cultura ocorreu em 20/04/22.

Em 01/07/22 foi realizada sementeira do Azevém (PGW Feroz). Em função da condição de saturação do solo e excesso de precipitação pluvial neste período, a cultura não se desenvolveu, necessitando de ressemeadura, a qual foi realizada em 26/07/22, aplicando-se a primeira parcela de adubação de N (na forma de ureia a 45%), P (na fórmula de P_2O_5) e K (na fórmula de K_2O), destes foi utilizado o adubo comercial de formulação 5-20-20.

Em 26/07/22 foi realizada adubação do solo nas parcelas com azevém, com a aplicação da 2ª parcela de ureia (45% de N), na recomendação de 180 kg ha^{-1} para o tratamento T3 e 160 kg ha^{-1} para o T4, reajustadas para a parcela padrão de 33 m^2 adotados em todos os tratamentos.

Os demais manejos adotados na área estão dispostos no apêndice I, explicados detalhadamente e disposto ao final desta dissertação.

3.3.1 Caracterização da área de estudo

Após a colheita das culturas da safra 2021/2022, foram realizadas as coletas das amostras de solo, conforme a recomendação do Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC, a fim de realizar a caracterização química do solo nos tratamentos.

Para a avaliação da fertilidade foram considerados os atributos químicos comumente empregados em análises de rotina: Matéria Orgânica, Capacidade de troca de Cátions, pH em água, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Mg e Al trocáveis (Tabela 1). Para estas avaliações, foram coletadas as amostras na camada de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m e levadas para os laboratórios de análises químicas e físicas do solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPEL).

Tabela 1. Caracterização de fertilidade do solo sobre as áreas manejadas em semeadura direta, preparo convencional e pousio. Palma UFPEL – Pelotas, RS. 2022.

Trat.	Camada m	MO %	pH H ₂ O	P -- mg/dm ³ --	K	Ca	Mg	Al	CTC
T1	0,00-0,10	0,83	5,30	2,20	18,0	2,60	1,90	0,70	8,30
	0,10-0,20	1,11	5,45	3,80	28,0	2,60	1,50	0,30	6,80
T2	0,00-0,10	0,83	5,50	3,30	16,0	2,50	1,60	0,60	7,40
	0,10-0,20	1,10	5,45	3,80	22,0	2,70	1,40	0,30	6,80
T3	0,00-0,10	0,90	5,45	2,80	13,0	2,20	1,50	0,50	6,60
	0,10-0,20	1,04	5,40	4,90	22,0	2,60	1,30	0,30	6,60
T4	0,00-0,10	0,90	5,40	2,20	17,5	2,10	1,20	0,60	6,90
	0,10-0,20	1,24	5,70	8,20	33,0	3,10	1,70	0,20	7,20

Legenda: Trat – Tratamento; T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro tratamentos e duas repetições. Foram adotados diferentes usos e manejos de solo utilizados nas áreas de terras baixas, visando identificar os impactos destes diferentes sistemas relacionados aos atributos de solo e perdas de sedimento e água. A condução do estudo se deu pelas seguintes divisões dos tratamentos:

T1 – Pousio conduzido com vegetação espontânea;

T2 – Plantio convencional conduzido em monocultivo de arroz irrigado e pousio no inverno;

T3 – Semeadura direta conduzido com o arroz irrigado em sucessão com trevo e azevém no inverno; e

T4 – Semeadura direta conduzido com arroz irrigado em rotação com a soja e com cultivo de azevém no inverno.

A escolha das plantas de cobertura utilizadas para o experimento se deu a partir do uso e cultivo de culturas cultivadas em terras baixas no sul do Rio Grande do Sul, onde foram trabalhados nos cultivos de inverno; Trevo persa (*Trifolium resupinatum* L.) e Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e verão; Soja (*Glycine max* L. Merrill) e Arroz (*Oryza sativa* L.), sob a previsão antecedente de duas safras e, a terceira, utilizada para a geração de dados a partir das coletas (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição de tratamentos e seus respectivos sistemas de preparo de solo, com planejamento de três safras.

Trat	Sistemas de cultivo	Safr					
		2020/2021		2021/2022		2022/2023	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
T1	Pousio	Espon	Espon	Espon	Espon	Espon	Espon
T2	Convencional	Arroz	Espon	Arroz	Espon	Arroz	Espon
T3	Direto	Arroz	Trevo	Arroz	Azevém	Arroz	Trevo
T4	Direto	Arroz	Azevém	Soja	Azevém	Arroz	Azevém

Legenda: Espon= vegetação espontânea; Trat = Tratamentos. T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

3.4 Aplicação de chuva simulada

Foram aplicadas chuvas simuladas nas parcelas experimentais, por meio de um simulador de chuvas portátil, seguindo princípios de funcionamento semelhantes aos descritos por Meyer & Harmon (1979), Souza (2004) e Faria-Júnior (2013), utilizando o bico aspersor tipo VeeJet 80-150, que fica a 3 m de altura, para proporcionar a velocidade adequada de queda das gotas (MEYER & HARMON, 1979). Este bico atua em uma pressão de 41 kPa, monitorada por um manômetro, e impulsionada por uma motobomba centrífuga e elétrica de 1/3 CV (Figura 3).



Figura 3. Simulador de chuvas portátil, calibrado, com bico aspersor Veejet 80-100. Fonte: Faria Júnior et al. (2013).

A chuva simulada foi aplicada na segunda semana de outubro de 2022, após o preparo de solo e em período de pré-semeadura do arroz irrigado, referente à safra

de verão 2022/2023. As coletas ocorreram a partir do início do escoamento superficial, com duração adotada para a coleta de 20 minutos. A chuva simulada foi realizada em todas as parcela e suas respectivas repetições, tendo suas coletas realizadas em potes plásticos de 750 mL.

A precipitação média utilizada para calibrar o simulador foi de 60 mm/h, adotada considerando a curva de intensidade, duração e frequência (IDF) para Pelotas, para um período de retorno de 10 anos (DORNELES et al., 2019). A intensidade da precipitação foi monitorada e calculada a partir da distribuição de 6 Becker's de 500 ml em uma parcela de 1 m², em um período de 15 minutos (Figura 4).



Figura 4. Distribuição dos beckers para calibração e coleta de chuva simulada em parcela de 1 m², localizado na estação experimental agrônômica Palma-UFPel, Capão do Leão-RS. Fonte: Autora.

Para calibrar o simulador foi utilizada a seguinte equação apresentada por Faria-Júnior et al. (2013), com testes de 5, 10 e 15 min.

$$I = \left[\frac{V}{S \cdot T} \right] \cdot 60 \quad (1)$$

Em que,

I = intensidade, em mm h⁻¹;

V = volume coletado, em litros;

S = área da boca do coletor, em m²;

T = tempo de coleta, em minutos.

3.5 Coleta de amostras do escoamento superficial

Para as coletas da enxurrada, sob o uso de chuva simulada através do simulador portátil, foi delimitado um quadrado de 1 m², por meio de chapas galvanizadas enterradas no solo a 0,10 m de profundidade com as mesmas especificações da implantação da parcela maior. O simulador foi instalado próximo à parte inferior da parcela, para onde era conduzido o escoamento superficial (enxurrada) decorrente da chuva simulada. Na parte inferior de cada parcela foi instalada uma calha coletora que conduzia, por gravidade, o escoamento superficial, conforme a Figura 5.



Figura 5. Parcela delimitada para a coleta de enxurrada para determinação de perda de sedimento e água. Estação experimental agrônômica da Palma-UFPel, Capão do Leão-RS. Fonte: Autora.

Todo o material erodido, gerado a partir do escoamento superficial, foi coletado por potes plásticos de 750 ml, previamente identificados e pesados. O período da coleta foi dado a partir do momento em que foi verificado o início do escoamento superficial e, à medida que foram realizadas as coletas, as amostras foram armazenadas nos potes, vedadas com tampa e levadas para laboratório para posteriores avaliações.

3.6 Determinações da física do solo nos tratamentos

3.6.1 Granulometria do solo

A granulometria do solo foi determinada a partir do método da pipeta, conforme a metodologia descrita pela Embrapa (2017). Esta determinação foi realizada a partir

das amostras coletadas no dia 06 de junho de 2022 conjuntamente com o material de solo utilizado para análise de fertilidade.

A amostragem foi realizada nos 4 tratamentos e suas respectivas repetições, sendo realizadas nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m. Estas amostras foram retiradas do campo e levadas para análise no laboratório de Física do Solo da FAEM - UFPEL. Para a obtenção dos teores de areia, silte e argila e para a obtenção dos resultados, utilizou-se das seguintes equações:

$$\text{Areia total (g} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{\text{areia} \cdot 1000}{20} \quad (2)$$

$$\text{Silte (g} \cdot \text{kg}^{-1}) = 100 - (\text{argila} + \text{areia}) \quad (3)$$

$$\text{Argila total (g} \cdot \text{kg}^{-1}) = \left[\frac{(\text{PRargila} - \text{disp}) \cdot 40}{20} \right] \cdot 1000 \quad (4)$$

Em que,

PRargila = peso residual da argila, em g kg⁻¹;

disp = peso do dispersante, em g kg⁻¹;

40 = a alíquota é 40 vezes menor do que o volume total da amostra na proveta (1000 mL);

20 = correspondente à TFSE, em g;

1000 = considerando a proporção de argila em 1000g (1kg).

A classificação da textura do solo em cada tratamento seguiu o diagrama textural do Sistema Norte Americano de Classificação do tamanho das partículas, adotado pela SBCS (SANTOS et al., 2015).

3.6.2 Densidade do solo, umidade volumétrica, densidade de partícula e porosidade total

A densidade do solo (D_s), umidade volumétrica (θ), densidade de partícula (D_p) e porosidade total (P_t) foram determinadas pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2017), onde foi feita a coleta de uma amostra indeformada de solo em anel volumétrico, cujo volume é conhecido. Estas foram coletadas no mês 23 de novembro de 2022, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 m.

Para a D_s , o anel utilizado apresentava 0,05 m de altura, portanto, a coleta foi retirada na porção intermediária das camadas. Para a obtenção dos dados foi utilizado a seguinte equação:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (5)$$

Em que,

D_s = Densidade do solo, em kg m^{-3} (equivalente a g cm^{-3});

m_a = massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante, em g;

V = Volume do cilindro, em cm^3 .

A umidade volumétrica (θ) foi determinada da mesma amostra de D_s , a partir do peso do anel com solo úmido e seco. Foi retirado a tara do anel e, através do paquímetro, suas medidas de diâmetro interno e altura para o cálculo do volume do anel (V). As seguintes equações foram utilizadas:

$$\theta = \frac{m_{su} - M_{ss}}{V} \quad (6)$$

Em que,

θ = umidade volumétrica, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

M_{su} = Massa do Solo úmido, em kg;

M_{ss} = Massa do solo seco, em kg;

V = volume da amostra, em m^3 .

E,

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (7)$$

Em que,

V = volume do anel, em m^3 ;

π = valor de PI, aqui utilizado pela fórmula de 3,1416;

r^2 = raio do anel, em m;

h = altura do anel, em m.

A densidade de partícula (D_p) foi determinada pelo picnômetro conforme o manual da EMBRAPA (2017). Utilizando-se da seguinte equação:

$$D_p = \frac{d_a \cdot (m_{p+s} - m_p)}{[(m_{p+s} - m_p) - (m_{p+s+a} - m_{p+a})]} \quad (8)$$

Em que,

D_p = densidade de partículas para a amostra, em kg dm^{-3} ;

d_a = densidade da água corrigida para a temperatura no momento da análise, em kg dm^{-3} ;

A densidade da água pura, em kg dm^{-3} em função da temperatura foi de $23\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,99754$, temperatura esta observada nas amostras;

m_{p+s} = massa do conjunto picnômetro + amostra de solo seca (TFSE), em g;

m_p = massa do picnômetro limpo e seco, em g;

m_{p+a} = massa do conjunto picnômetro + água deionizada e desaerada, em g;

m_{p+s+a} = massa do conjunto picnômetro + amostra seca (TFSE) + água deionizada e desaerada, em g.

A porosidade total foi calculada através do método indireto usando-se os volumes da densidade do solo (D_s) e densidade de partícula (D_p), obtida pela equação:

$$P_t = \left[\frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right] \quad (9)$$

Em que,

P_t = porosidade total, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

D_p = densidade de partículas sólidas do solo, dada em kg dm^{-3} .

D_s = densidade do solo, dada em kg dm^{-3} .

3.6.3 Umidade gravimétrica (CGA)

No momento da coleta, realizou-se uma amostragem sobre a umidade atual a fim de representar o conteúdo de água presente no momento da aplicação realizada em cada parcela. A sua determinação orientou-se a partir das indicações da EMBRAPA (2017), sendo retirada a amostragem na camada 0,00 a 0,10 m e colocadas em latas sob vedação. Ao chegarem ao laboratório, obtinha-se o peso da amostra em sua umidade atual e após, eram transferidas para a estufa a 105°C em um período de 24 horas para obter-se o peso da amostra seca. A sua determinação se deu pela seguinte equação;

$$CGA = \left(\frac{a - b}{b} \right) \quad (10)$$

Em que,

CGA = conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em g g^{-1} ;

a = massa da amostra úmida, em g;

b = massa da amostra seca a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante, em g.

Para a determinação da massa de água presente na amostra de solo nas parcelas experimentais foram realizadas seis coletas de amostras de solo, em zigue-zague em cada parcela. As amostras de solo coletadas foram realizadas no dia e na hora da aplicação da chuva simulada e da realização da coleta da enxurrada, tendo sido feitas nos dias 07 e 10 de dezembro de 2022 e, após a coleta, acondicionadas em uma lata de alumínio previamente identificada. Após a coleta, a lata com o solo foi vedada e levada para laboratório.

Ao chegar no laboratório, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,001 g), obtendo-se a massa de solo úmido mais recipiente e posterior, levado a estufa sob a temperatura de 105° C, por um período de 24h, para a obtenção do peso da amostra seca mais recipiente. Para o cálculo da umidade gravimétrica pesou-se a lata e foi descontado da amostra de solo. A metodologia adotada para a obtenção destes resultados seguiu o proposto pela Embrapa (2017).

3.6.4 Resistência mecânica do solo à penetração

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP), foi realizada no dia 23 de novembro de 2022, através de penetrômetro de impacto de modelo IAA/Planalsucar-Stolf, adotando a metodologia proposta por Stolf (1991), onde se considerou a profundidade após o 1º impacto, gerando camadas de 0,05m cada, até a profundidade de 0,50m.

Os resultados de resistência mecânica à penetração foram obtidos por meio da seguinte equação sugerida por Stolf (1991);

$$RP(kgf\ cm^{-2}) = 5,6 + 6,89 \cdot N \quad (11)$$

Em que:

RP = resistência mecânica do solo à penetração de raízes, em kgf cm⁻²;

N = impactos por decímetro para o curso do cilindro de 40 cm.

3.7 Determinação das perdas de solo e água

O material coletado da enxurrada de cada parcela ocorreu em 07 e 10 e outubro e levadas ao laboratório ao final do dia. Após chegar no laboratório de Física do departamento de Solos da UFPEL FAEM, foi submetido à pesagem dos potes com água mais sedimento e realizado a quantificação de volume total através da homogeneização do material em um Becker de 4000 ml. Após os 20 minutos de coleta de material, o volume total coletado de todos os tratamentos não ultrapassou 5 L. Este

mesmo material que foi levado ao laboratório e medido o volume, foi transferido novamente para os potes e separados para a quantificação do material erodido.

Para as determinações de perda de sedimento e água, foram separados, do total coletado, 3 potes de plástico de 750 ml cada, pesados previamente em balança de precisão 0,001g. Estes, por sua vez, permaneceram em repouso por 48 horas para decantar o solo coletado e posterior o período de espera, com o auxílio de uma seringa plástica, feito o sifonamento da água do sobrenadante, sendo levados, posteriormente, para a estufa de temperatura média de 60° C por um período de 4 dias para obtenção do total de sedimento erodido.

Posteriormente, foi realizado o cálculo da concentração de sedimentos, subtraindo a massa de sedimento total gerada pela enxurrada pela massa da mistura água e sedimento. Este material foi expresso na concentração de sedimentos por peso (kg kg^{-1}), tendo-se admitido a mesma relação expressa com base em volume, dada por L.L^{-1} , assumindo que, 1 kg de água equivale a 1 L de água.

3.8 Determinação de perdas de nutrientes

As amostras, de imediato que chegavam aos laboratórios, foram filtrados em papel filtro de 0,45 μm e separados para a análise do material dissolvido em água e no sedimento que ficou retido. O material dissolvido, ou seja, a água da enxurrada, quando não eram analisadas no mesmo dia, foram levadas ao freezer para posterior análises após o descongelamento, realizados de um dia para o outro.

O sedimento retido no filtro ficou expostos ao ar livre para a secagem do material que se realizou em 48 horas. Após esse processo, foi realizado uma raspagem do material seco retido no filtro e a maceração e pesagem em balanças 0.0001g. Para as determinações de nutrientes no solo (fração particulada) foram realizadas em quantidades menores de solo diferentes da fração recomendadas para as análises químicas segundo Tedesco et al. (1995) e reajustadas para os cálculos para a obtenção dos resultados. A decisão foi tomada devido à baixa produção de sedimento no evento de chuva simulada.

3.8.1 Análises químicas

Os valores de pH e condutividade elétrica (CE) foram obtidos a partir da utilização de um pHmetro portátil, modelo *Multi parameter* retirados no momento das coletas. No campo, simultaneamente a realização das coletas, retirou-se três potes

de 80 ml de obtidas em cada parcela que foram acondicionadas no local em uma caixa térmica e levadas ao laboratório após a coleta. Estas, por sua vez, eram refrigeradas em temperatura -4°C para posterior análise de nitrogênio, tendo sido realizada no dia seguinte para evitar possíveis perdas.

Para as determinações de nitrogênio, as amostras dos potes foram retiradas do freezer e deixadas a temperatura ambiente até o descongelamento. Após, foram determinados os teores de NH_4^+ e NO_3^- , por meio de destiladores do tipo Microkjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). Foram retiradas das amostras para a obtenção dos teores de NH_4^+ , 20 mL de cada subamostra homogeneizada, adicionadas em tubos de digestão em triplicata e, após, foram adicionados 0,2 g de MgO e destilando-se ± 35 mL, tendo o destilado coletado em recipiente contendo 5 mL de indicador ácido bórico.

Para a obtenção dos teores de NO_3^- foi adicionado 0,2 g de liga metálica de varda no mesmo tubo, após a destilação com MgO, e a amostra novamente destilada, tendo seu extrato coletado em um recipiente contendo 5 mL de indicador ácido bórico. Os extratos que foram obtidos foram titulados com H_2SO_4 com $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ deste mesmo ácido padronizado. Para o cálculo de mg L^{-1} de N nos destilados, foi utilizada a equação:

$$N(\text{mgL}^{-1}) = \{H_2SO_4\text{am.} - H_2SO_4\text{br.}\} \cdot eqN \left[\frac{1000}{20} \right] \quad (12)$$

Em que,

H_2SO_4 am. = volume de H_2SO_4 gasto na amostra, em ml;

H_2SO_4 br = volume de H_2SO_4 gasto no branco, em ml;

eqN = equivalente de N na amostra para cada mL de H_2SO_4 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ gasto;

$1000/20$ = valor para determinação de N em 1 litro.

Os teores de P dissolvido do material da enxurrada coletado e separados pelo filtro, foram determinados por colorimetria, conforme método descrito por Murphy; Riley (1962) e os teores de K e Na foram determinados em fotômetro de chama.

Para os teores de P, K e Na do particulado, ou seja, do solo que ficou retido no processo de filtragem e seco ao ar foi obtido a partir da metodologia de Tedesco et al. (1995) por extração de Mehlich-1.

Os teores totais disponíveis de P, K e Na, foram determinadas a partir da soma das médias dos teores dissolvidos e dos teores particulados.

As mesmas determinações foram aplicadas à água utilizada para a aplicação de chuva simulada. Estas mesmas foram utilizadas para subtrair o que foi inserido no evento de chuva simulada.

3.9 Análise estatística

A análise estatística foi realizada por meio de testes de comparações múltiplas de médias entre as repetições de cada tratamento. Foi utilizado o software R (R CORE, 2022) para avaliar as diferenças significativas entre as médias por meio da análise de variância entre tratamentos. Para as diferenças significativas, foi utilizado o teste de Tukey em nível de significância de 0,05.

4 Resultados e discussões

4.1 Caracterização granulométrica

Os dados obtidos deste estudo sobrevieram da coleta no final da safra 2022/2023 imediatamente após a colheita. As amostragens de solo foram utilizadas para a determinação da granulometria do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 3).

Tabela 3. Composição granulométrica e classificação textural do solo nos diferentes tratamentos, nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 – 0,20m.

Tratamento	Camada m	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Classe textural do Planossolo
T1	0,00-0,10	501,79	441,10	57,11	Franco arenoso
	0,10-0,20	517,01	428,21	54,78	Franco arenoso
T2	0,00-0,10	552,95	378,05	69,00	Franco arenoso
	0,10-0,20	536,28	413,11	50,61	Franco arenoso
T3	0,00-0,10	554,35	396,61	49,04	Franco arenoso
	0,10-0,20	557,56	364,59	77,85	Franco arenoso
T4	0,00-0,10	573,40	343,00	83,60	Franco arenoso
	0,10-0,20	564,59	368,09	67,32	Franco arenoso

Não houve diferença estatística pelo teste de Tukey a $p > 0,05$ entre os tratamentos.

T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Sobre a distribuição do tamanho de partículas, as frações areia e silte apresentaram os maiores teores em todos os tratamentos, característicos das áreas de Planossolos da região de Pelotas (Unidade Pelotas). Conforme o enquadramento no triângulo textural proposto por Santos et al. (2015), a classe que predominou no solo dos tratamentos é a franco arenosa.

Para Streck et al. (2018), os Planossolos no RS apresentam-se mais arenosos em superfície, o que favorece a drenagem da camada superficial quando ocorre o encharcamento dos solos, porém a pouca ou nenhuma declividade tende a dificultar o processo de retirada da água do sistema.

4.2 Densidade do solo, umidade volumétrica, densidade de partículas e porosidade total

Para os atributos estudados, quando aplicada a análise de variância sobre a camada de cada tratamento, verificou-se que não houve diferença significativa entre eles, mostrando que para identificar uma possível modificação destes atributos, em

ambas as camadas, é necessário o acompanhamento dos tratamentos por um período maior de tempo.

Tabela 4. Caracterização de densidade do solo (D_s), densidade de partícula (D_p), umidade volumétrica (θ) e porosidade total (P_t), nas diferentes camadas e entre os tratamentos.

Tratamento	Camada	D_s	D_p	θ	P_t
	m	---- kg m ⁻³ ----		---- m ³ m ⁻³ ----	
T1	0,00-0,10	1,64	2,51	0,3521	0,5305
	0,10-0,20	1,75	2,48	0,2982	0,4171
T2	0,00-0,10	1,64	2,56	0,3119	0,5610
	0,10-0,20	1,78	2,61	0,2631	0,4663
T3	0,00-0,10	1,65	2,55	0,3069	0,5454
	0,10-0,20	1,77	2,63	0,2723	0,4859
T4	0,00-0,10	1,61	2,52	0,3373	0,5652
	0,10-0,20	1,81	2,56	0,2654	0,4144

T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas. *Para cada camada, não houve diferença estatística pelo teste de Tukey a $p > 0,05$ entre os tratamentos.

De forma geral, houve pequenas modificação nos valores referentes às propriedades físicas do solo avaliados entre as camadas para cada tratamento (Tabela 9). Sobre os resultados obtidos, quando comparados os valores de D_s entre camadas, verifica-se que existe uma tendência de aumento na camada de 0,10 a 0,20 m de todos os tratamentos, sugerindo a formação de uma camada compactada nesta profundidade. Conforme Bagio (2020), a densidade do solo é um dos parâmetros mais importantes entre os manejos, pois interfere no desenvolvimento radicular e, conseqüentemente no desenvolvimento vegetativo das plantas.

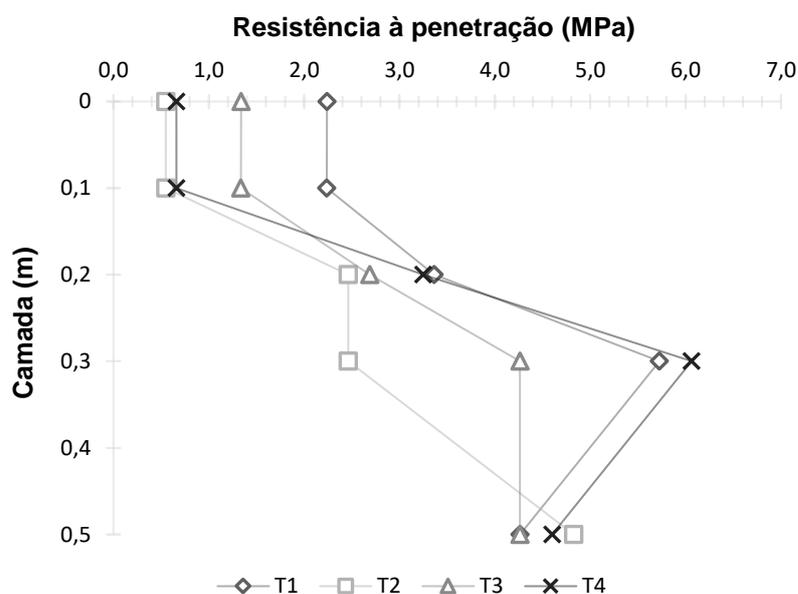
Ao avaliar a D_s , comparando com a θ , verifica-se uma relação de resposta inversa, ao passo que, na camada de 0,0 a 0,10 m, a densidade do solo é menor e a umidade volumétrica maior. De forma geral, a umidade volumétrica apresentou os maiores valores até 0,10 m, demonstrando que ocorre uma camada de solo abaixo desta profundidade que reduz a infiltração da água.

Os valores de P_t foram mais baixos nas camadas de até 0,20 m. Esses dados estão em consonância com a pesquisa conduzida por Andrade & Stone (2009), que compilaram informações de diversos estudos sobre diferentes classes texturais. Nesse contexto, foram identificados valores mínimos de P_t para solos de textura franco arenosa na faixa de 0,40 a 0,49 m³ m⁻³, corroborando com as observações

obtidas para a área de estudo. Esses valores de Pt superam os limiares críticos de 0,10 e 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ mencionados por Watanabe et al. (2002), considerados limitantes para o crescimento e produtividade da maioria das culturas. No entanto, segundo os autores, esses limites variam conforme a espécie cultivada, o regime de umidade e a atividade biológica no solo.

4.3 Resistência mecânica do solo à penetração e umidade inicial

Ao analisar a figura 6, observa-se a ocorrência de um aumento dos valores da resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,10-0,20m, mais notadamente no solo sob pousio (T1), seguidos do sistema semeadura direta (T4) e tendo menor RP o sistema convencional (T2), cujos resultados podem ter sofrido influência devido ao efeito residual da safra 2021/2022, realizado o preparo anterior. Figura 6. Valores médio de resistência mecânica à penetração até a profundidade de 0,50 m em diferentes tratamentos.



T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Observa-se ainda que, nos primeiros 0,10 m de profundidade, os tratamentos T2, T4 e T3 apresentaram comportamentos semelhantes quando comparado ao T1. A resposta da RP dada ao tratamento T1 deve-se ao surgimento de uma camada compactada, devido a interação dos períodos de umedecimento do solo e secagem em grande parte do período de estudo e também ao não revolvimento do solo que,

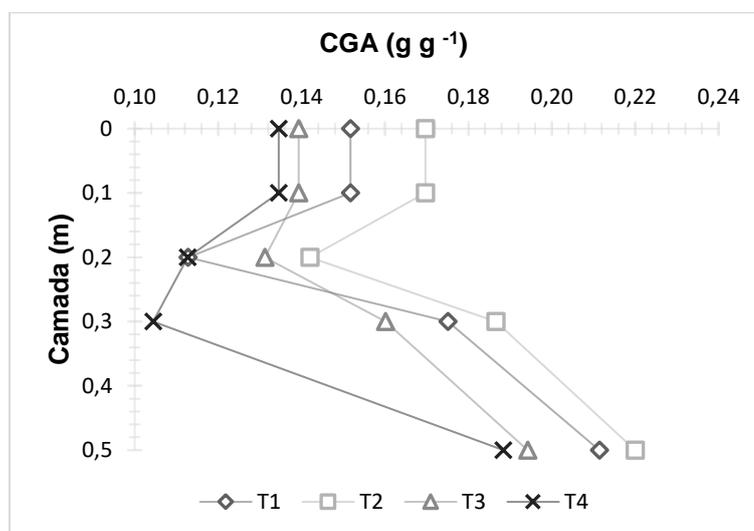
sob o estresse hídrico que encontrava-se na maior parte do período de estudo, reduzia a presença do surgimento de plantas espontâneas nas parcelas, favorecendo a exposição da sua superfície às ações de intempéries climáticas no período de pousio.

As camadas superiores de 0,05 a 0,10 m apresentaram uma RP menor, porém as camadas de 0,15 a 0,25 demonstraram RP próxima ou superior a 2 Mpa, valor considerado crítico ao desenvolvimento de culturas anuais (IMHOFF et al., 2000). Porém, esse valor é relativo em diversos estudos e seus distintos manejos, como verifica-se em um estudo proposto por Moraes et al. (2014), que consideram o valor limitante de 2 Mpa de RP para o sistema de preparo convencional e de 3,5 Mpa para o sistema semeadura direta, classificando ainda como limite de compactação o valor de 3,5 Mpa.

Os diferentes sistemas de cultivo influenciaram diretamente na resistência mecânica do solo à penetração, crescendo de forma mais acentuada nas camadas de 0,10 a 0,20m, que representa a camada arável do solo e onde as plantas desenvolvem a maior parte das suas raízes (Figura 7). Estes resultados podem indicar a existência de um pé-de-grade nesta região em todos os tratamentos, cujos valores máximos coincidem com os obtidos por Pedrotti et al. (2001) em um estudo realizado em um Planossolo. A partir destas avaliações, verifica-se que há maior resistência mecânica à penetração nas camadas intermediárias de 0,10 a 0,20m do Planossolo em estudo, o que pode restringir o crescimento radicular das culturas sob os sistemas de manejos.

A aplicação do teste de variância sobre os teores de umidade inicial do solo demonstrou não haver diferença significativa a $p > 0,05$ nos tratamentos, quando comparados entre as camadas. Entretanto, o tratamento T2 quando comparado aos demais tratamentos, demonstrou maior umidade em todas as camadas, e o T4 expressando as menores médias de umidade em relação aos demais tratamentos, principalmente abaixo da camada de 0,30m, isto quando comparado aos demais, conforme pode ser observado na figura 7.

Figura 7. Umidade gravimétrica (CGA) do solo obtida no momento de determinação da RP.



T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Verifica-se uma tendência de redução da umidade nas camadas de 0,10 a 0,20 em todos os tratamentos, com pouca redução de T3, porém nas camadas mais profundas, de 0,30 a 0,50 m, ocorreu um aumento na umidade do solo em todos os tratamentos. Esta resposta pode ser dada pela proximidade destas camadas mais profundas junto ao lençol freático e o aumento da retenção de água em profundidade. Todavia, na camada de 0,10 a 0,20m, o sistema que apresenta a maior umidade foi o T2, cujo revolvimento do solo é feito todos os anos. Esta ação mecânica possibilita a aeração do solo, além de reduzir os problemas de compactação na profundidade de até 0,20 m onde é empregada a ação da grade. Entretanto, esse comportamento é efêmero, pois com o passar do tempo e pela ação das chuvas, o solo volta a compactar e restringir a infiltração da água.

4.4 Perdas de solo e água

As coletas de enxurrada obtidas a partir do evento de chuva promovido pelo simulador, em pré-semeadura, foram realizadas em cada tratamento com o intuito de identificar os parâmetros relacionados às perdas por escoamento superficial do material erodido. Ao aplicar-se a análise de variância sobre a de intensidade de precipitação (I_p) e perda de água, não se encontrou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Porém, quando avaliados os índices de início de

escoamento, umidade inicial do solo e perda de solo, verificou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$), portanto, aplicou-se o teste de tukey_{0,05} (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de intensidade de precipitação (Ip), início do escoamento superficial, umidade atual, perda de água e perda de solo, nos diferentes sistemas de manejo adotados.

Trat	Ip (mm h ⁻¹)	Início do escoamento (min)	Umidade atual (g g ⁻¹)	Perda de água (L ha ⁻¹ h ⁻¹)	Perda de solo (Kg ha ⁻¹ h ⁻¹)
T1	62,86 ^{ns}	18'26" a	0,16 b	11,00 ^{ns}	104,32 b
T2	60,46 ^{ns}	23'30" a	0,24 a	7,16 ^{ns}	319,66 a
T3	55,59 ^{ns}	6'42" b	0,22 a	10,52 ^{ns}	20,20 b
T4	50,03 ^{ns}	7'39" b	0,21 ab	11,87 ^{ns}	21,48 b
CV(%)	8,12	15,38	6,22	18,30	36,25

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey_{0,05}. T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

A partir da tabela 5 se observa que os valores médios de tempo de início do escoamento superficial apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, indicando que, quando submetidos a um evento de chuva, os tratamentos apresentaram comportamentos diferentes, estando com ou sem a utilização de cobertura vegetal. A partir disso, verificou-se que o tratamento T2 retardou o escoamento por um período maior, pois a aplicação da chuva foi realizada após o preparo do solo, tendo sido realizado um dia antes da coleta (06 de outubro de 2022). Este manejo prévio, anterior à aplicação da chuva simulada, resultou em aumento temporário da rugosidade superficial, auxiliando na retenção e infiltração da água, até o momento da completa saturação do solo, onde se verificou o início ao escoamento superficial.

Conforme Panachuki et al. (2010), essa rugosidade formada pelo revolvimento do solo influencia diretamente na retenção e infiltração da água no solo, pois eleva a capacidade de armazenamento depressional da água na superfície e, com isso, diminui o escoamento superficial. Porém, a rugosidade pode ser modificada pelos mesmos processos quando submetidos a sucessivos eventos de chuva erosiva, bem como a formação, através do impacto da chuva, da formação de selamento superficial. Ainda, sobre o tratamento T2, verificou-se que este apresentou a maior umidade

anterior à aplicação da chuva simulada. Verificou-se também que, além do tratamento T2, os tratamentos T3 e T4 demonstraram um comportamento semelhante.

O tratamento T1, por sua vez, apresentou a menor umidade atual no momento de aplicação da chuva, demonstrando que pode ter ocorrido influência da presença de selamento superficial, reduzindo a taxa de infiltração inicial e aumentando o período de saturação do solo. Esta resposta pode ser também por conta da falta de cobertura, uma vez que, havendo a barreira vegetal, a ação da chuva na superfície do solo pode gerar o retardo no escoamento superficial, como é observado nos tratamentos T3 e T4, onde se verificou menor tempo de início do escoamento.

Ao longo do tempo, os cultivos sem cobertura podem favorecer o selamento superficial, diminuindo sua capacidade de retenção e infiltração da água no solo (BAGIO, 2020). A falta de cobertura pode definir a magnitude da ação da chuva na superfície do solo, como pode ser observado nos valores de perdas de solo e água, pois no tratamento T1, mesmo com baixa umidade no momento da coleta, ocorreu a terceira maior perda de água e a segunda maior perda de solo na enxurrada.

Nos tratamentos T3 e T4, o início do escoamento ocorreu em um período mais curto de tempo, quando comparados aos demais, demonstrando que a ação da cobertura vegetal reduz a ação da chuva, evitando a desagregação do solo e acelerando o processo de escoamento da água sob a superfície. Os manejos sob semeadura direta caracterizam-se por manter a superfície do solo estruturada e protegida pelos resíduos vegetais diminuindo a rugosidade superficial (COGO, 1981), em virtude disso, estes manejos tendem a apresentar maior eficácia no controle das perdas de solo (ZANGISKI et al., 2018) e menor no controle da perda de água (Bertol et al., 2007), haja visto que, neste estudo o uso das coberturas nestes sistemas reduziram possíveis perdas de solo sob superfície e, mesmo em uma condição com baixa declividade, auxiliaram no deslocamento da água para locais de menor declividade e possivelmente, com baixa velocidade de escoamento.

Conforme é observado, as perdas de água foram maiores quando a umidade se encontrava maior nos tratamentos T4, T3 e T1, tendo este apresentado a menor umidade inicial comparado aos demais. Estudos abordam que, a falta de cobertura no solo reduz a manutenção da umidade que, conforme Vieira et al. (2020), contribui significativamente para a redução da temperatura do solo e afeta significativamente na amplitude térmica do solo.

Considerados os demais tratamentos, o sistema de manejo adotado em preparo convencional (T2) apresentou maior umidade inicial no momento da coleta, o que pode estar relacionado com a desagregação da superfície do solo pelo revolvimento, aumentando temporariamente os espaços porosos, reduzindo a compactação superficial do solo e favorecendo, na camada de 0,0 a 0,10 m, maior retenção da água no solo. Neste mesmo tratamento, ocorreram menores perdas de água, porém houve uma relação inversa quando comparado com as perdas de solo, corroborando com o estudo de Suzuki et al. (2021).

Conforme Bagio (2020), os tipos de preparos mecânicos aplicados ao solo podem modificar a rugosidade, a densidade e a porosidade próximo da superfície do solo, assim como a própria cobertura do solo que atua fortemente na infiltração de água no solo e, conseqüentemente o escoamento superficial. Ainda, segundo a autora, o resíduo cultural dissipa a energia cinética das gotas da chuva quando estas chegam à superfície, reduzindo ou impedindo a desagregação e o transporte do solo, o que pode ser observado nos resultados obtidos para os tratamentos T3 e T4, que sob o uso de cobertura vegetal, apresentaram as menores perdas de solo sob chuva simulada.

Nos tratamentos T1 e T2 ocorreram as maiores perdas de solo, quando comparados aos tratamentos T3 e T4. Isso ocorre pela falta de cobertura e conseqüente exposição da superfície do solo à ação do impacto da gota da chuva, causando a desagregação e transporte das partículas de solo por salpicamento e pelo escoamento superficial. Os resultados obtidos a partir das coletas corroboram com os estudos produzidos por Guadagnin et al. (2005), Kaufmann et al. (2014) e Suzuki et al. (2021), mesmo em classes de solos diferentes da analisada no presente estudo. Estes resultados demonstram o grande potencial da adoção de manejos conservacionistas para a redução das perdas de solo e, conseqüentemente, para garantir a maior sustentabilidade das áreas agrícolas.

Contudo, ainda persiste o desafio de redução da compactação e das perdas de água nesses sistemas, o que pode ser obtido por meio da adequada rotação de culturas, associada ao mínimo revolvimento do solo e manutenção permanente de cobertura superficial.

4.5 Análise química da enxurrada

4.5.1 Condutividade elétrica e pH

Dos valores de pH e condutividade elétrica (CE) obtidos a partir da análise feita no momento da enxurrada, observou-se que houve diferença significativa a $p < 0,05$ somente para a CE (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de pH e Condutividade elétrica (CE) obtidos na água da enxurrada.

Tratamentos	pH		CE	
	-----	H ₂ O -----	-----	$\mu\text{S cm}^{-1}$ -----
T1		6,91	0,71	a
T2		6,63	0,56	b
T3		6,97	0,63	ab
T4		7,03	0,72	a
CV(%)		2,10	15,80	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey $_{0,05}$. T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Os valores de pH da água na enxurrada, mesmo não sofrendo diferença significativa entre as médias, se apresentaram próximos da alcalinidade. Conforme o estudo proposto por Kubitza (2003), o aumento da alcalinidade da água tende a aumentar as concentrações da forma não-ionizada da amônia (NH₃), elemento especialmente tóxico aos peixes quando carregado e depositado em corpos hídricos. Ainda, segundo o mesmo autor, o percentual de NH₃ estando presente na água é triplicado quando o pH passa de 7,0 para 7,5.

4.5.2 Nitrogênio amoniacal

Na figura 8 são apresentados os valores médios dos teores de nitrogênio mineral amoniacal, obtidos a partir da análise de amostras de escomento superficial, sob diferentes tratamentos. Ao realizar-se a análise de variância do teor de nitrogênio mineral entre os tratamentos, observou-se que não houve diferença significativa a $p > 0,05$.

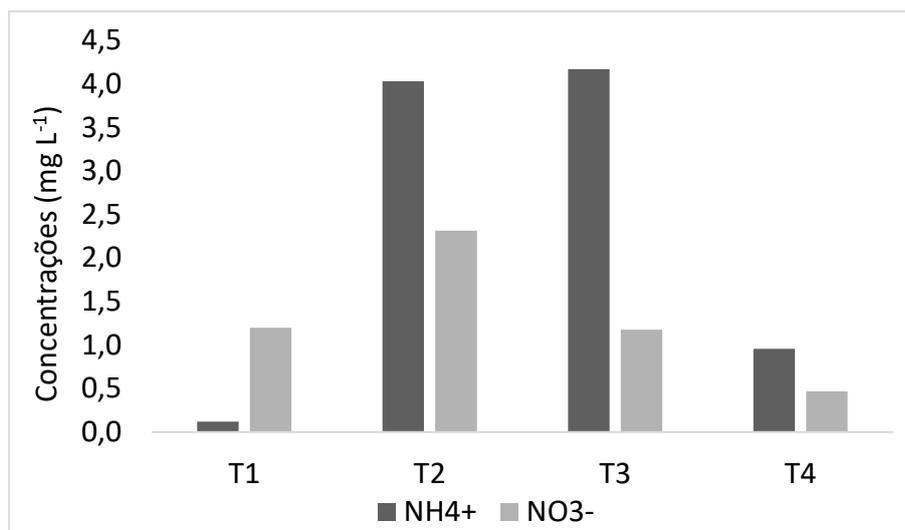


Figura 8. Médias de nitrogênio amoniaco nas formas de NH_4^+ e NO_3^- , obtidos a partir do escoamento superficial.

T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Mesmo os resultados sendo relativos a pequenas quantidades de material em suspensão, pode ser observada maior concentração de amônio e nitrato na água da enxurrada coletada a partir do sistema convencional (T2). Esta concentração pode ser uma resposta aos dados de coleta de solo e água da enxurrada que foram perdidos em maiores quantidades neste tratamento. Ressalta-se que não houve a separação de frações de solo (particulado) e água (dissolvido) da enxurrada nesta análise e, portanto, a avaliação neste manejo pode ter sofrido a interferência destas concentrações a partir da maior presença de solo encontrados sobre os resultados, uma vez que o amônio e o nitrato podem encontrar-se ligados na fração sólida do solo e líquida da água em diferentes concentrações.

Ainda, conforme a Figura 8, as maiores perdas de amônio ocorreram em sistema de Semeadura direta com palhada de arroz irrigado (T3), onde foi observada a presença de palhada em superfície sendo decomposta. Este material residual das plantas pode ter interferido diretamente na liberação da NH_3^- . No tratamento T1 houve pouca presença deste mineral, pois não foi incorporada e nem inserida nenhuma cultura para favorecer a interação destes com o solo. Já o tratamento T4 apresentou os valores mais baixos, pois a cultura antecessora era uma leguminosa, que rapidamente foi decomposta no sistema, pela ação dos microorganismos e por conta de sua relação C/N ser mais baixa que a da palhada de arroz.

4.5.3 Concentração de Fósforo (P), Potássio (K) e Sódio (Na)

Os valores de nutrientes dissolvidos em água e particulados (no sedimento), podem ser observados na tabela 7. Ao aplicar-se o teste de variância, verificou-se que houve diferença significativa para todos os elementos analisados, tanto para material particulado quanto dissolvido.

Tabela 7. Valores médios da concentração de nutrientes em forma dissolvida, particulada e total, obtidos a partir de coletas de escoamento superficial, gerado por 20 minutos de chuva simulada, com intensidade 60 mm h⁻¹, em pré-semeadura.

Tratamento	Particulado	P		Total
		----- mg L ⁻¹ -----		
T1	0,2756 a	0,0031 a		0,2787 a
T2	0,2041 b	0,0013 ab		0,2054 b
T3	0,0912 c	0,0004 b		0,0916 c
T4	0,0622 d	0,0004 b		0,0626 c
CV (%)	4,71	95,32		11,28
		K		
		----- mg L ⁻¹ -----		
T1	112,85 a	3,13 a		115,98 a
T2	112,85 a	3,01 a		115,86 a
T3	57,45 b	1,47 b		58,92 b
T4	36,25 c	1,34 b		37,59 c
CV (%)	5,28	32,89		5,00
		Na		
		----- mg L ⁻¹ -----		
T1	307,93 a	4,04 a		311,97 a
T2	272,00 a	2,86 b		274,86 a
T3	152,40 b	0,92 c		153,32 b
T4	94,09 c	2,22 b		96,31 c
CV (%)	13,76	9,56		12,51

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Os totais foram obtidos a partir da soma das repetições e após, gerado as médias pelo programa R. T1 – Pousio com vegetação espontânea; T2 – Arroz irrigado em preparo convencional; T3 – Semeadura direta em monocultivo de arroz irrigado; T4 – Semeadura direta em rotação de culturas.

Verifica-se que as maiores perdas de P, K e Na disponíveis ocorreram nos tratamentos T1 e T2, tanto na ordem dos dissolvidos quanto dos particulados. Essa resposta se deve à desagregação gerada a partir da água da chuva no solo descoberto. Esses valores indicam que a perturbação da superfície do solo causou o carreamento desses nutrientes, tanto em contato com o sedimento quanto dissolvidos

na água.

Os tratamentos que obtiveram os menores valores na perda de nutrientes nas frações do solo (particulado) foram T3 e T4, pois pouco material foi erodido. Os resultados obtidos indicam que os nutrientes estão presentes em diferentes concentrações tanto no solo quanto na água da enxurrada. Essa disparidade sugere que a interação entre o solo e a água da enxurrada desempenha um papel significativo na distribuição dos nutrientes.

É importante ressaltar que os nutrientes podem estar retidos nas frações da argila e da matéria orgânica do solo, o que pode resultar em ligações mais fortes e uma liberação mais lenta para a água da enxurrada. Por outro lado, na água, esses nutrientes tendem a estar prontamente disponíveis devido à sua forma dissolvida ou suspensa, tornando-os mais acessíveis para os organismos aquáticos e potencialmente mais sujeitos à perda por transporte superficial.

5 Considerações Finais

O acompanhamento regular dos dados físicos do solo é crucial para compreender e avaliar o impacto dos diferentes manejos, principalmente em solos alagados, que sofrem com longos períodos de alagamento e, com isso, alterações químicas do solo e, conseqüentemente, físicas ao longo do ano.

A obtenção desses dados fornece uma compreensão valiosa sobre a estrutura, porosidade e resistência do solo à penetração, elementos-chave que influenciam diretamente na sua capacidade de retenção de água, perdas por erosão hídrica e disponibilidade de nutrientes.

Os dados deste estudo revelam perdas significativas de solo e nutrientes sob chuva simulada em sistema de preparo convencional do solo, comparado aos demais sistemas de cultivo estudados em um Planossolo Háplico, no sul do Rio Grande do Sul.

O estudo abre caminho para pesquisas futuras, ao destacar áreas que demandam investigação adicional. A complexidade das interações solo-chuva-cultivo sugere a necessidade contínua de estudos detalhados para desenvolver estratégias ainda mais eficazes de manejo e conservação do solo e da água. Portanto, a continuidade dessa linha de pesquisa pode fornecer *insights* valiosos para aprimorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em solos semelhantes, contribuindo assim para a promoção de práticas agrícolas ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis.

REFERÊNCIAS

- ALAVINIA, M.; SALEH, F. N.; ASADI, H. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. **International Journal of Sediment Research**, v.34, p.270-278, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.11.001>.
- ALBERTS, E. E.; NEARING, M. A.; WELTZ, M. A.; RISSE, L. M.; PIERSON, F. B.; ZHANG, X. C.; LAFLEN, J. M.; SIMANTON, J. R. Soil component. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Ed.). **Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation**. West Lafayette: United States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory, 1995. p. 7.1-7.47 (NSERL Report, 10)
- ALMEIDA, W.S.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W.C.; RODRIGUES, S.A. & VARELLA, C.A. Hydraulic erosion in different tillage systems and soil cover. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 51, n. 9, p. 1110–1119, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA MENEZES, R.; SOBRINHO, T.A. & CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, vol. 175, p. 130–138, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ANDRADE, R.S; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 382-388, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400003>.
- ANGHINONI, I.; CARLOS, F. S. O cenário para a diversificação. In; CARMONA, F. C. et al. (Ed.). **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas; a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira**. Porto Alegre; edição dos autores, 2018. cap.2, p. 25-30
- ARAÚJO, G. H. S.; GUERRA, A. J. T.; ALMEIDA, J. R. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2008, 320 p.
- ARMSTRONG, A., QUINTON, J. N., HENG, B. C. P., CHANDLER, J. H. Variability of interrill erosion at low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 36, n. 1, p. 97-106, 2011. <https://doi.org/10.1002/esp.2024>.
- ASSIS FILHO, F. M. DE. **Erosão entressulcos em áreas de sistemas de produção agrícola no semiárido de Pernambuco**. 2017. 38f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns, BR-PE, 2017.

ASSOULINE, S. Drop size distributions and kinetic energy rates in variable intensity rainfall. **Water Resources Research**, v.45, p.1-7, 2009. <https://doi.org/10.1029/2009WR007927>.

BAGIO, B. **Relações da erosão hídrica com sistemas de manejo do solo e com comprimentos de declive**. Orientador: Ildegardis Bertol. Tese (doutorado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020.

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

BERTOL, I., LUCIANO R. V., BERTOL C., BAGIO B.. Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. **Revista Brasileira Ciência do Solo** 41: e0160150, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160150>.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Icone, 10^a ed. São Paulo, 2017, 355p.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, D. M.; GRECO, A. M. F.; POZZEBON, B. C.; GALON, L.; GUIMARÃES, S.; BURG, G.; SCHMIDT, M. R.; DEAK, E. A.; GIACOMELI, R.; ALVES, G. S. **Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação**. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1153-1162, maio/jun. 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1153.

BLANCO, H.; LAL, R. Principles of soil conservation and management. Springer Science & Business Media, 2008.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164-200, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.

BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). **Catena**, v. 160, p. 376-384, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009>.

BORRELLI, P., ROBINSON, D.A., FLEISCHER, L.R., LUGATO, E., BALLABIO, C., ALEWELL, C., MEUSBURGER, K., MODUGNO, S., SCHUTT, B., FERRO, V., BAGARELLO, V., OOST, K.V., MONTANARELLA, L., PANAGOS, P., 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nat. Commun.** 8, 2013. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.

BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 118-124, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007>.

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**, v.34, p.38-47, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.08.003>.

BOVI, R. C.; SILVA, L. F. S. da; ZENERO, M. D. O.; CARVALHO, C. C. de; COOPER, M. Sediment Morphology, Distribution, and Recent Transport Dynamics in a Reforested Fragment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160454, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160454>.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

BRAMORSKI, J., CRESTANA, S. Erosão hídrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo e chuva simulada. *Revista Sítio Novo*. v. 4, n. 2, p.73-80, 2020. <http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2020.v4.i2.73-80p>.

CANTALICE, J. R. B., SILVEIRA, F. P. M., SINGH, V. P. SILVA, Y.J.A.B., CAVALCANTE, D.M. GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. **Catena**, v. 16, p. 1-7, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.024>.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividades e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.

CANTALICE, J. R. B.; SILVEIRA, F. P. M.; SINGH, V. P.; SILVA, Y. J. A. B.; CAVALCANTE, D. M.; GOMES, C. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. **CATENA**, v. 148, p. 111–116, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.024>.

CARMONA, F. C., DENARDIN, L. G. O., MARTINS, A. P., ANGHINONI, I., CARVALHO, P. C. F.. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira**. Porto Alegre: edição dos autores, 160 p. 2018.

CARVALHO, D. F. de, SOUZA, W. J. ; PINTO, M. F.. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 708–717, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400010>.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. de. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 117–124, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000100016>.

CASSOL, G. V. **Sistemas de implantação, irrigação e alterações fisiológicas de plantas de soja sob cultivo em terras baixas**. Tese (Doutorado), Universidade de Santa Maria, Centro de Ciências rurais, Programa de Pós-graduação em Agronomia, RS, 2017.

CHICAS, S. D.; OMINE, K.; FORD, J. B. Identifying erosion hotspots and assessing communities' perspectives on the drivers, underlying causes and impacts of soil erosion in Toledo's Rio Grande Watershed: Belize. **Applied Geography**. v. 68, p. 57-67, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.010>.

COELHO, L. L.. **Manejo do solo para o cultivo de soja em terras baixas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Agronomia, RS, 2022.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A.. Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes de Declive e Níveis de Fertilidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>.

COGO, N.P. **Efect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. Tese (Doutorado), West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p.

COLECCHIA, S. A.; RINALDI, M.; DE VITA, P. Effects of tillage systems in durum wheat under rainfed Mediterranean conditions. **Cereal Research Communications**, v. 43, p. 704-716, 2015. <https://doi.org/10.1556/0806.43.2015.015>.

CONFESOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Método para calibração, validação e utilização de simuladores de chuvas aplicados a estudos hidrogeomorfológicos em parcelas de erosão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1294>.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; SILVA, F. R. da. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 235-244, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200001>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 72 p., 2013.

DECHEN, S. C. F., TELLES, T.S., GUIMARÃES, M. F., DE MARIA, I. C. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.

DEFERSHA, M.; MELESSE, A.M. Field-scale investigation of the effect of land use on sediment yield and surface runoff using runoff plot data and models in the Mara River basin, Kenya. **Catena**, 89: 54-64, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.07.010>.

DORNELES, V. R.; DAMÉ, R. de C. F.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A. VEBER, P. M.; KLUMB, G. B.; RAMIREZ, M. A. A. Modeling of probability in obtaining intensity-duration-frequency relationships of rainfall occurrence for Pelotas, RS, Brazil. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, n. 7, p. 499-505, 2019.
<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p499-505>.

DYONISIO, H. A. F. Erosão Hídrica: Suscetibilidade do Solo. *Revista Eletrônica Thesis*, São Paulo, v.7, n.13, p. 15-25, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA. **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: EMBRAPA,2017. 341 p.

EMYGDIO, Beatriz Marti; ROSA, A. P.; OLIVEIRA, ACB de. **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EQUIPE R CORE (2022). R: Uma linguagem e ambiente para estatísticas Informática. Fundação R para Computação Estatística, Viena, Áustria. URL <https://www.R-project.org/>.

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 - Goiânia, v.9, n.17; 778-787 p. 2013.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. **Hydrologic modeling of small watersheds**. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 296-380.

FOSTER, G. R.; YOUNG, R. A.; RÖMKENS, M. J. M.; ONSTAD, C. A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1985. p. 137-162.

FRANCO, Â. M. P., CASSOL, E. A., PAULETTO, E. A., INDA, A. V. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argilssolo vermelho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.18 n. 2-4, p175-187, 2012.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-Size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Métodos de Análise do Solo**, Parte 1. Métodos Físicos e Mineralógicos, Monografia Agronômica No. 9, 2ª Edição, Sociedade Americana de Agronomia/Sociedade de Ciências do Solo da América, Madison, WI, 1986, p. 383-411.

GIACOMELI, R. **Manejo de solo e água em arroz e soja em terras baixas**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Santa Maria, RS. 2019. 84 p.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; OLIVEIRA, M.L. DE,; MARTIN, T.N.; TELÓ, G.M.; DONATO, G., SILVA; M.F. DA, 2017. Physical Properties and Crop Management for

Corn in an Albaquall. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 41, pag. 1-14. 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160237>.

GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A., ed. **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201p.

GOMES, A. S.; SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. GUADAGNIN, J. C., BERTOL, I., CASSOL, P. C., : AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, 29(2), 277–286, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200013>.

GUBIANI, P. L., MÜLLER, E. A., SOMAVILLA, A., ZWIRTES, A. L., MULAZZANI, R. P., MARCHESAN, E. Transpiration reduction factor and soybean yield in low land soil with ridge and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-14, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170282>.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**. v. 27, p. 27-41, 2017. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7).

HAMANAKA, A., SASAOKA, T., SHIMADA, H., MATSUMOTO, S. Experimental study on soil erosion under different soil composition using rainfall simulator. **Plant, Soil and Environment**, v.65, p.181-188, 2019. <https://doi.org/10.17221/68/2019-PSE>.

HAN, Z.; WANG, X.; SONG, D.; LI, X.; HUANG, P.; MA, M. Response of soil erosion and sediment sorting to the transport mecanismo on a steep rocky slope. **Earth Surface Processes And Landforms**, n. 44, p.2467-2478, 2019. <https://doi.org/10.1002/esp.4675>.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; MARIA, I.C. DE; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. A erosão e seu impacto. P.47-60. In: Manzatto, C.V.; Freitas Júnior, E.; Peres, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174p.

IVO, W.M.P de M.; NEVES, J. A. das; SANTOS, C. C. dos; WASHINGTON, A.; SILVA, P. A. Perdas de solo e água em sistemas de manejo da palhada da cana-de-açúcar. In: **Congresso Técnico Científico Da Engenharia E Da Agronomia**, 2018, Maceió. Anais... Maceió: Confea, 2018. P.1-5.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa: recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7-30.

KAUFMANN, V., PINHEIRO, A., CASTRO, N.M.R., FERNANDES, C.V.S., MERTEN, G. Runoff from soils under different management and simulated rainfall regimes in southern Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v.59, n.12, p.2173-2185, 2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.945454>.

KOITER, A. J., OWENS, P. N., PETTICREW, E. L., & LOBB, D. A.. The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. *CATENA*, 153, 194, 2017. 206. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.024>.

KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí, 2003. 229p.

LASSU, T. et al. The wageningen rainfall simulator: set-up and calibration of an indoor nozzle-type rainfall simulator for soil erosion studies. *Land Degrad. Dev.* 26, 604–612, 2015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2360>.

LIMA, H. M. **Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica**. Funchal (Portugal), 2010.

MACEDO, P. M. S., PINTO, M. F., ALVES SOBRINHO, T., 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*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126052>.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J.C.; SOUZA WERNER, R.; PADILHA, J.; HENRIQUE BANDEIRA, D. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, n.5, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500025>.

MARTINS FILHO, M.V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. Jaboticabal: FCAV, 2007. 121f. Tese (Livredocência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

MEYER, L. D.; FOSTER, D. R. & RÖMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: **Sediment Yield Workshop**. Oxford. Proceedings. Washington, USDA, p.177-189, 1975. DOI:10.13031/2013.34973.

MEYER, L.D. & HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row side slopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Eng.* v.22, p.100- 103, 1979. DOI: 10.13031/2013.34973.

MHASKE, S. N., PATHAK, K., BASAK, A. A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena*, v.172, p.408-420, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.039>.

MONTANARELLA, L., PENNOCK, D.J., MCKENZIE, N., BADRAOUI, M., CHUDE, V., BAPTISTA, I., MAMO, T., YEMEFACK, M., SINGH AULAKH, M., YAGI, K., YOUNG HONG, S., VIJARNSORN, P. et al.. **World's soils are under threat**. *Soil 2* (1), 79–82, 2016. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>.

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

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.288- 298, 2014.

MORTARI, D. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal**. Brasília, 1994.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p. 31-36, 1962. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5).

NACHTIGALL, S. D.; NUNES, M. C. M.; MOURA-BUENO, J. M. ; LIMA, C. L. R.; MIGUEL, P. ; BESKOW, S.; SILVA, T. P. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia sanitária e ambiental (ONLINE)** , v. 25, p. 933-946, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190136>.

NIELSEN, K. T.; MOLDRUP, P.; THORND AHL, S.; NIELSEN, J. E.; DUUS, L. B.; RASMUSSEN, S. H.; UGGERBY, M.; RASMUSSEN, M. R. Automated rainfall simulator for variable rainfall on urban green areas. *Hydrological Processes*, v.33, p.1-14, 2019. <https://doi.org/10.1002/hyp.13563>.

NUNES, M. C. M. **Erosão hídrica em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado - Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2006, 160 p.

NUNES, M.C.M. & CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2839-2845, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700030>.

NUNES, MARIA C. M. E CASSOL, ELEMAR A.. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2011, v. 15, n. 6, pp. 541-547. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600001>.

OLIVEIRA, F. P. BUARQUE, D. C., VIERO, A. C., CASSOL, E. A., MINELLA, J. P. G.. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2012, v. 16, n. pag. 337-346. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400002>.

OLIVEIRA, J, G. R., RALISCH, R., GUIMARÃES, M. F., BARBOSA, G. M. C., TAVARES FILHO, J.. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Bol. Geogr.** v. 30, n 3, p. 91-98, 2012.

PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., VITORINO, A. C. T., SOUZA, C. M. A., URCHEI, M.A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 443-451, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200018>.

PAUL, C. R., WERLANG, M. K., Análise da predisposição à erosão laminar (entressulcos) em um planossolo na várzea do Agudo, Agudo-RS. **Ciência e Natura**, [ONLINE]. Vol. 34, núm.2, pp.211. 2012.

PAULA, D. T. D., MARTINS FILHO, M. V., FARIAS, V, L., SIQUEIRA, D. S.. Clay and phosphorus losses by erosion in oxisol with sugarcane residues. **Engenharia Agrícola** [online]. 2016, v. 36, n. 6.. 1063-1072. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1063-1072/2016>.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.521- 529, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>.

PERDOK, U. D.; KOUWENHOVEN, J. K. Soil-tool interactions and field performance of implements. **Soil and Tillage Research**, v. 30 p. 283-326, 1994. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90008-6).

PROSDOCIMI, M.; JORDÁN, A.; TAROLLI, P.; KEESSTRA, S.; NOVARA, A.; CERDÀ, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 323-330, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.076>.

RAMALHO, M. F. de; LOURENÇO, C. C. de C.; MEDEIROS, L. F. C. Efeitos da dinâmica eólica no ambiente de dunas em Natal/RN. **Sociedade e Território**, v.25, n.1, p.30- 44, 2 de maio 2013.

REIS, C. E. S. **Caracterização química e disponibilidade de enxofre em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, 86 f, 2008.

RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W.; RIBEIRO FILHO, M. R.; CANTALICE, J. R. B. Tópicos em ciência do solo. v. 6. Viçosa, Minas Gerais: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2009, 497 p.

ROSALINO, P. K., **Manejo do solo em consorcio de arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura de soja**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de;

OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos.** [Livro]. 2018.

SANTOS, J.P. **Erosividade determinada por desagregação de chuva diária no lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim.** 85f. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SANTOS, R. D. dos, SANTOS, H. G., KER, J. C., dos ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 7ª Ed., p. 102, Viçosa-MG, 2015.

SARASTY, J.; ORTEGA, J. A.; CASTILLO, J. A.; CHAVES, G. Diagnóstico de problemas de manejo del suelo con abonos orgánicos utilizando un minisimulador de lluvia. **Revista Ciências Agrícolas**, v.34, p.46-61, 2017. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.71>.

SEVERO, C.R.S. **Caracterização dos solos do centro agropecuário da palma, UFPEL, município de Capão do Leão-RS.** 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em solos) – FAEM/UFPEL. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas.

SHI, Z. H., FANG, N. F., WU, F. Z., WANG, L., YUE, B. J., WU, G. L.. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. **Journal of hydrology**, 454,123-130. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.004>.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Proposta metodológica para análise espacial de nutrientes do solo em bacias hidrográficas. **Sociedade: Natureza**, v. 30, n. 3, p. 85-107, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-5>.

SILVA, L. S. da. **Dinâmica da matéria orgânica e a interação com componentes inorgânicos na planta e no solo.** Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2001, 167 f.

SILVA, M. S. L. **Estudos da erosão.** EMBRAPA-CPATSA, 1995.

SIMON, M. V.; SHIMADA, B. S.; CUNHA, L. D. S.; RAMBO, K. L.; FINKEN, P. H. O sistema de plantio direto como fator do aumento da produtividade das culturas. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 30, 2021. DOI: 10.51189/rema/1619. <https://doi.org/10.51189/rema/1619>.

SOANE, B. D.; BALL, B. C.; ARVIDSSON, J.; BASCH, G.; MORENO, F.; ROGER-ESTRADE, J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil & Tillage Research**, v. 118, p. 66-87, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (Núcleo Regional Sul.). **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. [S. l.: s. n.], 2016. 376 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STRECK, E. V. ; KÄMPF, N. ; DALMOLIN, R. S. D. ; KLAMT, E. ; NASCIMENTO, P. C. ; GIASSON, E. ; Pinto, L. F. S.. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252p.

SUZUKI, L. E. A. S., BORDIN, S. S., MATIESKI, T., ROSTIROLLA, P., STRIEDER, G., : NUNES, M. R. Soil and nutrient losses by runoff from farmlands in Southern Brazil. **Revista De Ciências Agro-Ambientais**. 19(1), pag.1–15, 2021. DOI: 10.30681/rcaa.v19i1.4967

TEBRÜGGE, F.; DÜRING, R. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 15-28, 1999.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEIIS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. Boletim técnico, 5.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

THANGAVEL, P., SRIDEVI, G., 2017. Soil Security: A key role for sustainable food productivity. In: Dhanarajan, A. (Ed.), sustainable agriculture towards food security. Springer Singapore, Singapore, pp. 309–325. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4_16.

TIAN, S., T. NING, Y.; WANG, Z.; LIU, G.; LI, G.; LI, Z.; LAL, R. Crop yield and soil carbon responses to tillage method changes in North China. **Soil and Tillage Research**, v. 163, p. 207-213, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.005>.

TIANSSU, Z., ALEMU, G., TAMENE, L.. Efeitos da lavoura e gestão de resíduos de culturas no escoamento, perda de solo e rendimento das culturas nas Terras Altas Úmidas da Etiópia. **Sistemas Agrícolas**, 2019. 168,11-18 p.

VAHL, L.C.; SOUZA, R.O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. (Eds.) **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.97-118.

VALENTIN, C.. Soil surface crusting of soil and water harvesting. Soils as a Key Component of the Critical Zone 5: Degradation and Rehabilitation, v.5, p.21-38, 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119438298.ch2>.

VALIM, W. C.; PANACHUKI, E.; PAVEI, D. S.; ALVES SOBRINHO, T.; ALMEIDA, W. S. Efeito de resíduos vegetais de cana-de-açúcar no controle da erosão hídrica entressulcos. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 1155–1164, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1155>.

VAN DE PUTTE, A.; GOVERS, G.; DIELS, J.; GILLIJNS, K.; DEMUZERE, M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A metaregression analysis on European crop yields under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 231-241, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008>.

VIEIRA, F. F.; DALLACORT, R.; BARBIERI, J. D.; DALCHIAVON, F. C.; DANIEL, D. F. Temperatura e umidade do solo em função do uso de cobertura morta no cultivo de milho. **Científica**, Dracena, SP, v. 48, n. 3, p. 188–199, 2020. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n3p188-199>.

VITÓRIA, E. L., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA, M. M., CECON, P. R.. Produtividade de plantas forrageiras em função de manejo do solo. **Engenharia Agrícola** [online]. 2014, v. 34, n. 5. pp. 955-962. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500014>.

WANG, J. G., FENG, S.Y., NI, S.M., WEN, H., CAI, C.F., GUO, Z.L. Soil detachment by overland flow on hillslopes with permanent gullies in the Granite area of southeast China. *Catena*, 2019. 183:104235. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104235>.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum**, v.24, p.1255-1264, 2002. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2277>.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions, American Geophysical Union**, 39(2), 1958. 285. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>.

ZANGISKI, F., MIQUELLUTI, D. J., BERTOL, I., RAMOS, J. C. Índice de rugosidade do solo e sua relação com a erosão hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. [Online]. v.53, n.6, 2018.

ZHANG, X. C. (JOHN), ZHENG, F. L., CHEN, J., & GARBRECHT, J. D. (2020). Characterizing detachment and transport processes of interrill soil erosion. *Geoderma*, 376,2020.<https://doi.org/10.1016/j>.

Apêndice I

Data dos manejos adotados na Área experimental

Data: 30/05/2022

Manejo: Colheita do arroz realizado com foice

Data: 10/06/2022

Manejo: coleta de solo – análise química do solo (0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm entre camadas) – Realizado com o trado calador e colocado em saquinhos e etiquetados. Amostragem realizada em 10 pontos dentro da parcela em zigue-zague. Postas para secar ao ar na sala de preparo no mesmo dia e peneirada no dia 14/06 a 2 mm e guardadas para posterior análise.

Data: 01/07/2022

Manejo: Semeadura de azevém (variedade PGW Feroz) – Recomendação de 25 kg/ha e para a parcela de 33 m², foram colocados 23 g. Porém, a semeadura se deu em solo encharcado e, nos 5 dias seguintes, houve uma precipitação acumulada de 80,3 mm promovendo o alagamento das parcelas e submetendo a semente a condição hidromórfica do solo.

Link para obter as precipitações:
<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>

Referência sobre a utilização do azevém em áreas de várzea:

<http://www.cropmodels.ufsm.br/15/04/2017/manejo-das-culturas-de-inverno-para-areas-arrozeiras/>

No dia 14/07 foi realizado uma visita na área e não havia germinado o azevém nas parcelas semeadas, tendo em vista o seu encharcamento.

Data: 25/07/2022

Manejo: Retirada da água das cavas para tirar a água das parcelas.

Data: 26/07/2022

Manejo: Ressemeadura do azevém – Variedade PGW Feroz

Semeadura nas parcelas P3, P5, P7 e P8 e aplicação de ureia (45%), conforme a recomendação de 180 kg há⁻¹ para a P3 e P7 (1,32 kg/parcela, valor ajustado para compor a recomendação e parcelado em 2 vezes, a primeira parcela de aplicação foi feita em 40% do valor total e a segunda, efetuado no primeiro corte, os 60% restante) e de 160 (1,17 kg/parcela) para a P5 e P8 (1ª aplicação em semeadura) na porcentagem de 40% do recomendado. Utilizado o adubo de formulação 5-20-20 para a aplicação de P e K.

Data: 23/09/2022

Manejo: 1º corte do azevém realizado nas parcelas P7, P8 e P5, pois a P3 não havia azevém para efetuar o corte. Realizou-se a aplicação do restante de ureia (0,792 kg/parcela na P7 e não na P3 (encontrava-se com lâmina de água) – 0,704 kg/parcela nas P5 e P8).

Neste dia também foi feita a retirada de água da cava para tirar as águas das parcelas localizadas na parte de menor relevo do terreno e que ainda apresentavam água.

Data:04/10/2022

Manejo: Limpeza das caixas de água e organização para a coleta dos sedimentos da enxurrada em cada parcela. Porém, em virtude do vento e problema com a calibração do simulador, foi adiado.

Data: 07/10 e 10/10/2022

Manejo: Coleta da enxurrada das parcelas, coletadas amostras em potes de 80 ml para amostras de Nitrato e amônia e imediatamente e levadas para uma caixa térmica com gelo e após a coleta, levadas ao congelador para, quando efetuar a amostragem (deixada em geladeira para descongelar e analisar no dia seguinte, posterior retornando para o freezer). Foram medidos nestes dias pH em água e Condutividade nos potes de 700 ml com o pHmetro modelo (4 em 1 Testador de Qualidade da Água pH/EC/TDS/Medidor de Temperatura IP55 À Prova D 'Água Desligamento Automático Backlight Display Tester Branco PH-686). Foram coletados a precipitação para cada parcela.

Observação: Os potes havia numeração e após a coleta do material da enxurrada, foram levados para o laboratório e dele, foram homogeneizadas as amostras, mensuradas e realocadas em potes (3 para química e 3 para a física).

Data:04/11/2022

Manejo: Preparo do solo do sistema convencional nas parcelas P6 e P2. Foi utilizado um Trator Ford/New Holland 5630 4X4 e enxada rotativa.

Data: 09/11/2022

Manejo: Foi realizado a roçada da área para a semeadura nas parcelas de plantio direto. Foi utilizado uma roçadeira manual a gasolina.

Data: 21/11/2022

Manejo: Aplicado 25 ml/ L de glifosato (ZAPP QI 620) e realizado a semeadura do arroz (Variedade IRGA 424 RI) nas parcelas P2, P3, P5, P6, P7 e P8. Também foi realizado a aplicação de adubo (05-20-20) na recomendação de 250 kg/há na linha de semeadura. Utilizou-se de um Trator Ford/New Holland 5630 4X4 e uma semeadora de parcelas (semeato – modelo SHP 249) para o plantio direto e convencional.

Data: 23/11/2022

Manejo: Análise de umidade do solo nas profundidades (0-20, 20-30 e 30-50 cm), coletadas e pesadas no mesmo dia e levadas a estufa a 60°C e, após 24h, pesado novamente obtendo o peso da amostra seca. Também se realizou a coleta de dados sobre resistência a penetração de todas as parcelas.