

**UFRRJ**

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

**DISSERTAÇÃO**

**Processo Erosivo sob Padrões de Chuva Simulada  
pelo *InfiAsper*, Considerando Formatos de Parcela  
Experimental e Adubação com Cama de Frango**

**Amanda Sales Alves**

**2022**



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

**PROCESSO EROSIVO SOB PADRÕES DE CHUVA SIMULADA PELO  
*INFIASPER*, CONSIDERANDO FORMATOS DE PARCELA  
EXPERIMENTAL E ADUBAÇÃO COM CAMA DE FRANGO**

**AMANDA SALES ALVES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Daniel Fonseca de Carvalho**

*e Coorientação do Professor*  
**Nivaldo Shultz**

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

Seropédica, RJ  
Abril de 2022

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

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

A474p Alves, Amanda Sales, 1995-  
Processo erosivo sob padrões de chuva simulada pelo InfiAsper, considerando formatos de parcela experimental e adubação com cama de frango / Amanda Sales Alves. – Seropédica, 2022.  
41 f. : il.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2022.

1. Erosão hídrica. 2. Simulador de chuvas *InfiAsper*. 3. Intensidade de precipitação. 4. Adubação orgânica. 5. Perda de nutrientes. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1968-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo III. Título.

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

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



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



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 19 / 2022 - CPGACS  
(12.28.01.00.00.00.27)**

**Nº do Protocolo: 23083.024974/2022-25**

**Seropédica-RJ, 26 de abril de 2022.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

INSTITUTO DE AGRONOMIA

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

**AMANDA SALES ALVES**

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/04/2022.

**Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020**, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

**(Assinado digitalmente em 26/04/2022 14:23 )**

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

**(Assinado digitalmente em 26/04/2022 16:02 )**

EVERALDO ZONTA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
IA (12.28.01.21)  
Matrícula: 2213075

**(Assinado digitalmente em 26/04/2022 10:34 )**

JAMIL ALEXANDRE AYACH ANACHE  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 029.209.951-70

Para verificar a autenticidade deste documento entre em  
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **19**, ano:  
**2022**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão:  
**26/04/2022** e o código de verificação: **c1b763907d**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Maria Francidelma Sales Alves e Claudiner Alves

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu infinito amor, graça e misericórdia! Por Ele ser o meu refúgio e fortaleza, socorro bem presente, nos dias bons e ruins.

Aos meus queridos e amados pais, Claudiner Alves e Maria Francidelma Sales Alves, e irmão Isaac André, que sempre fizeram mais que o possível para que eu pudesse alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos, obrigada por todo amor, confiança, conselhos e por sempre acreditarem no meu potencial.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo pela oportunidade e conhecimento adquirido nesses anos.

A CAPES pela concessão da bolsa, recurso indispensável para que fosse possível minha dedicação exclusiva na realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo financiamento deste projeto.

A FAPERJ pelo financiamento de projetos e bolsas do programa de Pós Graduação.

Ao professor Daniel Fonseca de Carvalho pela oportunidade de orientação, apoio, paciência, ensinamentos, disponibilidade em todas as horas e além de tudo, pelo exemplo de dedicação à pesquisa.

Ao professor Nivaldo Schultz pelo incentivo, acolhimento, paciência, ensinamentos e suporte para execução desse projeto.

A todos os integrantes do GPASSA pelo aprendizado, compromisso e dedicação, em especial, aos que estiveram presente nos dias de coleta em que tudo dava certo ou não. Em especial, ao Pietro Macedo.

Aos integrantes do laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água pela ajuda nas análises químicas das amostras de solo.

As minhas amigas e parceiras de laboratório, Gabriela Rodrigues e Laiz Oliveira.

Aos meus amigos do ensino médio, Charlienne Magalhães, Enderson Viana, Hanna Fernanda, José Lucas, Raynara Fernanda e Wanessa Marques pela amizade de muitos anos e por tornarem os meus dias mais felizes.

Aos meus amigos da graduação, Chiara Sanches, Jordanya Ferreira e Raymyson Rhuryo pelo companheirismo e por todas as nossas conversas científicas e aleatórias nessa jornada árdua de pós-graduandos.

Aos meus amigos da Pós-Graduação, Tancio Gutier, Paula Fernanda, Klayton Ferreira pelo companheirismo, cuidado, atenção, e principalmente, pela amizade que levarei para vida!

As minhas amigas Luana Corrêa e Stéfanny Ribeiro pelas conversas diárias e momentos de descontração.

E a todas as outras pessoas cujos nomes não estão aqui, mas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

## **BIOGRAFIA**

Amanda Sales Alves, filha de Maria Francidelma Sales Alves e Claudiner Alves, nasceu em São Luís, Maranhão, no dia 15 de junho de 1995. Concluiu o ensino médio e técnico no Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão/Campus Maracaná. Em março de 2014, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual do Maranhão. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica na área de Intensificação Sustentável da Agricultura no Trópico Úmido (2015-2017) e Pedologia (2017-2018). Foi monitora na disciplina de Gênese, Classificação e Morfologia de solos (2018-2019). Graduiu-se em setembro de 2019. No ano de 2020 ingressou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo na área de Manejo e Conservação de Solos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO GERAL

ALVES, Amanda Sales. **Processo erosivo sob padrões de chuva simulada pelo *InfiAsper*, considerando formatos de parcela experimental e adubação com cama de frango.** 2022. 41f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2022.

O uso de simuladores de chuvas em estudos relacionados à erosão hídrica tem sido muito difundido e a busca pela melhoria na qualidade dos dados obtidos representa um grande esforço da comunidade científica. Uma questão que ainda permanece em aberto é a influência do formato e da área de parcelas experimentais no processo erosivo sob chuva simulada. Outro ponto importante e menos avaliado é a perda de nutrientes em decorrência de chuvas erosivas com variação de intensidade de precipitação. Esta dissertação é apresentada em dois capítulos, cujos objetivos são: a) avaliar a interferência do formato e área da parcela experimental na distribuição da chuva e no processo erosivo utilizando um simulador com diferentes padrões de chuva; b) avaliar o efeito dos padrões de precipitação de chuvas simuladas nas perdas de solo, água, nutrientes e alteração dos atributos químicos no solo após a chuva simulada em área com e sem adubação com cama de frango, e o impacto financeiro em decorrência das perdas de nutrientes. Com o simulador de chuvas *InfiAsper*, foram utilizadas parcelas de formato retangular de 0,70 m<sup>2</sup> (1,0 x 0,7 m) e circular com 0,50 m<sup>2</sup>. Na etapa de laboratório, foram realizados testes de calibração, de uniformidade e consumo de água do simulador, utilizando chuvas simuladas de 5 min de duração e rotações do disco obturador de 138, 264, 420, 684 e 804 rpm. A uniformidade foi também avaliada considerando os padrões avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em chuvas e 30 mm e 40 min de duração. Em campo, chuvas simuladas foram aplicadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo, considerando delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 (formato da parcela) x 4 (padrões de precipitação), totalizando oito tratamentos e quatro repetições. Para atender ao segundo objetivo, chuvas com diferentes padrões foram simuladas na mesma área experimental e desenho estatístico, adotando parcela experimental circular, com aplicação de cama de frango (CCF) e sem cama de frango (SCF), e os mesmos quatro padrões de precipitação, totalizando 32 unidades experimentais. Em relação ao primeiro objetivo, a uniformidade da chuva variou de 77,7 a 79,0% na parcela retangular e de 81,7 a 83,8% na parcela circular, nos diferentes padrões de precipitação. Na parcela circular, o padrão AV proporcionou lâmina escoada de 14,41 mm e perda de solo de 27,19 g m<sup>-2</sup>, enquanto na parcela retangular, o padrão AT proporcionou a maior lâmina escoada (14,08 mm) e perda de solo (13,66 g m<sup>-2</sup>). A utilização da parcela circular proporcionou maior uniformidade nos diferentes padrões de precipitação e as maiores perdas de solo e água, no padrão de AV. Em relação ao segundo objetivo, os valores médios do escoamento superficial não variaram em função da adubação com cama de frango. Contudo, houve diferenças nas perdas de sedimento entre os tratamentos SCF e CCF para o padrão AT e CT. O padrão IN proporcionou as maiores perdas de N e P total no material escoado, enquanto a maior de perda de K foi encontrada no padrão AV. A análise financeira indicou perdas de R\$ 737,05 ha<sup>-1</sup> na Baixada Fluminense e de aproximadamente 3 vezes maior na região Serrana do estado do Rio de Janeiro (R\$ 2.403,75 ha<sup>-1</sup>). Portanto, em área com aplicação superficial de cama de frango, a variação da intensidade de precipitação de chuvas simuladas interfere nas perdas de N, P e K, que podem refletir negativamente na receita líquida dos produtores.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica. Simulador de chuvas *InfiAsper*. Intensidade de precipitação. Adubação orgânica. Perda de nutrientes.

## GENERAL ABSTRACT

ALVES, Amanda Sales. **Erosive process under simulated rainfall patterns by *InfiAsper*, considering shapes of experimental plot and poultry litter fertilization.** 2022. 41p. Dissertation (Master in Agronomy-Soil Science). Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

The use of rainfall simulators in studies related to water erosion has been widespread and the search for improvement in the quality of the data obtained represents a great effort by the scientific community. An open question is the influence of the shape and area of experimental plots on the erosion process under simulated rainfall. Another important and less evaluated point is the loss of nutrients as a result of erosive rains with variation in precipitation intensity. This dissertation is presented in two chapters, whose objectives are: a) to evaluate the interference of the shape and area of the experimental plot in the rainfall distribution and in the erosive process using a simulator with different rainfall patterns; b) to evaluate the effect of simulated rainfall patterns on soil, water, nutrient losses and alteration of soil chemical attributes after simulated rainfall in an area with and without fertilization with poultry litter, and the financial impact resulting from nutrient losses. With the *InfiAsper* rainfall simulator, rectangular plots of 0.70 m<sup>2</sup> (1.0 x 0.7 m) and circular with 0.50 m<sup>2</sup> were used. In the laboratory stage, calibration, uniformity and water consumption tests of the simulator were carried out, using simulated rains of 5 min duration and obturator disk rotations of 138, 264, 420, 684 and 804 rpm. Uniformity was also evaluated considering advanced (AV), intermediate (IN), delayed (DL) and constant (CT) patterns in rainfall and 30 mm and 40 min duration. In the field, simulated rains were applied in a Red-Yellow Argisol, considering a randomized block design, in a factorial scheme 2 (plot format) x 4 (rainfall patterns), totaling eight treatments and four replications. To meet the second objective, rainfall with different patterns were simulated in the same experimental area and statistical design, adopting a circular experimental plot and considering areas with (WPL) and without (OPL) application of poultry litter, and the same four rainfall patterns, totaling 32 experimental units. Regarding the first objective, the rainfall uniformity ranged from 77.7 to 79.0% in the rectangular plot and from 81.7 to 83.8% in the circular plot, in the different rainfall patterns. In the circular plot, the AV pattern provided the drained depth of 14.41 mm and soil loss of 27.19 g m<sup>-2</sup>, while in the rectangular plot, the AT pattern provided the highest drained depth (14.08 mm) and soil loss. (13.66 g m<sup>-2</sup>). The use of the circular plot provided greater uniformity in the different rainfall patterns and the greatest soil and water losses in the AV pattern. Regarding the second objective, the average values of runoff did not vary depending on the application of fertilization with poultry litter. However, there were differences in sediment losses between the OPL and WPL treatments for the DL and CT pattern. The IN pattern provided the greatest losses of total N and P in the drained material, while the greatest loss of K was found in the AV pattern. The financial analysis indicated losses of R\$ 737.05 ha<sup>-1</sup> in the Baixada Fluminense and approximately 3 times greater in the Serrana region of the state of Rio de Janeiro (R\$ 2,403.75 ha<sup>-1</sup>), which can negatively reflect on the net income of producers.

**Key words:** Water erosion. *InfiAsper* rainfall simulator. Precipitation intensity. Organic fertilization. Loss of nutrients.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Curva de calibração obtida em testes com 5 minutos de duração na parcela circular e parcela do <i>InfiAsper</i> .....   | 9  |
| <b>Figura 2.</b> Padrões de precipitação obtidos com a calibração do simulador de chuvas para testes com 40 min de duração, pico de IP de 110 mm h <sup>-1</sup> e lâmina de 30 mm. ....   | 10 |
| <b>Figura 3.</b> Distribuição espacial da IP das chuvas aplicadas pelo <i>InfiAsper</i> para os padrões Avançado (A), Intermediário (B), Atrasado (C) e Constante (D) (mm h <sup>-1</sup> ) na parcela circular.....                     | 10 |
| <b>Figura 4.</b> Distribuição espacial da IP das chuvas aplicadas pelo <i>InfiAsper</i> para os padrões Avançado (A), Intermediário (B), Atrasado (C) e Constante (D) (mm h <sup>-1</sup> ) na parcela padrão do <i>InfiAsper</i> . .... | 11 |
| <b>Figura 5.</b> Padrões de precipitação obtidos com a calibração do simulador de chuvas para testes com 40 min de duração, pico de IP de 110 mm h <sup>-1</sup> e lâmina de 30 mm. ....   | 25 |
| <b>Figura 6.</b> Perda financeira de nutrientes em razão do processo erosivo, considerando o período de cultivo de abril a outubro em Seropédica-RJ (Baixada Fluminense). ....   | 33 |
| <b>Figura 7.</b> Perda financeira de nutrientes em razão do processo erosivo, considerando o período de cultivo de outubro a abril em Teresópolis-RJ (Região Serrana).....   | 34 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.</b> Atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo nos diferentes horizontes. ....  | 7  |
| <b>Tabela 2.</b> Consumo de água (CA), intensidade de precipitação (IP), eficiência do uso de água (EUA) e coeficiente de uniformidade da chuva simulada (CUC) na parcela circular e parcela padrão do <i>InfiAsper</i> .....  | 8  |
| <b>Tabela 3.</b> Coeficientes de uniformidade (%) para as diferentes parcelas coletoras e padrões de precipitação. ....  | 11 |
| <b>Tabela 4.</b> Lâminas escoadas e perdas de solo nas parcelas circular e retangular em diferentes padrões de precipitação. ....  | 12 |
| <b>Tabela 5.</b> Atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo nos diferentes horizontes. ....   | 24 |
| <b>Tabela 6.</b> Caracterização dos atributos químicos da área experimental na profundidade de 0-20 cm. ....   | 24 |
| <b>Tabela 7.</b> Caracterização química da cama de frango. ....  | 24 |
| <b>Tabela 8.</b> Lâminas escoadas e perdas de sedimentos em parcelas experimentais sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) submetidas a diferentes padrões de precipitação. ....   | 27 |
| <b>Tabela 9.</b> Concentrações de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O e COS nos sedimentos escoados em parcelas sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas com 40 min de duração, 30 mm e picos de intensidade de 110 mm h <sup>-1</sup> .....          | 29 |
| <b>Tabela 10.</b> Perdas de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O e COS em kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> , em parcelas sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas com 40 min duração, 30 mm e picos de intensidade de 110 mm h <sup>-1</sup> ..... | 31 |
| <b>Tabela 11.</b> Atributos químicos e carbono orgânico do solo na profundidade de 0-20 cm em áreas sem (SCF) e com adubação de cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas de 30 mm.....   | 32 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | INTRODUÇÃO GERAL .....   | 1  |
| 2.    | CAPÍTULO I PERDAS DE SOLO E ÁGUA COM CHUVA SIMULADA EM DIFERENTES FORMATOS DE PARCELAS EXPERIMENTAL E PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO .....  | 2  |
| 2.1   | RESUMO .....   | 3  |
| 2.2   | ABSTRACT .....   | 4  |
| 2.3   | INTRODUÇÃO.....  | 5  |
| 2.4   | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 6  |
| 2.5   | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 8  |
| 2.5.1 | Intensidade de precipitação, eficiência do uso da água e coeficiente de uniformidade.....  | 8  |
| 2.5.2 | Caracterização dos padrões de precipitação.....  | 9  |
| 2.5.3 | Distribuição espacial da intensidade de precipitação.....  | 10 |
| 2.5.4 | Perdas de água e solo.....   | 11 |
| 2.6   | CONCLUSÕES .....   | 15 |
| 2.7   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 16 |
| 3.    | CAPÍTULO II PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES SOB PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO COM CHUVA SIMULADA EM ÁREA ADUBADA COM CAMA DE FRANGO..... | 20 |
| 3.1   | RESUMO .....   | 21 |
| 3.2   | ABSTRACT .....   | 22 |
| 3.3   | INTRODUÇÃO.....  | 23 |
| 3.4   | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 24 |
| 3.5   | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 27 |
| 3.5.1 | Perda de solo e escoamento superficial.....  | 27 |
| 3.5.2 | Perda de nutrientes .....  | 29 |
| 3.5.3 | Análise financeira da perda de nutrientes .....  | 33 |
| 3.6   | CONCLUSÕES .....   | 35 |
| 3.7   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 36 |
| 4.    | CONCLUSÕES GERAIS .....  | 41 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A erosão é um processo de desgaste da rocha ou do solo, causado pela ação de ventos, geleiras, rios e chuvas. Em regiões tropicais, a erosão ocasionada por chuvas, também intitulada como erosão hídrica, é a principal forma de degradação do solo. É um processo considerado natural, porém seus efeitos são acelerados, principalmente, pelo uso intensivo do solo, desmatamento, queimadas e implantação de monoculturas. A erosão conduz a perda de solo, nutrientes, matéria orgânica, além de ocasionar o assoreamento de rios e poluição do solo e da água.

Os impactos ocasionados por ela são influenciados por diversos fatores, como a erodibilidade do solo, que está relacionado com a vulnerabilidade do solo diante dos processos erosivos. Adicionalmente, ao se falar em erosão hídrica, é importante ressaltar as características que devem ser consideradas para que um evento de chuva seja considerado erosivo. A erosividade da chuva representa sua capacidade de causar erosão, estando relacionada com a intensidade de precipitação, diâmetro e velocidade das gotas de chuvas e tempo de duração de um evento de chuva.

Diversos estudos de manejo e conservação do solo são relacionados aos impactos que eventos de chuvas naturais podem ocasionar no solo. Entretanto, os eventos de chuvas naturais são inesperados e as suas características como diâmetro da gota, a frequência e a intensidade de precipitação são variáveis e mudam de um evento para outro. Por isso, o uso de simuladores de chuvas tem se tornado frequente em estudos relacionados à erosão hídrica, permitindo a avaliação rápida dos impactos ocasionados por este problema.

Os simuladores de chuvas são equipamentos projetados para simularem chuvas com características que podem ser mutáveis. Diferentes modelos de simuladores foram desenvolvidos para distintas abordagens, variando o tamanho, o formato, a área da parcela experimental, a faixa de intensidade de precipitação e a uniformidade de distribuição da chuva. No Brasil, o simulador *InfAsper* tem sido utilizado em diversos trabalhos e seu uso é justificado por produzir chuvas com energia cinética, intensidade de precipitação e diâmetro de gotas semelhantes às de chuvas naturais. Além da uniformidade de distribuição, que também está relacionada ao tamanho e forma da sua parcela experimental, um simulador deve possibilitar a aplicação de chuvas com variação da intensidade de precipitação ao longo de sua duração, tornando-a mais representativa de eventos naturais.

Em estudos de manejo e conservação do solo e da água, frequentemente, a avaliação do processo erosivo é feita por meio da quantificação das perdas de solo e água. Porém, grande parte dos nutrientes provenientes de adubação mineral ou orgânica é perdida pelo processo erosivo, tornando-se relevante a avaliação dessa perda sob chuva natural ou diferentes padrões de precipitação em eventos simulados.

Constituem-se hipóteses deste trabalho: i) o formato e o tamanho da parcela experimental do *InfAsper* interferem na avaliação do processo erosivo sob diferentes padrões de chuva simulada; e ii) as perdas de água, sedimento e nutrientes do solo são afetadas por chuvas de diferentes padrões de precipitação, em área adubada com cama de frango.

A dissertação é apresentada em dois capítulos, com os seguintes objetivos: a) avaliar a interferência do formato e área da parcela experimental na distribuição da chuva e no processo erosivo utilizando o simulador *InfAsper* operando com diferentes padrões de chuva; b) avaliar o efeito dos padrões de precipitação de chuvas simuladas nas perdas de solo, água, nutrientes e atributos químicos no solo após a chuva simulada em área com e sem adubação com cama de frango, e o impacto financeiro em decorrência das perdas de nutrientes.

## 2. CAPÍTULO I

# PERDAS DE SOLO E ÁGUA COM CHUVA SIMULADA EM DIFERENTES FORMATOS DE PARCELAS EXPERIMENTAL E PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO

*Document submitted to the “Journal of Hydrology” (JCR 2020 = 5.722)*

ALVES, A. S.; SCHULTZ, N.; MACEDO, P. M. S.; OLIVEIRA, P. T. S.; CARVALHO, D. F. Soil and water losses with simulated rainfall considering shapes of experimental plot and rainfall patterns.

## 2.1 RESUMO

Melhorar a qualidade dos dados obtidos por simuladores de chuva representa um grande esforço da comunidade científica à medida que esses equipamentos têm um importante papel na investigação dos processos hidrológicos e erosivos. Uma questão que ainda permanece em aberto é a influência do formato e área de parcelas experimentais no processo erosivo sob chuva simulada. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência do formato e área da parcela experimental na distribuição da chuva e no processo erosivo utilizando um simulador com diferentes padrões de chuva. Foram utilizadas parcelas de formato retangular de 0,70 m<sup>2</sup> (1,0 x 0,7 m) e circular com 0,50 m<sup>2</sup>. Na etapa de laboratório, foram realizados testes de calibração, de uniformidade e consumo de água do simulador, utilizando chuvas simuladas de 5 min de duração e rotações do disco obturador de 138, 264, 420, 684 e 804 rpm. A uniformidade foi também avaliada considerando os padrões avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em chuvas de 30 mm e 40 min de duração. Em campo, chuvas simuladas foram aplicadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo, considerando delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, totalizando oito tratamentos e quatro repetições. A uniformidade da chuva variou de 77,7 a 79,0% na parcela retangular e de 81,7 a 83,8% na parcela circular, nos diferentes padrões de precipitação. Na parcela circular, o padrão AV proporcionou lâmina escoada de 14,41mm e perda de solo de 27,19 g m<sup>-2</sup>, enquanto na parcela retangular, o padrão AT proporcionou a maior lâmina escoada (14,08 mm) e perda de solo (13,66 g m<sup>-2</sup>). A utilização da parcela circular proporcionou maior uniformidade nos diferentes padrões de precipitação e as maiores perdas de solo e água, no padrão de AV. Assim, podemos concluir que para este tipo de simulador estudado a parcela circular consegue melhor representar a distribuição da chuva e o processo erosivo.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica. Simulador de chuvas *InfiAsper*. Intensidade de precipitação.

## 2.2 ABSTRACT

Improving the quality of the data obtained with the use of rainfall simulators represents a major effort by the scientific community, as the equipment plays an important role in investigating both hydrological and erosive processes. One question that remains unanswered is the influence of the shape and area of the experimental plot on the erosion process under simulated rainfall. The aim of this study, therefore, was to evaluate the effect of the shape and area of the experimental plot on rainfall distribution and the erosive process using a simulator and different rainfall patterns. Rectangular plots of 0.70 m<sup>2</sup> (1.0 x 0.7 m) and circular plots of 0.50 m<sup>2</sup> were used. During the laboratory stage, tests of the calibration, uniformity and water consumption of the simulator were carried out, using simulated rainfall of 5 min duration and shutter-disc rotations of 138, 420, 684 and 804 rpm. Uniformity was also evaluated considering advanced (AV), intermediate (IN), delayed (DL) and constant (CT) rainfall patterns, each of 30 mm with a duration of 40 min. Simulated rainfall was applied in the field to a Ultisol, considering a randomised block design in a 2 x 4 factorial scheme, to give a total of eight treatments with four replications. With the different rainfall patterns, rainfall uniformity ranged from 77.7% to 79.0% in the rectangular plot and from 81.7 to 83.8% in the circular plot. In the circular plot, the AV pattern gave a run-off depth of 14.41 mm with a soil loss of 27.19 g m<sup>-2</sup>, while in the rectangular plot, the DL pattern afforded the greatest run-off depth (14.08 mm) and soil loss (13.66 g m<sup>-2</sup>). Use of the circular plot resulted in greater uniformity for the different rainfall patterns, showing the greatest soil and water loss with the AV pattern. As such, it can be concluded that, for the type of simulator under study, the circular plot can better represent rainfall distribution and the erosive process.

**Key words:** Water erosion. *InfriAsper* rainfall simulator. Rainfall intensity.

## 2.3 INTRODUÇÃO

Os simuladores de chuvas são equipamentos projetados para a aplicação de água por aspersão de maneira similar às chuvas naturais, a fim de facilitar a realização de estudos sobre erosão hídrica, escoamento superficial e infiltração da água no solo (ABUDI et al., 2012; ZHAO et al., 2018; KABELKA et al., 2019). Uma de suas principais vantagens é o controle de características mutáveis atribuídas às chuvas naturais (CARVALHO et al., 2015; SOUSA JÚNIOR et al., 2017).

Na escolha de um simulador alguns aspectos devem ser levados em consideração como a sua portabilidade, a simplicidade de funcionamento, a distribuição uniforme da chuva, o fácil manuseio e rapidez na operação, o consumo de água, a reprodutibilidade de testes, o conhecimento da distribuição espacial e espectro de gotas (ISERLOH et al., 2013; MHASKE et al., 2019). O simulador *InfiAsper* (ALVES SOBRINHO et al., 2002; ALVES SOBRINHO et al., 2008) atende os requisitos citados acima e tem sido utilizado em diversos trabalhos de manejo e conservação do solo e da água (PANACHUKI et al., 2015; ALMEIDA et al., 2017). Macedo et al. (2021) desenvolveram um novo painel de controle para o *InfiAsper* que permite a simulação de padrões de precipitação mediante a variação da intensidade de precipitação durante a aplicação da chuva, o que reproduz melhor o processo natural de perda de solo (NIELSEN et al., 2019).

A uniformidade da distribuição da água é fundamental para que um sistema de irrigação por aspersão seja considerado viável ou não (BRENNAN et al., 2007). Valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) acima de 70% são aceitáveis para a uniformidade de distribuição da precipitação em simuladores de chuva (MONTEBELLER et al., 2001; SANTOS et al., 2008). Macedo et al. (2021) avaliaram o *InfiAsper* operando com diferentes padrões de precipitação e obtiveram uniformidades de 76,9%, 77,7%, 78,9% e 79,4% para os padrões constante, avançado, atrasado e intermediário, respectivamente.

O aumento da uniformidade da chuva simulada proporciona melhores resultados em estudos relacionados à erosão hídrica, os quais dependem da forma e tamanho da parcela experimental (KINNEL, 2016), responsável por condicionar o escoamento superficial (CONFESSOR; RODRIGUES, 2017). Ao avaliarem a variabilidade do escoamento e exportação de sedimentos em relação ao tamanho da parcela experimental em estudo com bacias hidrográficas, Sadhegi et al (2013) observaram que parcelas com maior tamanho podem proporcionar estimativas precisas das perdas de água e solos comparado às parcelas com menor escala. Em estudos com chuvas simuladas são citadas parcelas experimentais de simuladores de chuvas com diferentes áreas e formatos (ISERLOH et al., 2013; NADAL-ROMERO; REGÜÉS, 2019), porém são escassos os estudos que relacionam o escoamento superficial e perdas de solo com diferentes parcelas experimentais, considerando chuvas de mesmas características (intensidade, duração e energia cinética).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do formato da parcela coletora do escoamento superficial no processo erosivo utilizando o simulador de chuvas *InfiAsper* sob diferentes padrões de precipitação.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo usamos o simulador de chuvas *InfiAsper* (ALVES SOBRINHO et al., 2002), operando com uma motobomba de 1,0 cv (DANCOR/W48J). O controle da chuva foi realizado por meio de um painel de controle que aciona a motobomba e controla a rotação do disco obturador por meio de um inversor de frequência. Utilizamos o novo painel de controle que permite a variação das intensidades de precipitação (IP) e a programação das chuvas de acordo com padrões pré-definidos proposto por Macedo et al. (2021).

Foram avaliadas a parcela retangular do *InfiAsper* (padrão), com área de 0,70 m<sup>2</sup> (1,0 x 0,70 m) e outra de formato circular com área de 0,50 m<sup>2</sup> (0,80 m de diâmetro). Assim, o trabalho foi conduzido em duas etapas. A primeira em laboratório, onde avaliamos a uniformidade por meio do coeficiente de uniformidade Christiansen (CUC) (Eq. 1), e a IP em testes com rotações dos discos de 138, 264, 420, 684 e 804 rpm, com duração de 5 min.

$$CUC = 100 - 1 \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \quad (1)$$

Em que:

$X_i$  - lâmina precipitada em cada coletor;

$\bar{X}$  - lâmina média precipitada;

$n$  - número de copo coletores.

Para cada teste (chuva simulada), com abertura do disco obturador mantida em 56 mm e pressão da água em 27,6 kPa (MACEDO et al., 2021), a água aplicada foi coletada em recipientes plásticos com 50 cm<sup>2</sup> de área, distribuídos no interior da parcela, e o volume medido em proveta. Foram utilizados 92 coletores na parcela retangular e 81 na circular. A partir desses resultados foram ajustados modelos relacionando IP com rotação para as duas parcelas.

Para a avaliação do consumo de água (CA) pelo *InfiAsper*, o volume de água na saída dos bicos foi coletado e medido, permitindo a determinação da eficiência do equipamento (EF), obtida pela relação entre o volume coletado nas parcelas e o consumo de água.

A partir das curvas de calibração foram programados quatro padrões de precipitação para cada parcela, caracterizados como avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT), considerando IP média de 45 mm h<sup>-1</sup>, lâmina de 30 mm, duração de 40 min e IP máxima de 110 mm h<sup>-1</sup>, conforme metodologia apresentada por Macedo et al. (2021). As chuvas foram simuladas utilizando as informações relativas a cada padrão, as quais foram registradas a cada minuto em um arquivo (formato txt) gravado em um cartão micro SD, posteriormente acessado pelo painel de controle do *InfiAsper*. A uniformidade e a distribuição espacial das chuvas nos diferentes padrões foram avaliadas nas duas parcelas experimentais.

Após os testes em laboratório, iniciou-se a segunda etapa realizada em campo, onde foram avaliadas as perdas de solo e escoamento superficial em uma área arada e gradeada de um Argissolo Vermelho-Amarelo. A composição granulométrica e as propriedades físicas do solo nos diferentes horizontes são apresentadas na Tabela 1.

Foi adotado um delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 (2 formatos de parcelas x 4 padrões de chuvas), totalizando oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam às parcelas coletoras do escoamento superficial (retangular e circular) e aos quatro padrões de precipitação (CT, AV, IN e AT), totalizando 32 parcelas experimentais.

A área apresentava uma declividade média de 0,09 m m<sup>-1</sup> e uma vez instaladas, as parcelas receberam um pré-molhamento com o objetivo de uniformizar a umidade do solo nas respectivas unidades experimentais e favorecer a ocorrência do escoamento superficial (COGO

et al., 1984). De acordo com Almeida et al. (2021), o *InfiAsper* foi posicionado aplicando as chuvas conforme o padrão selecionado.

**Tabela 1.** Atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo nos diferentes horizontes.

| Horizonte     | DP                    | DS   | PT    | K <sub>s</sub>        | Areia Grossa          | Areia Fina | Areia Total | Silte | Argila |
|---------------|-----------------------|------|-------|-----------------------|-----------------------|------------|-------------|-------|--------|
|               | (g cm <sup>-3</sup> ) | (%)  | (%)   | (cm h <sup>-1</sup> ) | (g kg <sup>-1</sup> ) |            |             |       |        |
| AP(0-18 cm)   | 2,38                  | 1,64 | 31,10 | 3,58                  | 660                   | 170        | 830         | 40    | 130    |
| A(18-34 cm)   | 2,42                  | 1,57 | 35,17 | 6,29                  | 640                   | 170        | 810         | 80    | 110    |
| AB(34-41 cm)  | 2,29                  | 1,58 | 31,23 | 4,89                  | 560                   | 160        | 720         | 80    | 200    |
| BA(41-51 cm)  | 2,26                  | 1,72 | 24,17 | 6,71                  | 420                   | 110        | 530         | 90    | 380    |
| B1(51- 92 cm) | 2,06                  | 1,45 | 29,86 | 7,82                  | 280                   | 40         | 320         | 160   | 520    |
| B2(92-132 cm) | 2,20                  | 1,48 | 32,76 | *                     | 280                   | 100        | 380         | 250   | 370    |
| BC(132-163+)  | *                     | *    | *     | *                     | 290                   | 160        | 450         | 250   | 300    |

DP – densidade de partículas; DS – densidade do solo; PT– porosidade total; K<sub>s</sub> - condutividade hidráulica do solo saturado; \* Não determinado por dificuldade na coleta.

As avaliações de escoamento superficial e perda de solo foram calculadas pela coleta do volume escoado em cada parcela. A coleta das amostras ocorreu em intervalos de 1 minuto, a partir do início do escoamento, e o volume de água foi quantificado com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL. A estimativa da perda de solo foi realizada determinando-se a massa de sedimentos escoada por amostra, após a secagem do material em estufa a 60° C (OLIVEIRA et al., 2010).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos resíduos e posteriormente a análise da variância (ANOVA), seguida da aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade dos erros para a comparação das médias. A análise estatística foi realizada utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Intensidade de precipitação, eficiência do uso da água e coeficiente de uniformidade

O aumento de rotação do disco obturador promove redução da intensidade de precipitação (IP) do *InfiAsper* (Tabela 2) (MACEDO et al., 2021). Nas diferentes rotações a IP variou de 26,7 a 146,4 mm h<sup>-1</sup> na parcela circular e de 28,2 a 114,9 mm h<sup>-1</sup> na parcela retangular. Os resultados observados na parcela de formato circular apresentaram chuvas com maiores intensidades nas rotações 138, 264, 420 rpm comparada a parcela retangular do simulador de chuvas *InfiAsper*. Além do formato da parcela, a área da parcela pode influenciar na IP das chuvas simuladas. Iserloh et al. (2013) avaliaram 13 simuladores de chuva portáteis e aqueles com áreas de 1,0 m<sup>2</sup>; 0,25 m<sup>2</sup> e 0,06 m<sup>2</sup> apresentaram IPs de 48, 50 e 360 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. Ou seja, quanto menor a área da parcela maior tende a ser a IP.

**Tabela 2.** Consumo de água (CA), intensidade de precipitação (IP), eficiência do uso de água (EUA) e coeficiente de uniformidade da chuva simulada (CUC) na parcela circular e parcela padrão do *InfiAsper*.

| Rotação (rpm) | CA (L min <sup>-1</sup> ) | Parcela circular         |         |         | Parcela retangular       |         |         |
|---------------|---------------------------|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|
|               |                           | IP (mm h <sup>-1</sup> ) | EUA (%) | CUC (%) | IP (mm h <sup>-1</sup> ) | EUA (%) | CUC (%) |
| 138           | 2,24                      | 146,4                    | 54,4    | 84,9    | 114,9                    | 59,5    | 81,2    |
| 264           | 1,61                      | 99,5                     | 51,6    | 89,3    | 80,8                     | 58,4    | 82,5    |
| 420           | 1,19                      | 75,7                     | 53,0    | 90,3    | 62,1                     | 60,6    | 81,0    |
| 684           | 0,58                      | 34,3                     | 49,3    | 83,0    | 35,4                     | 71,0    | 72,2    |
| 804           | 0,50                      | 26,7                     | 44,3    | 75,8    | 28,2                     | 65,1    | 67,5    |

O consumo de água (CA) do simulador variou de 0,50 a 2,24 L min<sup>-1</sup> e a eficiência do uso de água (EUA) de 44,3 a 54,4% na parcela circular, e de 58,4 a 71% na parcela retangular. Com o aumento da rotação e a diminuição da IP ocorreu um menor consumo de água pelo simulador *InfiAsper*. Este resultado pode estar relacionado com a diferença da área entre as duas parcelas, a parcela circular por apresentar menor área tem um menor aporte da quantidade de chuva sobre a parcela, por isso, a menor eficiência no uso da água na parcela circular.

O CA e a EUA dos simuladores avaliados por Iserloh et al. (2013) variaram de 0,49 a 3,24 L min<sup>-1</sup> e de 4,2 a 49,3%. Dos equipamentos avaliados pelos autores, os simuladores da Almeria e Valencia, com parcelas coletoras de formato circular com área de 0,283 e 0,246 m<sup>2</sup> apresentaram a maior eficiência do uso da água de 49,3 e 42,95%, respectivamente, com o consumo de água de 0,49 L min<sup>-1</sup>, para uma IP de 51 mm h<sup>-1</sup>. Os resultados dos autores divergem aos encontrados nesse estudo, possivelmente, em função da diferença dos modelos dos bicos de pulverizador (Veejet 80.150 - *InfiAsper*, Hardi 4680-10E - Almeria, Hardi 1553 12 - Valencia), das parcelas experimentais e da intensidade de precipitação.

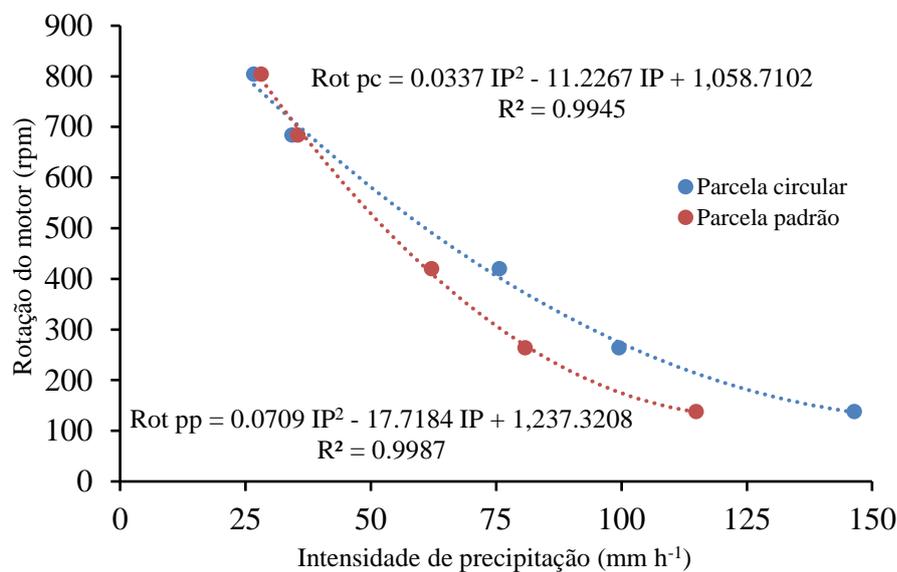
Para as diferentes rotações avaliadas, o coeficiente de uniformidade da chuva simulada (CUC) variou de 90,3 a 75,8% na parcela circular e 82,5 a 67,5% na parcela retangular, atingindo os maiores valores nas rotações de 420 rpm para a parcela circular e 264 rpm para a parcela retangular. Assim, os resultados indicam que a parcela circular proporcionou o aumento do CUC das chuvas simuladas pelo *InfiAsper* nas diferentes rotações testadas. Entre os 13 simuladores avaliados por Iserloh et al. (2013), o coeficiente de uniformidade da chuva variou de 60,6 a 97,8%. O maior coeficiente encontrado foi do simulador desenvolvido na

Universidade de Zaragoza que apresenta a parcela coletora de formato circular com uma área de 0,212 m<sup>2</sup>.

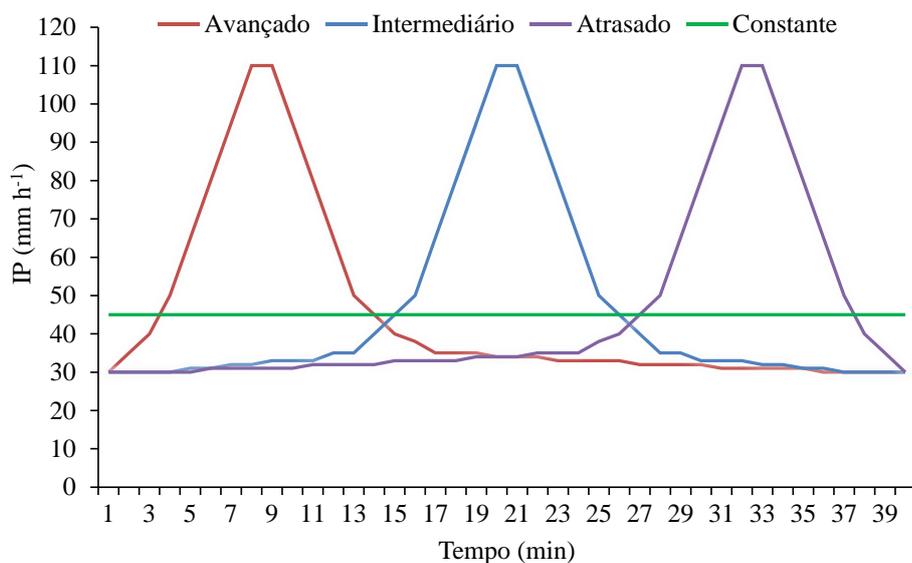
O coeficiente de uniformidade da chuva aplicada por um simulador desenvolvido por Cerdà et al. (1997) e Lasanta et al. (2000) em uma parcela coletora de formato circular com área de 0,21m<sup>2</sup> foi de 97,8% a uma intensidade de precipitação de 52,5 mm h<sup>-1</sup> em estudos para determinar a lâmina escoada e a perda de sedimentos em diferentes tipos de solos (LÉON et al., 2013). Portanto, o formato e área da parcela circular estão relacionados com a maior uniformidade da chuva simulada.

## 2.5.2 Caracterização dos padrões de precipitação

A partir das curvas de calibração (Figura 1) foram programados os padrões de precipitação conforme Figura 2. Para cada evento de chuva foi aplicada uma lâmina total de 30 mm e pico da IP de 110 mm h<sup>-1</sup>. A ocorrência do pico de IP ao longo do teste caracteriza o padrão, conforme descrito por Eltz (2001). Para o padrão constante, a IP foi mantida em 45 mm h<sup>-1</sup>, a fim de proporcionar a mesma lâmina aplicada nos demais padrões.



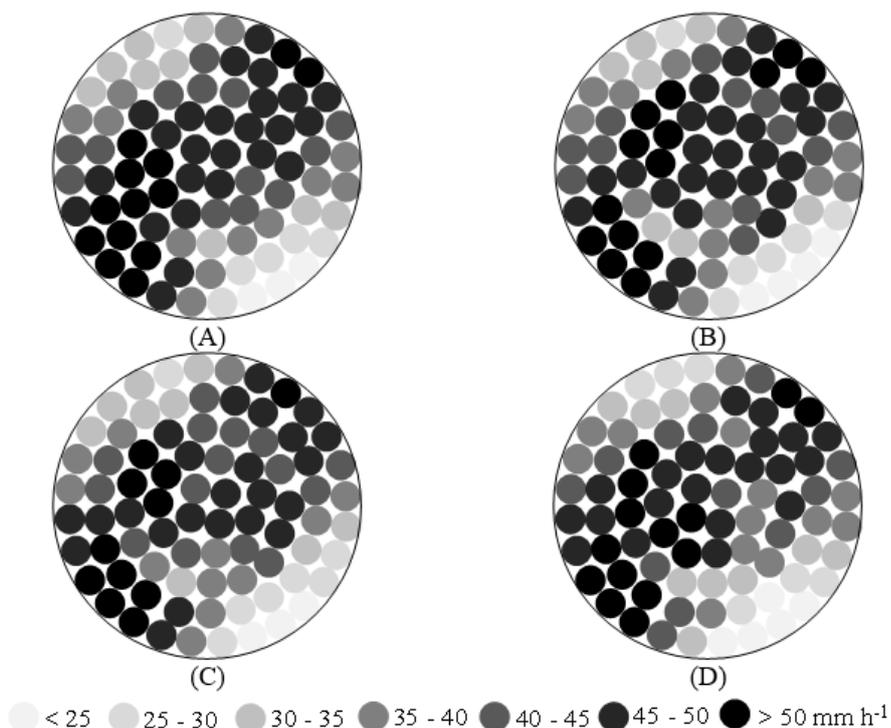
**Figura 1.** Curva de calibração obtida em testes com 5 minutos de duração na parcela circular e parcela do *InfiAsper*.



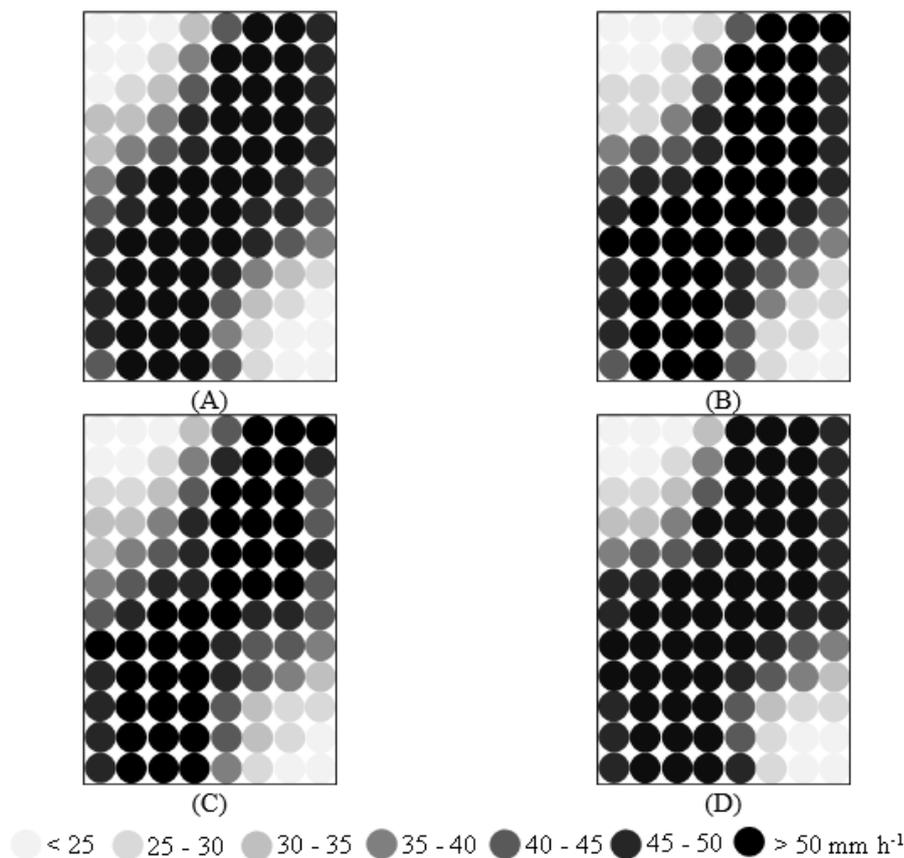
**Figura 2.** Padrões de precipitação obtidos com a calibração do simulador de chuvas para testes com 40 min de duração, pico de IP de 110 mm h<sup>-1</sup> e lâmina de 30 mm.

### 2.5.3 Distribuição Espacial da Intensidade de Precipitação

A distribuição espacial das IPs para os diferentes padrões de precipitação avaliados variou entre as parcelas experimentais (Figuras 3 e 4). De acordo com Iserloh et al. (2012), essa variabilidade pode ocorrer em função do designer da parcela coletora e também pelas características do simulador de chuvas.



**Figura 3.** Distribuição espacial da IP das chuvas aplicadas pelo *InfAsper* para os padrões Avançado (A), Intermediário (B), Atrasado (C) e Constante (D) (mm h<sup>-1</sup>) na parcela circular.



**Figura 4.** Distribuição espacial da IP das chuvas aplicadas pelo *InfiAsper* para os padrões Avançado (A), Intermediário (B), Atrasado (C) e Constante (D) ( $\text{mm h}^{-1}$ ) na parcela padrão do *InfiAsper*.

Verificamos uma boa uniformidade para todos os padrões em ambas as parcelas estudadas, ratificando o potencial de uso do *InfiAsper* para estudos de erosão hídrica com chuva simulada (Tabela 3). No entanto, notamos que a parcela circular apresenta melhores resultados de uniformidade que a retangular.

**Tabela 3.** Coeficientes de uniformidade (%) para as diferentes parcelas coletoras e padrões de precipitação.

| Parcelas | Padrões de precipitação |               |          |           |
|----------|-------------------------|---------------|----------|-----------|
|          | Avançado                | Intermediário | Atrasado | Constante |
| Padrão   | 78,2                    | 79,0          | 78,5     | 77,7      |
| Circular | 83,5                    | 83,8          | 83,5     | 81,7      |

#### 2.5.4 Perdas de Água e Solo

Os valores médios das lâminas escoadas e das perdas de solo variaram em função do formato das parcelas e dos padrões de precipitações (Tabela 4). No padrão AV, a lâmina escoada na parcela circular foi superior à observada na retangular, ao mesmo tempo que foi observado o inverso para o padrão AT; e similaridade na lâmina escoada nos dois formatos de parcelas para os padrões IN e CT. Dentro de cada parcela, no formato circular os maiores valores ocorreram nos padrões AV e IN, diferindo do padrão CT que apresentou o menor escoamento; ainda na parcela circular o padrão AT apresentou escoamento inferior ao AV e IN e superior ao CT, porém sem diferir dos mesmos. Com a parcela retangular os padrões IN e AT apresentaram os maiores escoamentos, diferindo dos padrões AV e CT que apresentaram escoamentos inferiores. O escoamento superior na parcela circular em relação à parcela

retangular no padrão AV é resultado do maior CUC (parcela circular 83,5% e retangular 78,2%), associado à área da parcela circular inferior à retangular e do aumento rápido da intensidade da precipitação no início do teste. A similaridade no escoamento entre as parcelas (circular e retangular) nos padrões IN e CT provavelmente pode estar associada a distribuição da precipitação de forma concentrada na metade da precipitação do IN e de forma homogênea no tempo ao longo do teste no padrão CT.

**Tabela 4.** Lâminas escoadas e perdas de solo nas parcelas circular e retangular em diferentes padrões de precipitação.

| Padrões de Precipitação | Lâmina escoada (mm) |                    | Perdas de solo (g m <sup>-2</sup> ) |                    |
|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
|                         | Parcela Circular    | Parcela Retangular | Parcela Circular                    | Parcela Retangular |
| Avançado                | 14,41aA             | 6,72bB             | 27,19aA                             | 7,82bAB            |
| Intermediário           | 14,28aA             | 11,99aA            | 16,75aAB                            | 13,09aA            |
| Atrasado                | 10,41bAB            | 14,08aA            | 10,55aBC                            | 13,66aA            |
| Constante               | 7,78aB              | 7,1aB              | 7,22aC                              | 5,65aB             |
| CV (%)                  | 20,67               |                    | 32,42                               |                    |

CV – coeficiente de variação. <sup>(1)</sup>Letras minúsculas comparam médias entre diferentes parcelas de escoamento superficial dentro de um mesmo padrão de precipitação. Letras maiúsculas comparam médias dentro da mesma parcela coletora de escoamento superficial em diferentes padrões de precipitação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A perda de solo diferiu entre as parcelas somente para o padrão AV, sendo superior na parcela circular, seguindo o comportamento da lâmina escoada. Nos demais padrões de precipitação não houve diferença nas perdas de solo entre as parcelas. Dentro de cada formato de parcela, na circular, a maior perda de solo ocorreu no padrão AV de precipitação, seguido em ordem decrescente dos padrões IN, AT e CT, respectivamente. Esta maior perda de solo no padrão AV em relação aos demais padrões está associada ao maior escoamento e explica-se pelas mesmas razões aplicadas ao escoamento.

Na parcela circular, a lâmina escoada variou de 14,41mm no padrão AV a 7,78mm no padrão CT e a perda de solo de 27,19 a 7,22 g m<sup>-2</sup>. Em contrapartida, na parcela retangular, a lâmina escoada variou de 14,08 a 7,10 e perda de solo de 13,66 a 5,65 g m<sup>-2</sup> nos diferentes padrões de precipitação avaliados.

Nos testes executados em laboratório, foi possível observar o aumento do CUC na parcela circular. Em função desse resultado, nos dados obtidos em experimento de campo, a maior uniformidade atribuída ao tamanho e formato da parcela circular pode ter contribuído para o aumento da lâmina escoada e perda de solo quando comparada aos resultados obtidos na parcela retangular. Utilizando um pequeno simulador portátil de chuva do tipo spray e parcelas experimentais de 0,28 m<sup>2</sup>, Iserloh et al. (2016) verificaram que parcela retangular produziu mais 42% de escoamento superficial e 104% de perda de solo com chuva simulada de 40 mm h<sup>-1</sup> e 30 min de duração, utilizando um substrato siltoso, em diferentes declividades (2°, 6° e 12°).

Além da diferença do formato, as parcelas avaliadas no presente estudo apresentam áreas diferentes, assim a menor área na parcela circular pode ter influenciado na geração dos maiores valores de escoamento superficial e perdas de solo, principalmente nos padrões IN e AV. Mayerhofer et al. (2017) avaliaram o uso de parcelas com áreas inferior a 4 m<sup>2</sup> e superior a 40 m<sup>2</sup>, utilizando simuladores de chuvas, com o objetivo de obter informações de uso de parcelas menores em áreas de bacias hidrográficas. Os autores constataram que a redução da área das parcelas aumenta o coeficiente de escoamento superficial.

Para os padrões de precipitação avaliados, verificamos diferenças nos resultados da lâmina escoada entre as parcelas nos padrões de precipitação AV e AT. O padrão AV proporcionou maior lâmina escoada na parcela circular (14,41 mm), em contrapartida, na

parcela retangular, a lâmina escoada de 14,08 mm no padrão AT foi a maior entre os demais padrões. Em relação ao comportamento dos padrões de precipitação na lâmina escoada, na parcela circular o CT diferiu do AV e IN, apresentando o menor valor, porém não diferiu do AT. Na parcela retangular, os maiores valores de escoamento ocorreram nos padrões IN e AT, deferindo do AV e CT.

Para os resultados de perdas de solo, apenas o padrão AV diferiu entre as parcelas circular e retangular. Assim, a lâmina escoada de 14,41 mm no padrão AV, na parcela circular, proporcionou uma perda de solo de 27,19 g m<sup>-2</sup>. Na parcela retangular, a maior perda de solo foi no padrão AT (13,66 g m<sup>-2</sup>), em seguida, IN (13,09 g m<sup>-2</sup>) e o AV (7,82 g m<sup>-2</sup>). No padrão CT, para as duas parcelas, ocorreu a menor perda de solo.

A inserção de padrões de precipitação proporcionou diferenças nas perdas de água e solo. Apesar da intensidade de precipitação média de 110 mm h<sup>-1</sup> aplicada ser a mesma para os diferentes padrões de precipitação, o momento que ocorre o pico de intensidade influenciou o escoamento superficial e o processo erosivo do solo. Alavinia et al. (2018) não encontraram diferenças significativa nos valores médios da lâmina escoada, entretanto, a perda de solo foi influenciada pelos padrões de precipitação. Parsons e Stone (2006) constataram que o padrão constante ocasionou uma perda de solo 75% menor do que a perda obtida nos demais padrões. Nesse trabalho, o padrão constante também proporcionou a menor perda de solo. Dessa forma, o padrão de precipitação constante não retrata a realidade dos processos erosivos influenciados pelo padrão natural das chuvas (OLIVEIRA et al., 2010).

O comprimento da parcela retangular pode ter influenciado na formação de sulcos durante a maior parte do evento da chuva simulada, e com a ocorrência do pico de precipitação aos 33 min, resultou nas maiores perdas de água e solo. Em trabalhos com chuvas simuladas, a maior perda de solo e água no padrão AT é justificada, principalmente, pelo período prolongado de molhamento que o solo é exposto antes do pico de maior intensidade da chuva (DUNKERLEY, 2011), o que pode proporcionar condições de maior umidade ou saturação do solo, resultando no aumento das taxas de escoamento superficial. Ao utilizarem a parcela retangular de 0,8 m<sup>2</sup> e um simulador de chuvas pendular Oliveira et al. (2010), relataram perdas de água e solo de 4,8 mm e 12,5 g m<sup>-2</sup> no padrão de precipitação AT em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sem cobertura vegetal e com declividade média de 0,09 mm<sup>-1</sup>. Os autores encontraram perdas de solo de 6,7; 10,8; 12,5 e 4,8 g m<sup>-2</sup> e de água na ordem 2,8; 3,9; 4,8 e 3,9 mm para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente.

O padrão AV proporcionou maiores perdas de solo e água na parcela circular comparado aos resultados da parcela retangular. Conforme esse resultado, a ocorrência do pico de intensidade de precipitação de 110 mm h<sup>-1</sup> no início do evento da chuva simulada em uma área de distribuição de 0,50 m<sup>2</sup> pode ter contribuído para o aumento das perdas de água e solo no AV. As maiores perdas de água e solo ocasionadas pelo padrão AV não são relatadas em trabalhos com simuladores de chuvas, porém em eventos de chuvas naturais, o AV é considerado o padrão de chuva de maior incidência, tornando-se responsável por ocasionar maiores perdas de água e solo (CARVALHO, et al. 2009; WANG et al., 2016).

A maior perda de solo e água no padrão AV, obtidas nesse trabalho com chuvas simuladas, também, pode estar relacionada com as características físicas e a composição granulométrica do solo da área onde foi desenvolvida a pesquisa. Assim, por se tratar de um Argissolo, com a presença do horizonte B textural (Bt), onde se encontra o maior acúmulo de argila (520 g kg<sup>-1</sup> na profundidade de 51-92 cm). Di Raimo et al. (2018), afirmam que o horizonte Bt ocasiona um impedimento na infiltração e drenagem da água que favorece o escoamento superficial e as perdas de solo. Portanto, como o pico de maior intensidade do padrão AV aconteceu no início do evento de 40 min de chuva, associado às características do solo (Tabela 1) pode ter influenciado a maior lâmina escoada e perda de solo.

Adicionalmente, o alto valor de densidade do solo ( $1,64 \text{ g cm}^{-3}$ ) e a baixa porosidade (31,10%) para um horizonte superficial desse Argissolo podem ser resultantes do selamento superficial das partículas do solo, principalmente da areia fina, que ocasiona a dispersão e o entupimento dos poros, reduzindo a infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial (SCHAEFER et al., 2002).

## 2.6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou avaliar a influência do formato da parcela experimental nas perdas de água e solo utilizando o simulador de chuvas *InfiAsper* em diferentes padrões de precipitação. Foram utilizadas parcelas experimentais de formato retangular de 0,70 m<sup>2</sup> (1.0 x 0.7 m) e circular com 0,50 m<sup>2</sup> em testes de laboratório e campo.

A parcela circular aumenta a uniformidade da chuva simulada fazendo com que a lâmina escoada e a perda de solo fossem maiores, exceto no padrão atrasado. O padrão de precipitação avançado proporcionou maiores perdas de água e solo na parcela circular.

O uso de parcelas experimentais de diferentes formatos e áreas interfere na avaliação de perdas de água e solo em condições de chuvas simuladas com o simulador *InfiAsper*. A parcela circular melhor representou os processos de escoamento superficial e perdas de solo comparada à parcela retangular.

## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUDI, I.; CARMI, G.; BERLINER, P. Rainfall simulator for field runoff studies. **Journal of Hydrology**, v. 454-455, p. 76–81, 2012.
- 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, 2018.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; MENEZES, R.S.; ALVES SOBRINHO, T.; DE CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v. 175, p. 130-138, 2017.
- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 337-344, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H. G.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 63-170, 2008.
- AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M.A.; SANTORO, V.C. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. **Journal Hydrology**, v. 293, p. 100–114, 2004.
- BRENNAN, M. S.; NARASIMHA, M.; HOLTHAM, P. N. Multiphase modelling of hydrocyclones. Prediction of cut-size. **Minerals Engineering**, v. 20, p. 395-406, 2007.
- CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S.; PINTO, M.F.; SILVA, L. D.B.; GUERRA, J.G.M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3–9, 2009.
- CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1072–1078, 2015.
- CERDÀ, A., IBÁÑEZ, S.; CALVO, A. Design and operation of a small and portable rainfall simulator on rugged terrain. **Soil Technologic**, v. 11, p. 163 –170, 1997.
- CONFESSOR, 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**, v. 19, n. 1, p. 221-229, 2018.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices as expressed by a mulch factor. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 48, n. 2, p. 368-73, 1984.
- DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias (Lisboa)**, v. 42, p. 55-67, 2019.

DUNKERLEY, D. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 15, p. 2211–2224, 2011.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 485-493, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

KABELKA, D.; KINCL, D.; JANEČEK, M.; VOPRAVIL, J.; VRÁBLÍK, P. Reduction in soil organic matter loss caused by water erosion in inter-rows of hop gardens. **Soil and Water Research**, v. 14, n. 3, p. 172–182, 2019

ISERLOH, T.; FISTER, W.; SEEGER, M.; WILLGER, H.; RIES, J. B. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 131-137, 2012.

ISERLOH, T.; RIES, J. B.; ARNÁEZ, J.; BOIX-FAYOS, C.; BUTZEN, V.; CERDÀ, A.; ECHEVERRÍA, M.T.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; FISTER, W.; GEIBLER, C.; GÓMEZ, J.A.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; KUHN, N.J.; LÁZARO, R.; LEÓN, F.J.; MARTÍNEZ-MENA, M.; MARTÍNEZ-MURILLO, J.F.; MARZEN, M.; MINGORANCE, M.D.; ORTIGOSA, LL.; PETERS, P.; REGÜÉS, D.; RUIZ-SINOGA, J.D.; SCHOLTEN, T.; SEEGER, M.; SOLÉ-BENET, A.; WENGEL, R.; WIRTZ, S. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. **Catena**, v. 110, p. 100–112, 2013.

ISERLOH, T.; BÄTHKE, L.; RIES, J.B. Round versus rectangular: does plot shape matter? **Geophysical Research Abstracts**, v.18, 2016 (EGU2016-9197-1).

KABELKA, D.; KINCL, D.; JANEČEK, M.; VOPRAVIL, J.; VRÁBLÍK, P. Reduction in soil organic matter loss caused by water erosion in inter-rows of hop gardens. **Soil and Water Research**, v. 14, n. 3, p. 172–182, 2019.

KINNELL, P. I. A. A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. **Catena**, v. 145, p. 257–265, 2016.

LASANTA, T., GARCÍA-RUIZ, J. M., PÉREZ-RONTOMÉ, C; SANCHO-MARCÉN, C. Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. – **Catena**, v. 38, p. 265 – 278, 2000.

LEÓN, J.; ECHEVERRÍA, M.T.; BADÍA, D.; MARTÍ, C.; ÁLVAREZ, C. Effectiveness of wood chips cover at reducing erosion in two contrasted burnt soils. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 57, p. 027–037, 2012.

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**, v. 596, p. 126052, 2021.

MAYERHOFER, C.; MEIBL, G.; KLEBINDER, K.; KOHL, B.; MARKART, G. Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator – Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments. **Catena**, v. 156, p. 184–196, 2017.

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.

MONTEBELLER, C.A.; CARVALHO, D.F.; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES, A.C.S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 1-5, 2001.

NADAL-ROMERO, E.; REGÜÉS, D. Detachment and infiltration variations as consequence of regolith development in a Pyrenean badland system. **Earth surface processes and landforms**, v. 34, p. 824–838, 2019.

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. **Hydrology Processes**, v. 33, n. 26, p. 3364–3377, 2019.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. de J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140–147, 2010.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. de; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 261-268, 2006.

PANACHUKI, E.; SANTOS, M. A. N.; PAVEI, D. S.; ALVES SOBRINHO, T.; CAMACHO, M. A.; MONTANARI, R. Soil and water loss in Ultisol of the Cerrado-Pantanal Ecotone under different management systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 926-932, 2015.

PARSONS, A.J; STONE, P.M. Efeitos das variações intra-tempestades na intensidade da chuva sobre o escoamento entre os sulcos e a erosão. **Catena**, v. 67, n. 1, p. 68-78, 2006.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JÚNIOR, V. P; MONTENEGRO, S. M. G L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 29-39, 2008.

SADEGHI, S. H. R.; SEGHALEH, M. B.; RANGAVAR, A. S. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed. **CATENA**, v. 102, p. 55–61, 2013.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SOUSA JUNIOR, S.F.D.; MENDES, T.A.; SIQUEIRA, E.Q.D. Development and calibration of a rainfall simulator for hydrological studies. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 22, 2017.

WANG, W.; YIN, S.; XIE, Y.; LIU, B.; LIU, Y. Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. **Catena**, v. 141, p. 56–65, 2016.

ZHAO, L.; HOU, R.; WU, F.; KEESSTRA, S. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 179, p. 47–53, 2018.

### **3. CAPÍTULO II**

## **PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES SOB PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO COM CHUVA SIMULADA EM ÁREA ADUBADA COM CAMA DE FRANGO**

### 3.1 RESUMO

O processo erosivo, caracterizado pelas perdas de solo, água e nutrientes, é a principal causa de degradação dos solos e proporciona inúmeras consequências para o setor agrícola e ao meio ambiente. O objetivo desse trabalho foi avaliar as perdas de solo, água e nutrientes, e os atributos químicos do solo em área com e sem adubação com cama de frango sob chuvas simuladas com diferentes padrões de precipitação, além do impacto financeiro em decorrência das perdas de nutrientes. Utilizando o simulador *InfiAsper*, chuvas com padrões Avançado (AV), Intermediário (IN), Atrasado (AT) e Constante (CT) foram simuladas em uma área com Argissolo Vermelho-Amarelo, segundo delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, totalizando oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos equivaleram às áreas com (CCF) e sem (SCF) aplicação superficial de cama de frango e sujeitas aos quatro padrões de precipitação, totalizando 32 unidades experimentais. Foram aplicadas chuvas com 40 min de duração e intensidade média de 45 mm h<sup>-1</sup>. Os valores médios das lâminas escoadas não variaram em função da adubação, contudo houve diferenças nas perdas de solo entre os tratamentos SCF e CCF para o padrão AT (10,55 e 34,98 g m<sup>-2</sup>) e CT (7,22 e 15,88 g m<sup>-2</sup>). As maiores perdas de nutrientes nos tratamentos CCF, independente do padrão de chuva, estão relacionadas à presença da cama de frango. Nos tratamentos CCF, o padrão IN propiciou a maior perda de N (26,76 g kg<sup>-1</sup>) e P (14,58 g kg<sup>-1</sup>), enquanto no padrão AV foi obtida o maior valor de K (8,42 kg<sup>-1</sup>). Nas parcelas CCF o valor médio de perda de carbono orgânico total foi de 202,01 g kg<sup>-1</sup>. A análise financeira indicou perdas de R\$ 737,05 ha<sup>-1</sup> na Baixada Fluminense e de aproximadamente 3 vezes maior na região Serrana do estado do Rio de Janeiro (R\$ 2.403,75 ha<sup>-1</sup>). Pode-se concluir que em área com aplicação superficial de cama de frango, os padrões de precipitação interferem nas perdas de N, P e K, e que as perdas financeiras de nutrientes ocasionadas pela erosão hídrica podem ser ainda mais acentuadas quando consideradas áreas de maior declividade.

**Palavras chaves:** Erosão hídrica. Simulador de chuvas. Padrões de precipitação. Adubo orgânico.

### 3.2 ABSTRACT

The erosion process, characterized by the soil, water and nutrients losses, is the main cause of soil degradation and has numerous consequences for the agricultural sector and the environment. The objective of this work was to evaluate the effect of rainfall patterns in simulated rainfall on soil, water, nutrient losses and alteration of soil chemical attributes after simulated rainfall in an area with and without fertilization with poultry litter, and the financial impact resulting from nutrient losses. Using the *InfiAsper* simulator, rains with different precipitation patterns were simulated in an area with Red-Yellow Argisol, according to a randomized block design, in a 2 x 4 factorial scheme, totaling eight treatments and four replications. The treatments were equivalent to the areas with poultry litter application (CCF) and without (SCF) followed by four precipitation patterns (Advanced - AV, Intermediate - IN, Delayed - AT and Constant - CT), totaling 32 experimental units. The average values of the drained sheets did not vary according to the application of the poultry litter residue. However, there were differences in soil losses between the SCF and CCF treatments for the AT (10.55 and 34.98 g m<sup>-2</sup>) and CT (7.22 and 15.88 g m<sup>-2</sup>) patterns. The greatest losses of nutrients in the CCF treatment, regardless of the rainfall pattern, are related to the presence of poultry litter applied superficially. In the CCF treatments, the IN pattern provided the highest value of N (26.76 g kg<sup>-1</sup>) and P (14.58 g kg<sup>-1</sup>), while in the AV pattern, the highest amount of K (8.42 kg<sup>-1</sup>) was obtained. In the CCF plots, the average value of organic carbon loss was 202.01 g kg<sup>-1</sup>. The financial analysis indicated losses of R\$ 737.05 ha<sup>-1</sup> in the Baixada Fluminense and approximately 3 times greater in the Serra region of the state of Rio de Janeiro (R\$ 2,403.75 ha<sup>-1</sup>). It can be concluded that in an area with superficial application of poultry litter, the different precipitation patterns interfere with the losses of N, P and K, and that the financial losses of nutrients caused by water erosion can be even more accentuated when considering areas of greater slope.

**Key words:** Water erosion. Rainfall simulator. Precipitation patterns. Organic fertilizer.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica proporciona grande impacto ambiental com vasta dimensão, sobretudo em áreas com alto regime pluviométrico (LIMA et al., 2013), e é responsável pela degradação de aproximadamente 56% das áreas agrícolas do mundo (Correa et al., 2016). Por conta disso, estima-se uma perda de solo anual no Brasil de 1,18 bilhão de toneladas, totalizando um custo anual de US\$ 5,2 bilhões apenas com a reposição de nutrientes perdidos em áreas agrícolas (SIMÕES et al., 2019).

O processo erosivo inicia com o impacto das gotas de chuva no terreno provocando o desprendimento das partículas do solo e posterior transporte e deposição das mesmas em locais adjacentes (PANACHUKI et al., 2006). Como consequência ocorrem as perdas de nutrientes, matéria orgânica, água e sedimentos e ainda, a contaminação do solo e da água (BERTOL et al., 2003; GUILLES, et al., 2009; WANG et al., 2014; BRAMORSKI et al., 2015), que se tornam mais intensas em áreas de cultivo com declividades elevadas (SANTOS et al., 2020) e precipitações orográficas com alta intensidade (CARVALHO et al., 2005).

As perdas de solo e nutrientes ocorrem em função da água do escoamento superficial, que em forma de enxurrada é capaz de transportar nutrientes solúveis e aqueles adsorvidos aos sedimentos carregados (BERTOL et al., 2017). Assim, a concentração de nutrientes presentes nos sedimentos e na água escoada por erosão hídrica varia principalmente em função da sua concentração no solo e do tipo de solo, manejo da área e adubação empregada (HERNANI et al., 1999; BERTOL et al., 2011).

A adubação mineral ou orgânica empregada nas áreas agrícolas constituem fontes de incorporação de nutriente ao solo. Muitos produtores têm utilizado a cama de frango como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, e como entrada de carbono no solo, apresentando grande potencial como adubo orgânico (BLUM et al., 2003; SANTOS DALÓLIO et al., 2017) na produção de diversas culturas, principalmente hortaliças (OLIVEIRA et al., 2006; BLIND et al., 2010). De acordo com Toor et al. (2009), a cama de frango é uma fonte orgânica com altos teores de nutrientes, principalmente N e P.

O uso de simuladores de chuvas em estudos relacionados à erosão hídrica tem sido difundido visando à obtenção de resultados de forma rápida ocasionados por este problema (OLIVEIRA et al., 2010; CARVALHO et al. 2015; PANACHUKI et al., 2015; ALMEIDA et al., 2017). Os simuladores são equipamentos que apresentam diferentes características que permitem a reprodutibilidade dos experimentos, eliminando a variabilidade, imprevisibilidade e irregularidade dos eventos de chuvas naturais (BOULANGE et al., 2019; SABER et., 2019). Dentre os modelos portáteis, o *InfAsper* (Alves Sobrinho et al., 2008) é o mais utilizado no Brasil e tem sido empregado em estudos de erosão hídrica em diferentes condições de manejo e uso do solo (CARVALHO et al., 2022).

Como os eventos de chuva natural ocorrem com variação de intensidade (IP) durante sua duração (ALAVINIA et al., 2019; DUNKERLEY, 2021), os simuladores conseguem melhor representar um evento natural se possuem mecanismos que permitam a variação instantânea da IP ao longo dos testes. Nesse sentido, Macedo et al. (2021) propuseram um novo painel de controle para o *InfAsper* que possibilita a variação automática da IP mediante a seleção de padrões de precipitação pré-definidos.

Neste trabalho, chuvas com diferentes padrões de precipitação foram relacionadas à adubação com cama de frango visando avaliar as perdas de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos (COS) erodidos e os atributos químicos no solo após a aplicação da chuva simulada pelo *InfAsper*. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito dos padrões de precipitação nas perdas de solo, água, nutrientes e a alteração de atributos químicos no solo após a chuva simulada em área com e sem adubação com cama de frango, e o impacto financeiro em decorrência das perdas de nutrientes.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de agosto a setembro de 2021, em uma área experimental localizada no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil (-22,76083 S, -43,69760 W), com declividade média de 0,09 m m<sup>-1</sup>. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2015; SANTOS et al., 2018). Os atributos químicos foram avaliados no perfil do solo até 1,63 m de profundidade (Tabela 5), segundo a metodologia do manual de métodos de análises de solo (TEIXEIRA et al., 2017).

**Tabela 5.** Atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo nos diferentes horizontes.

| Horizont | Prof. cm | pH H <sub>2</sub> O | Ca   | Mg   | Al                                 | H + Al | Na   | P                   | K  | S                                  | T    | V  |
|----------|----------|---------------------|------|------|------------------------------------|--------|------|---------------------|----|------------------------------------|------|----|
|          |          |                     |      |      | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |        |      | mg dm <sup>-3</sup> |    | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      | %  |
| AP       | 0-18     | 6,41                | 2,10 | 0,30 | 0,15                               | 3,14   | 0,02 | 13                  | 33 | 2,51                               | 5,64 | 44 |
| A        | 18-34    | 6,19                | 2,00 | 0,50 | 0,10                               | 1,98   | 0,01 | 4                   | 9  | 2,54                               | 4,52 | 56 |
| AB       | 34-41    | 6,09                | 2,50 | 0,70 | 0,10                               | 2,31   | 0,02 | 1                   | 9  | 3,24                               | 5,55 | 58 |
| BA       | 41-51    | 6,05                | 2,10 | 1,80 | 0,25                               | 1,65   | 0,01 | 0                   | 4  | 3,92                               | 5,57 | 70 |
| B1       | 51-92    | 6,11                | 2,30 | 1,90 | 0,00                               | 1,82   | 0,01 | 1                   | 2  | 4,22                               | 6,03 | 70 |
| B2       | 92-132   | 6,01                | 1,20 | 2,60 | 0,15                               | 2,31   | 0,02 | 5                   | 2  | 3,83                               | 6,14 | 62 |
| BC       | 132-163+ | 5,78                | 0,10 | 1,50 | 1,30                               | 3,63   | 0,04 | 3                   | 4  | 1,65                               | 5,28 | 31 |

Ca (cálcio), Mg (magnésio), Al (alumínio), H + Al (hidrogênio e alumínio), Na (sódio), P (fósforo), K (potássio), S (soma de bases), T (capacidade de troca de cátions) e V (saturação por bases).

Além da caracterização química do perfil, foi realizada amostragem em 10 pontos aleatórios na camada arável (0-0,20 m) da área experimental para a caracterização dos atributos químicos (TEIXEIRA et al., 2017) e a quantificação do carbono orgânico do solo (COS) (Tabela 6), via úmida pela oxidação com o dicromato de potássio (WALKLEY; BLACK, 1934).

**Tabela 6.** Caracterização dos atributos químicos da área experimental na profundidade de 0-20 cm.

| Prof. cm | pH H <sub>2</sub> O | Ca  | Mg   | Al   | H+Al | Na   | P                          | K  | COS                |
|----------|---------------------|---|------|------|------|------|----------------------------|----|--------------------|
|          |                     | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |      |      |      |      | ---mg dm <sup>-3</sup> --- |    | g kg <sup>-1</sup> |
| 0-20     | 5,82                | 1,40  | 0,40 | 0,00 | 2,48 | 0,02 | 5                          | 59 | 25,82              |

Ca (cálcio), Mg (magnésio), Al (alumínio), H + Al (hidrogênio e alumínio), Na (sódio), P (fósforo), K (potássio), COS – carbono orgânico do solo.

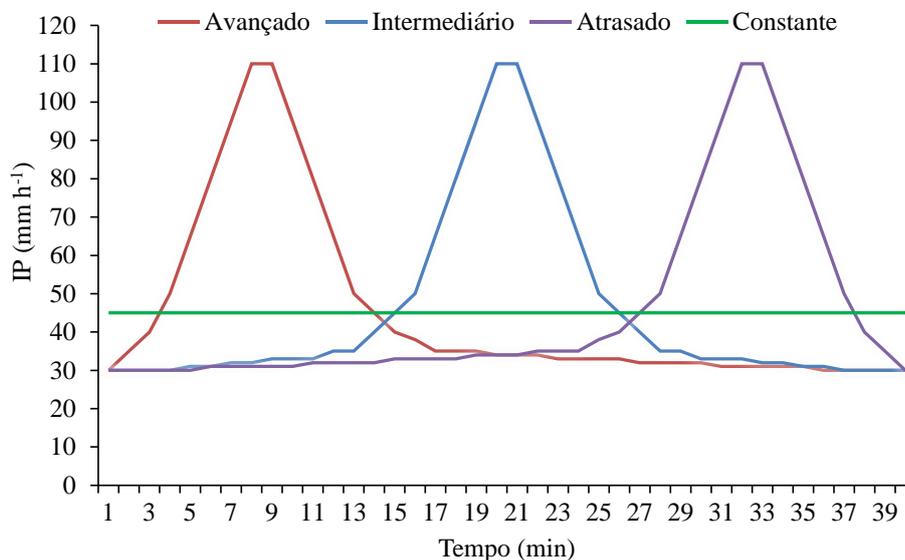
O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, e quatro repetições. Os tratamentos foram parcelas com (CCF) e sem (SCF) cama de frango e quatro padrões de precipitação (Avançado - AV, Intermediário - IN, Atrasado - AT e Constante - CT), totalizando 32 unidades experimentais. Nas parcelas que receberam adubação foram aplicados 165,50 g de cama de frango, equivalente a 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, cuja caracterização química (BRASIL, 2014) é apresentada na Tabela 7.

**Tabela 7.** Caracterização química da cama de frango.

| pH (H <sub>2</sub> O) | K <sub>2</sub> O (%) | Ca (%) | Mg (%) | Na (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | N (%) | MO (%) |
|-----------------------|----------------------|--------|--------|--------|-----------------------------------|-------|--------|
| 7,60                  | 4,30                 | 3,17   | 0,67   | 0,64   | 15,11                             | 3,20  | 59,47  |

Foi utilizado o simulador de chuvas *InfAsper* (ALVES SOBRINHO et al., 2008), operando com uma motobomba de 1,0 cv (DANCOR/W48J) e parcela experimental circular de 0,5 m<sup>2</sup>. Conforme metodologia apresentada por Carvalho et al. (2022), o equipamento foi programado para simular chuvas com os diferentes padrões de precipitação, considerando IP

média de  $45 \text{ mm h}^{-1}$ , lâmina de 30 mm, duração de 40 min e IP máxima de  $110 \text{ mm h}^{-1}$  (Figura 5).



**Figura 5.** Padrões de precipitação obtidos com a calibração do simulador de chuvas para testes com 40 min de duração, pico de IP de  $110 \text{ mm h}^{-1}$  e lâmina de 30 mm.

A declividade das unidades experimentais foi de  $0,09 \text{ m m}^{-1}$  e uma vez instaladas, as parcelas receberam um pré-molhamento com a finalidade de padronizar a umidade do solo e favorecer a ocorrência do escoamento superficial (COGO et al., 1984). De acordo com Macedo et al. (2021), o *InfiAsper* foi posicionado aplicando as chuvas conforme o padrão selecionado.

As avaliações de escoamento superficial e perda de sedimentos foram realizadas a partir da coleta do volume escoado (VE) em cada parcela, que ocorreu em intervalos de 1 minuto, a partir do início do escoamento. O volume foi quantificado com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL e a lâmina calculada pela razão entre VE e a área da parcela experimental. A estimativa da perda de solo foi realizada determinando-se a massa de sedimentos escoada por amostra, após a secagem do material em estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  (OLIVEIRA et al., 2010). Em seguida, o sedimento proveniente da enxurrada foi retirado com o auxílio de um pincel e armazenado em recipientes plásticos, para posterior análise de N, P, K e COS. Foram utilizados 0,20 g do material escoado proveniente dos tratamentos CCF e 0,50 g do material dos tratamentos SCF para as análises de N, P e K; para a análise de COS foram utilizadas 0,25 g para todas as amostras.

A determinação de P e K nos sedimentos foi realizada em espectrofotômetro e fotômetro de chamas, respectivamente, após digestão nítrica de acordo com Tedesco et al. (1995). A determinação do N total foi realizada pelo método de digestão e destilação Kjeldahl (TEIXEIRA et al., 2017). A quantidade de N, P, K e COS ( $\text{g kg}^{-1}$ ) dos sedimentos provenientes da enxurrada de cada parcela foi multiplicada pela perda total de sedimentos ( $\text{g m}^{-2}$ ), e posteriormente convertida em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Após o término da chuva simulada, amostras de solo foram coletadas com o trado sonda de 0-0,20 m em todas as parcelas experimentais e determinados o pH, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, K, P e o COS, de acordo com Teixeira et al. (2017).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos resíduos, da análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 5% de probabilidade dos erros para a comparação das médias, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

Uma análise financeira simplificada referente às perdas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O pela erosão hídrica foi realizada considerando os índices pluviométricos da Baixada Fluminense, onde o trabalho foi realizado, e da região Serrana do estado do Rio de Janeiro, importante polo de produção de hortaliças no Estado (SANTOS et al., 2020). Foram utilizados os índices pluviométricos referentes às estações localizadas nos municípios de Seropédica-RJ (cod. 83741, -22,80° S, -43,68o W, 33,0 m de altitude) e de Teresópolis-RJ (cod. 83744, -22,42° S, -42,97o W, 874,2 m de altitude), de acordo com as Normais Climatológicas do Brasil, para os períodos 1981-2010 e 1991-2020, respectivamente (INMET, 2022).

Para estimar os custos das perdas dos nutrientes foram utilizados os preços dos fertilizantes e da cama de frango disponibilizados na Central de Abastecimento do Rio de Janeiro (CEASA), sendo esses R\$ 648,00; R\$ 354,00; R\$ 818,00 e R\$ 75,00 por cada 100 kg de ureia, superfosfato simples, cloreto de potássio e da cama de frango, respectivamente. O N foi expresso com base no preço do kg de N na forma de ureia (45% de N), o P com base no preço do kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e o K com base no preço do kg de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), resultando em valores por kg do nutriente de R\$ 14,40 (N), R\$ 17,70 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e R\$ 13,63 (K<sub>2</sub>O). Na cama de frango, os valores dos nutrientes foram R\$ 2,96; R\$ 3,63 e R\$ 2,80 por kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e K<sub>2</sub>O, respectivamente, considerando sua caracterização química.

Em função das características climáticas, os cultivos de couve-flor, brócolis, beterraba, tomate, quiabo, repolho, dentre outras hortaliças que utilizam tanto os fertilizantes minerais quanto a cama de frango, ocorrem no período de abril a outubro na Baixada Fluminense e de outubro a abril na região Serrana. As precipitações médias mensais nos respectivos períodos são: 76,3; 63,8; 38,6; 37,7; 28,9; 87,0 e 97,8 mm (Abr-Out) e 106,4; 231,5; 277,4; 285,1; 179,1; 216,9; e 106,3 mm (Out-Abr). Para estimar as perdas financeiras de N, P e K as respectivas perdas em kg ha<sup>-1</sup> foram transformadas em kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> de chuva simulada e, posteriormente, multiplicadas pela precipitação mensal correspondente às duas regiões, considerando o percentual dos padrões de chuvas AV (60,0%), IN (24,0%) e AT (16%), determinado por Carvalho et al. (2005).

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Perda de solo e escoamento superficial

As lâminas escoadas e as perdas de solo não sofreram influência dos padrões de precipitação com a aplicação da cama de frango (CCF) (Tabela 8). Nas parcelas SCF, as lâminas escoadas variaram de 7,78 a 14,41 mm, com os maiores valores nos padrões AV e IN, diferindo do padrão CT que apresentou o menor escoamento. No AT o escoamento apresentou valor intermediário e não diferiu dos demais padrões de precipitação. Nos tratamentos CCF, as lâminas escoadas entre os padrões de precipitação variaram de 9,94 mm (CT) a 12,51 mm (AT). Entre os tratamentos SCF e CCF não houve diferença nas lâminas escoadas independentemente do padrão de precipitação.

**Tabela 8.** Lâminas escoadas e perdas de sedimentos em parcelas experimentais sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) submetidas a diferentes padrões de precipitação.

| Padrões de Precipitação | Lâmina escoada (mm) |          | Perdas de solo (g m <sup>-2</sup> ) |          |
|-------------------------|---------------------|----------|-------------------------------------|----------|
|                         | SCF                 | CCF      | SCF                                 | CCF      |
| Avançado                | 14,41 aA            | 11,97 aA | 27,19 aA                            | 28,42 aA |
| Intermediário           | 14,28 aA            | 10,98 aA | 16,75 aAB                           | 27,82 aA |
| Atrasado                | 10,41 aAB           | 12,51 aA | 10,55 bBC                           | 34,98 aA |
| Constante               | 7,78 aB             | 9,94 aA  | 7,22 bC                             | 15,88 aA |
| CV (%)                  | 28,24               |          | 58,87                               |          |

Média de 4 repetições. CV – coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam os padrões de precipitação dentro dos tratamentos SCF e CCF. Letras minúsculas comparam os tratamentos SCF e CCF dentro de cada padrão de precipitação. Teste Tukey a 5% de probabilidade dos erros.

A perda de solo nas parcelas CCF variou de 7,22 (CT) a 27,19 g m<sup>-2</sup> (AV), diferindo-se entre si. O padrão AV também foi superior ao AT, porém não diferiu do IN. Os padrões IN e AT apresentaram perdas intermediárias aos valores observados para os padrões AV e CT, sem diferir entre si. Entre os tratamentos SCF e CCF houve diferença nas perdas de sedimentos nos padrões AT e CT, com o tratamento SCF sendo inferior ao CCF.

Os resultados deste estudo indicam que a aplicação da cama de frango influencia no escoamento superficial e na perda de sedimentos nos padrões AT e CT, tornando-os similares aos observados nos padrões AV e IN, diferente do observado para o tratamento SCF. O aumento do escoamento e das perdas de sedimentos nos padrões AT e CT com a aplicação da cama de frango, em relação ao tratamento SCF, possivelmente seja decorrente da associação entre o entupimento dos poros do solo com a translocação das partículas mais finas da cama de frango no perfil do solo e o maior acúmulo de água na superfície do terreno na fase final dos testes, resultante da redução do volume de poros livres em função da translocação da cama de frango.

Estudos que avaliam as perdas de água e sedimentos com diferentes padrões de precipitação com chuva simulada com e sem a aplicação de fertilizantes orgânicos são escassos literatura. Avaliando o escoamento superficial e a perda de sedimentos com diferentes formas de preparo do solo e adubações com fertilizantes minerais e cama de aviário, Gilles et al. (2009) verificaram que as perdas de solo e água não foram influenciadas pela adubação, contrariando os resultados do nosso estudo. O estudo foi realizado em área de Argissolo Vermelho distrófico típico, com textura franco-arenosa na camada superficial, declividade média de 0,13 m m<sup>-1</sup>, aplicando chuva simulada de 90 min com IP constante de 64 mm h<sup>-1</sup>. Mecabô Junior et al. (2014) avaliaram a influência da aplicação de dejetos líquidos de suinocultura na erosão hídrica sob chuvas de 75 min e IP de 65 mm h<sup>-1</sup>, aplicadas por um simulador tipo Swanson. As perdas de solo e água não foram influenciadas pelas doses do dejetos aplicado, e os autores atribuíram a similaridade nos resultados à influência do teor de umidade no solo antecedente à aplicação

das chuvas.

Em relação ao escoamento superficial e às perdas de sedimentos obtidos as parcelas SCF, os resultados corroboram com Carvalho et al. (2012), que avaliando as perdas de água e solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com cobertura vegetal e declividade média de 0,09 mm<sup>-1</sup>, verificaram maiores perdas de solo nos padrões de precipitação AV, IN e AT em relação ao padrão CT. Estes resultados reforçam a hipótese de que a adubação com cama de frango influencia a infiltração da água no solo e, conseqüentemente, as perdas de água e sedimentos. Segundo Oliveira et al. (2010), o padrão de precipitação CT não retrata com clareza a dinâmica do processo erosivo resultante de chuvas naturais, o que parece ficar ainda mais evidente com estes resultados.

Ao avaliarem o escoamento superficial em bancadas experimentais com dois tipos de solo e declividade de 0,5%, Alavinia et al. (2019) não encontraram diferenças significativas nos valores médios de lâmina escoada considerando diferentes padrões de precipitação. De acordo com Tao et al. (2017), o início do escoamento superficial está relacionado ao momento da ocorrência do pico de precipitação, entretanto, os padrões de precipitação pouco interferem no escoamento total. Em nosso estudo foi verificado que as perdas de água e sedimentos sofreram influência da aplicação da cama de frango. Por se tratar de um Argissolo, o horizonte B textural (Bt) proporciona certa influência no movimento de água no solo e conseqüentemente na infiltração, o que favorece o escoamento superficial e as perdas de solo (DI RAIMO et al., 2018), acentuando a influência da aplicação da cama de frango. Nos tratamentos CCF, a perdas de solo não diferiram estatisticamente entre os padrões de precipitação. Porém, o AT teve o maior escoamento e, conseqüentemente, maior perda de sedimentos. De um modo geral, o padrão AT é responsável por ocasionar maiores perdas de solo em chuvas simuladas, pois o solo é submetido a um maior período de umedecimento antes da ocorrência do pico de intensidade de precipitação (DUNKERLEY, 2011), proporcionando maior umidade ou saturação do solo, e aumento das taxas de escoamento superficial e perdas de solo.

A perda de solo com a aplicação da cama de frango variou de 7,22 no padrão CT a 27,19 g m<sup>-2</sup> no AV, diferindo entre si. O padrão AV também foi superior ao AT, porém não diferiu do IN. Os padrões IN e AT apresentaram perdas intermediárias aos valores observados para os padrões AV e CT, sem diferir entre si. Entre os tratamentos SCF e CCF houve diferença nas perdas de sedimentos nos padrões AT e CT, com o tratamento SCF sendo inferior ao CCF.

Os resultados deste estudo mostram que a aplicação da cama de frango influenciou no escoamento superficial e na perda de sedimentos nos padrões de precipitação AT e CT, elevando os valores nestes padrões, tornando-os similares aos observados nos padrões AV e IN, diferente do observado para o tratamento SCF. O aumento do escoamento e das perdas de sedimentos nos padrões AT e CT com a aplicação da cama de frango, em relação ao tratamento SCF possivelmente seja decorrente da associação entre o entupimento dos poros do solo, com a translocação das partículas mais finas da cama de frango no perfil do solo e o maior acúmulo de água na superfície do solo na fase final dos testes, resultante da redução do volume de poros livres em função da translocação da cama de frango.

Estudos que avaliam as perdas de água e sedimentos com diferentes padrões de precipitação com chuva simulada com e sem a aplicação de fertilizantes orgânicos são escassos literatura. Em trabalho desenvolvido por Gilles et al. (2009), avaliando em um Argissolo Vermelho distrófico típico com textura franco-arenosa na camada superficial e declividade média de 0,13 m m<sup>-1</sup>, com chuva simulada de 64 mm h<sup>-1</sup> e duração de 90 minutos, o escoamento superficial e a perda de sedimentos com diferentes formas de preparo do solo e adubações com fertilizantes minerais e cama de aviário, verificaram que as perdas de solo e água não foram influenciadas pela adubação, contrariando os resultados do nosso estudo. Em outro estudo desenvolvido por Mecabô Junior et al. (2014), avaliando a influência de uma aplicação de dejetos líquido de suínos na erosão hídrica promovida por chuvas simuladas de 65 mm h<sup>-1</sup> e duração de

75 min, utilizando um simulador tipo Swanson, foi verificado que as perdas de solo e água não foram influenciadas pelas doses do dejetos aplicado; os autores atribuíram a similaridade nos resultados à influência do teor de umidade no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas.

Em relação ao escoamento superficial e as perdas de sedimentos, no tratamento SCF, nosso estudo corrobora com os resultados de Carvalho et al. (2012), que avaliando as perdas de água e solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com cobertura vegetal e declividade média de 0,09 mm<sup>-1</sup>, também verificaram maiores perdas de solo nos padrões de precipitação AV, IN e AT em relação ao padrão CT. Estes resultados reforçam a hipótese de que a adubação com a cama de frango influenciou na infiltração da água no solo e conseqüentemente nas perdas de água e sedimentos. Segundo Oliveira et al. (2010), o padrão de precipitação CT não retrata com clareza a dinâmica do processo erosivo resultante de chuvas naturais, o que parece ficar ainda mais evidente com estes resultados.

Ao avaliarem dois tipos de solo em uma bancada experimental com declividade de 0,5%, Alavinia et al. (2019) não encontraram diferenças significativas nos valores médios de lâmina escoada considerando diferentes padrões de precipitação. Para os autores, a lâmina escoada depende das características do solo. De acordo com Tao et al. (2017), o início do escoamento superficial está relacionado com o momento da ocorrência do pico de precipitação, entretanto, os padrões de precipitação pouco interferem no escoamento total. Em nosso estudo foi verificado que as perdas de água e sedimentos sofreram influência do manejo do solo com a aplicação da cama de frango. Por se tratar de um Argissolo, o horizonte B textural (Bt) proporciona um impedimento na infiltração e drenagem da água que favorece o escoamento superficial e as perdas de solo (DI RAIMO et al., 2018), acentuando a influência da aplicação da cama de frango. Nos tratamentos CCF, as perdas de solo não diferiram estatisticamente entre os padrões de precipitação. Porém, o AT teve o maior escoamento e conseqüentemente maior perda de sedimentos. Em trabalhos citados na literatura, o padrão AT é responsável por ocasionar maiores perdas de solo em chuvas simuladas. Neste padrão, o solo é submetido a um maior período de umedecimento antes da ocorrência do pico de intensidade de precipitação (DUNKERLEY, 2011), o que pode proporcionar condições de maior umidade ou saturação do solo, favorecendo o aumento das taxas de escoamento superficial e perdas de solo.

### 3.5.2 Perda de Nutrientes

Com exceção dos valores de K<sub>2</sub>O no padrão AT, os valores médios de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e do carbono orgânico dos sedimentos (CO) diferiram entre os tratamentos SCF e CCF para os quatro padrões de precipitação (Tabela 9). Estes resultados confirmam que grande parte do material escoado foi proveniente da cama de frango e indicam que o uso desse fertilizante orgânico promove o aumento dos teores de nutrientes no material erodido nas áreas agrícolas (MISHRA et al., 2006). Ao avaliarem o uso de cama frango para melhoria de atributos físicos do solo, Guimarães et al. (2010) verificaram em sua composição química 185,6 g kg<sup>-1</sup> de CO; 40 g kg<sup>-1</sup> de N; 37,7 g kg<sup>-1</sup> de P e 32,1 g kg<sup>-1</sup> de K. Em contrapartida, Bolan et al. (2010) encontraram concentrações de 25,7; 6,7 e 10,1 kg Mg<sup>-1</sup> para N, P e K, respectivamente. Essa variabilidade na composição química da cama de frango está relacionada a diversos fatores, como a procedência do material utilizado e eficiência da ração, entre outros (ÁVILA et al., 2007; ÁVILA et al., 2008).

**Tabela 9.** Concentrações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e COS nos sedimentos escoados em parcelas sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas com 40 min de duração, 30 mm e picos de intensidade de 110 mm h<sup>-1</sup>.

| Padrões de Precipitação | N                  |     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |     | K <sub>2</sub> O |     | COS |     |
|-------------------------|--------------------|-----|-------------------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|
|                         | SCF                | CCF | SCF                           | CCF | SCF              | CCF | SCF | CCF |
|                         | g kg <sup>-1</sup> |     |                               |     |                  |     |     |     |

|               |        |          |        |          |        |         |          |          |
|---------------|--------|----------|--------|----------|--------|---------|----------|----------|
| Avançado      | 8,22bA | 20,81aAB | 2,88bA | 22,31aB  | 3,83bA | 10,10aA | 90,58bA  | 203,15aA |
| Intermediário | 8,02bA | 26,76aA  | 1,98bA | 33,53aA  | 3,59bA | 6,97aAB | 89,57bA  | 202,52aA |
| Atrasado      | 7,93bA | 17,94aB  | 2,62bA | 20,31aB  | 3,61aA | 5,92aB  | 92,90bA  | 211,92aA |
| Constante     | 9,76bA | 21,94aAB | 2,60bA | 26,61aAB | 3,97bA | 7,82aAB | 107,84bA | 194,32aA |
| CV (%)        | 28,11  |          | 32,77  |          | 34,75  |         | 13,69    |          |

Média de 4 repetições. N- Nitrogênio; P- Fósforo ( $P_2O_5$ ); K – Potássio ( $K_2O$ ); COS – carbono orgânico dos sedimentos. CV – coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam os padrões de precipitação dentro de cada tratamento (SCF e CCF). Letras maiúsculas comparam os tratamentos SCF e CCF dentro de cada padrão de precipitação. Teste Tukey a 5% de probabilidade dos erros.

Não houve diferenças nas concentrações de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  nos sedimentos presentes no escoamento medido nas parcelas SCF. Devido aos baixos teores no solo (Tabela 6), as chuvas simuladas não proporcionam arraste em quantidades suficientes que pudessem diferir entre os padrões de precipitações. Com a aplicação da cama de frango, no entanto, foram observadas diferenças nas perdas de nutrientes em função dos padrões de precipitação. O N apresentou a maior perda no padrão IN e a menor no padrão AT, sendo verificados valores intermediários nos padrões AV e CT sem diferir entre si, nem tampouco dos padrões IN e AT. O  $P_2O_5$  apresentou resultado relativamente similar ao observado para o N, com exceção do padrão AV que diferiu do IN, assim como o AT. A concentração de  $K_2O$  também apresentou o menor valor no padrão AT, assim como observado para o N e  $P_2O_5$ , porém apresentou a maior concentração nos sedimentos obtidos no padrão AV.

Os resultados verificados para as concentrações de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  nos sedimentos produzidos pelo escoamento superficial com os diferentes padrões de precipitações indicam que não existe uma relação direta entre volume de sedimentos produzidos e nutrientes perdidos, uma vez que não houve diferença entre as perdas de sedimentos nos padrões de precipitação (Tabela 8). A maior concentração de N e  $P_2O_5$  nos sedimentos oriundos do padrão IN em relação aos demais pode ser resultante da maior solubilização em função do maior tempo de escoamento e continuação da precipitação após o pico da chuva até o final do teste. Esse mesmo raciocínio se aplica ao  $K_2O$ , entretanto, por ser mais solúvel que o N e  $P_2O_5$  a maior concentração ocorreu no padrão AV que proporcionou maior solubilização no início do teste e continuou o escoamento até o final do mesmo. Estes resultados corroboram com Tao et al. (2017), que afirmam que chuvas com picos nos estágios iniciais dos eventos favorecem o arraste dos nutrientes disponíveis na superfície do solo. Os resultados deste estudo não se assemelham aos relatados por Henorman et al. (2021), que verificaram que os padrões de precipitação não influenciaram na dinâmica das perdas de nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo. No entanto, os autores encontraram maiores concentrações desses nutrientes em amostras coletadas no início da chuva e concluíram que o padrão avançado comparado com os padrões constante, atrasado, intermediário resultou em perdas de nutrientes mais intensas.

O COS não diferiu entre os padrões de precipitações dentro dos tratamentos SCF e CCF. Este resultado possivelmente seja decorrente da pequena duração da chuva simulada (40 min) e lâmina aplicada (30 mm), não sendo o suficiente para arrastar volumes de sedimentos diferentes entre os padrões de precipitação, principalmente no tratamento CCF (Tabela 8), mesmo com PI de  $110 \text{ mm h}^{-1}$ .

As perdas de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  e carbono orgânico dos sedimentos (COS) escoados em  $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  não foram influenciados pelos padrões de precipitações nos dois tratamentos (SCF e CCF), porém apresentaram diferenças entre os tratamentos SCF e CCF dentro dos padrões de precipitação em algumas situações (Tabela 10). De maneira geral, as perdas foram maiores com a aplicação da cama de frango, no entanto, sem diferir estatisticamente do tratamento SCF para alguns padrões de precipitação devido à elevada variabilidade das médias e conseqüentemente dos coeficientes de variação, características normalmente observadas em estudos dessa natureza. No padrão AT, as perdas dos três nutrientes e do COS no tratamento SCF foram

estatisticamente inferiores às perdas observadas no tratamento CCF. Comportamento semelhante foi observado para N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e COS no padrão IN. Estes resultados levam a inferir que estes dois padrões de precipitação (IN e AT) tem maior potencial de dissolução e arraste de nutrientes e COS, no entanto, a grande variabilidade compromete a definição de uma conclusão consistente. Apesar da grande variabilidade dos valores, o elevado potencial de perdas de nutrientes e COS, de prejuízos econômicos e de contaminação da água resultante do escoamento superficial com o uso da cama de frango como fonte de adubação é evidente. O aumento das perdas de nutrientes e COS observados neste estudo corroboram com Quinton et al. (2010), no qual foi realizado um compilado sobre o impacto da erosão dos solos agrícolas nos ciclos de carbono, nitrogênio e fósforo. O P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentou a maior perda quando comparado à amplitude dos valores perdidos nas parcelas SCF e CCF, o que se explica pela elevada concentração na cama de frango (Tabela 10). Elevado potencial de contaminação da água de escoamento superficial por P também foi observado por Lemos et al. (2020), que avaliaram as perdas de P, K, Ca e Mg com chuvas simuladas em sistemas de manejo convencional e plantio direto utilizando dejetos suínos como fertilizante orgânico.

**Tabela 10.** Perdas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e COS em kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, em parcelas sem cama de frango (SCF) e com cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas com 40 min duração, 30 mm e picos de intensidade de 110 mm h<sup>-1</sup>.

| Padrões de Precipitação | N                                    |         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |         | K <sub>2</sub> O |         | COS     |         |
|-------------------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|
|                         | SCF                                  | CCF     | SCF                           | CCF     | SCF              | CCF     | SCF     | CCF     |
|                         | kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> |         |                               |         |                  |         |         |         |
| Avançado                | 0,075aA                              | 0,197aA | 0,026bA                       | 0,211aA | 0,035bA          | 0,095aA | 0,821aA | 1,925aA |
| Intermediário           | 0,045bA                              | 0,250aA | 0,011bA                       | 0,311aA | 0,020aA          | 0,065aA | 0,500bA | 1,878aA |
| Atrasado                | 0,028bA                              | 0,209aA | 0,009bA                       | 0,236aA | 0,013bA          | 0,069aA | 0,327bA | 2,471aA |
| Constante               | 0,023aA                              | 0,116aA | 0,006aA                       | 0,141aA | 0,010bA          | 0,041aA | 0,260bA | 1,030aA |
| CV (%)                  | 82,45                                |         | 86,48                         |         | 78,03            |         | 78,59   |         |

Média de 4 repetições. N- Nitrogênio; P- Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); K – Potássio (K<sub>2</sub>O); COS – carbono orgânico dos sedimentos. CV – coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam os padrões de precipitação dentro de cada tratamento (SCF e CCF). Letras maiúsculas comparam os tratamentos SCF e CCF dentro de cada padrão de precipitação. Teste Tukey a 5% de probabilidade dos erros.

Os atributos químicos do solo analisados na camada de 0,0-0,20m após a aplicação da chuva simulada apresentaram pequenas variações em função dos tratamentos SCF e CCF e dos padrões de precipitação, exceto Na, P e K, e o COS (Tabela 11). O pH, Ca, Al e H+AL não diferiram em função da aplicação da cama de frango e dos padrões de precipitação. No padrão AT, o Mg nas parcelas SCF apresentou teor inferior ao observado CCF. O Na apresentou teores no tratamento SCF inferiores aos observados CCF, exceto no padrão de precipitação de precipitação IN onde não houve diferença entre os tratamentos. Apesar da diferença no incremento de Na no solo nas parcelas CCF em relação às SCF, os valores não têm relevância agrônômica, por apresentarem baixa magnitude.

Os teores de P, K e COS foram mais impactados pelos tratamentos SCF e CCF e os padrões de precipitação. O teor de P no solo SCF apresentou o menor valor no padrão AV, deferindo do IN que apresentou o maior valor, porém sem diferir do AT e CT, que também não diferiram do AV. Para o tratamento CCF o menor teor de P foi observado no padrão AT e o maior no CT, com valores intermediários para AV a IN. O teor de K solo no tratamento SCF não foi influenciado pelos padrões de precipitação, em contrapartida, com a CCF os padrões AV e CT apresentaram valores superiores aos observados nos padrões IN e AT, diferindo do IN. Quanto aos teores no solo SCF e CCF dentro dos padrões de precipitação, os teores de P e

K apresentaram comportamento semelhante, sendo inferior no tratamento SCF nos padrões AV e CT, sem diferir nos padrões IN e AT.

**Tabela 11.** Atributos químicos e carbono orgânico do solo na profundidade de 0-20 cm em áreas sem (SCF) e com adubação de cama de frango (CCF) sob diferentes padrões de precipitação, para chuvas simuladas de 30 mm.

| Padrão de Precipitação | Ca                                |            | Mg                             |             | Al         |            | H+Al               |            | Na         |            |
|------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------------------|-------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|
|                        | -----cmol c dm <sup>3</sup> ----- |            |                                |             |            |            |                    |            |            |            |
|                        | SCF                               | CCF        | SCF                            | CCF         | SCF        | CCF        | SCF                | CCF        | SCF        | CCF        |
| Avançado               | 2,05aA                            | 2,15aA     | 1,98aA                         | 1,50aA      | 0,33a<br>A | 0,29a<br>A | 4,58a<br>A         | 6,31a<br>A | 0,02b<br>A | 0,04a<br>A |
| Intermediário          | 1,77aA                            | 1,75aA     | 1,50aA                         | 1,78aA      | 0,28a<br>A | 0,30a<br>A | 5,12a<br>A         | 6,44a<br>A | 0,01aA     | 0,02a<br>A |
| Atrasado               | 2,18aA                            | 1,68aA     | 1,03bA                         | 2,20aA      | 0,29a<br>A | 0,28a<br>A | 5,40a<br>A         | 6,77a<br>A | 0,01b<br>A | 0,03a<br>A |
| Constante              | 1,80aA                            | 1,78aA     | 2,03aA                         | 1,68aA      | 0,25a<br>A | 0,31a<br>A | 5,86a<br>A         | 5,73a<br>A | 0,01b<br>A | 0,03a<br>A |
| <b>CV</b>              | 27,22                             |            | 31,64                          |             | 22,30      |            | 43,31              |            | 42,42      |            |
| Padrão de Precipitação | pH                                |            | P                              |             | K          |            | COS                |            |            |            |
|                        | H <sub>2</sub> O                  |            | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |             |            |            | g kg <sup>-1</sup> |            |            |            |
|                        | SCF                               | CCF        | SCF                            | CCF         | SCF        | CCF        | SCF                | CCF        |            |            |
| Avançado               | 5,98a<br>A                        | 5,85a<br>A | 3,33bB                         | 12,24aB     | 45bA       | 111aA      | 17,94bA            | 39,96aA    |            |            |
| Intermediário          | 5,85a<br>A                        | 5,84a<br>A | 8,48aA                         | 9,01aB<br>C | 59aA       | 70aB       | 18,66bA            | 39,50aA    |            |            |
| Atrasado               | 6,14a<br>A                        | 5,85a<br>A | 7,67aAB                        | 7,16aC      | 58aA       | 79aAB      | 18,57bA            | 35,75aA    |            |            |
| Constante              | 5,95a<br>A                        | 5,77a<br>A | 7,38bA<br>B                    | 16,75aA     | 39bA       | 111aA      | 17,04bA            | 39,56aA    |            |            |
| <b>CV</b>              | 4,27                              |            | 25,36                          |             | 25,29      |            | 12,94              |            |            |            |

Ca (cálcio), Mg (magnésio), Al (alumínio), H + Al (hidrogênio e alumínio), Na (sódio), P (fósforo), K (potássio), CO – carbono orgânico, CV – coeficiente de variação. <sup>(1)</sup>Letras minúsculas comparam médias entre as linhas. Letras maiúsculas comparam médias na coluna. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

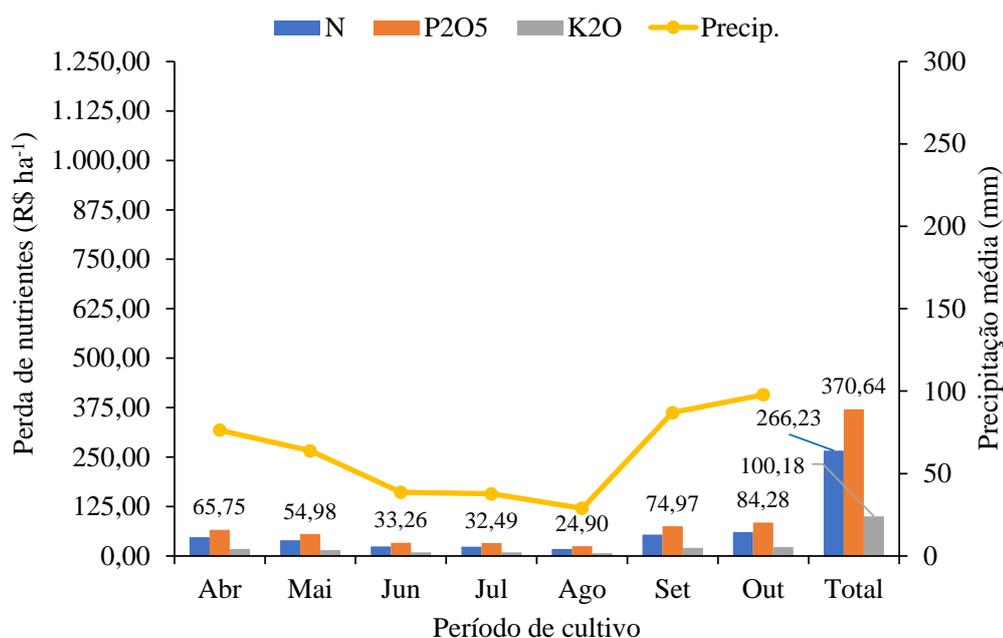
Os resultados indicam que o revolvimento do solo com uma aração e duas gradagens, e o processo de simulação das chuvas promoveram elevação do teor de P no solo, haja vista, o seu teor no solo antes destas atividades (5 mg dm<sup>-3</sup>) (Tabela 6). A redução do teor de P no padrão AV nos possibilita inferir que esta chuva ocorrida de forma mais intensa no início do evento ocasionou maior perda no escoamento superficial, o que se confirma com o maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no tratamento SCF no padrão AV quando se avaliou a concentração em g kg<sup>-1</sup> de sedimentos (Tabela 9), embora a diferença seja apenas numérica; em função dos valores serem relativamente baixos nos quatro padrões de precipitações. Referente aos tratamentos CCF, a concentração de P no padrão de precipitação CT diferiu dos demais.

Como o padrão CT não apresenta o pico de intensidade de precipitação, a lâmina aplicada pode ter influenciado na maior concentração de P no solo. A redução do teor de K no solo no tratamento CCF, nos padrões IN e AT pode estar associada à ocorrência do pico de IP na parte mais central do evento (IN aos 22 min e AT aos 33 min) e à elevada solubilidade e mobilidade do K na solução do solo (ERNANE et al., 2007). Isso favorece sua lixiviação para além de 0,20m de profundidade, uma vez que a concentração de K nos sedimentos arrastados para esses mesmos padrões de precipitação também foi inferior aos valores observados para os padrões AV e CT (Tabela 8).

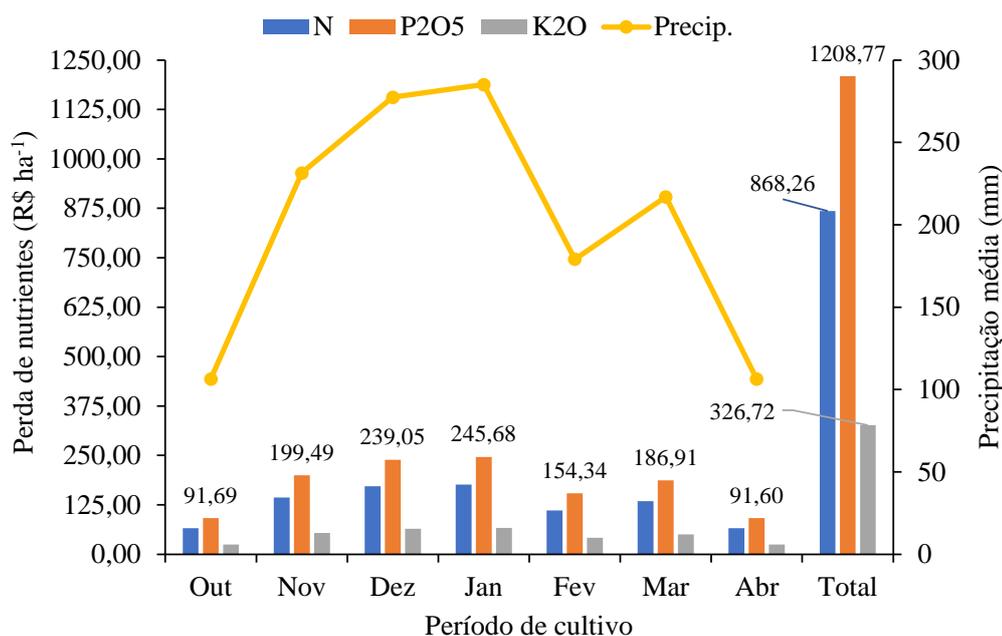
Em relação ao carbono orgânico do solo (COS), o tratamento CCF resultou em valores superiores aos observados no tratamento SCF, diferindo entre si (SCF e CCF) nos quatro padrões de precipitação. Resultado semelhante foi observado para a concentração ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de carbono orgânico nos sedimentos escoados (Tabela 8). A similaridade entre os teores de carbono orgânico entre os padrões de precipitação, tanto nos sedimentos escoados quanto no solo após o evento de chuva simulada provavelmente seja resultante do estado de curtimento da cama de frango utilizada no ensaio e da textura do solo ( $820 \text{ g kg}^{-1}$  de areia total de 0,0 a 0,34m de profundidade). A associação do solo e das características da cama de frango propiciou ao mesmo tempo o arraste de uma parte desta com o escoamento superficial e a percolação de outra parte no perfil do solo. Estes resultados levam a inferir que a perda de carbono orgânico do solo nas condições deste estudo, levando-se em conta a textura do solo, as características da cama de frango e do tempo e volume de chuva aplicada, a textura do solo e as características da cama de frango tiveram mais influência nas perdas de nutrientes e no que foi incorporado no solo.

### 3.5.3 Análise Financeira da Perda de Nutrientes

Para as duas localidades analisadas, as maiores perdas financeiras foram observadas para o  $\text{P}_2\text{O}_5$ , seguido do N e do  $\text{K}_2\text{O}$ . Para a Baixada Fluminense (Figura 6) o mês de menor perda é agosto e o de maior outubro. Na região Serrana (Figura 7), a maior e a menor perdas ocorreram nos meses de janeiro e abril, respectivamente. Como a perda dos nutrientes foi calculada com base no custo por hectare por milímetro de chuva ( $\text{R\$ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), a variação entre as maiores e as menores perdas para cada região ocorreu em função da variação dos índices pluviométricos de cada região e da época de cultivo, que ocorre de forma mais intensa no período que abrange a primavera/verão na região Serrana (período chuvoso) e outono/inverno na Baixada Fluminense (período de baixa precipitação). A maior perda para o  $\text{P}_2\text{O}_5$  em relação ao N e  $\text{K}_2\text{O}$  se justifica pela elevada concentração de P na cama de frango comparada às concentração de N e K (Tabela 7).



**Figura 6.** Perda financeira de nutrientes em razão do processo erosivo, considerando o período de cultivo de abril a outubro em Seropédica-RJ (Baixada Fluminense).



**Figura 7.** Perda financeira de nutrientes em razão do processo erosivo, considerando o período de cultivo de outubro a abril em Teresópolis-RJ (Região Serrana).

Em valores totais, a perda na Baixada Fluminense é de R\$ 737,05 ha<sup>-1</sup> e na região Serrana de R\$ 2.403,75 ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 3 vezes superior. Considerando que as áreas normalmente ocupadas com lavouras de hortaliças na região Serrana apresentam declives acentuados (SCHULTZ et al., 2020), muito acima da declividade da área experimental onde os testes com as chuvas simuladas foram realizados (0,09 m m<sup>-1</sup>) e que o cultivo de hortaliças na região é realizado no período de chuvas mais intensas e frequentes, os prejuízos com a perda de solo, água e nutrientes podem ser ainda muito maiores do que os constatados neste estudo. Ao avaliarem as perdas de nutrientes pelo escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica, Bertol et al. (2011) observaram que a concentração total de K nos sedimentos provenientes da enxurrada foi 120% mais elevada quando foi aplicada chuva com intensidade de precipitação de 120 mm h<sup>-1</sup>, comparada às chuvas com intensidades de precipitação de 60 e 70 mm h<sup>-1</sup>.

Estes resultados indicam que o manejo dos solos agrícolas na região Serrana requer atenção especial, fazendo-se necessária a adoção de sistemas conservacionistas, como por exemplo, o cultivo de hortaliças em sistema plantio direto. De acordo com Dechen et al. (2015), quanto maior a taxa de cobertura do solo menores são os custos com a aplicação de fertilizantes associados à erosão hídrica. Os custos com as perdas de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, expressos na forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (42%), KCl (60%) e CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (38%) pelo processo erosivo foram de US\$ 107,76 e US\$ 18,15 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para as taxas de 0% e 90% de cobertura do solo no período de 1987 e 1996 no município de Campinas, Estado de São Paulo, com precipitação média anual de 1430 mm. Em 2022, esses valores atingiriam R\$ 516,17 e R\$ 86,93 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

### 3.6 CONCLUSÕES

A adubação com cama de frango reduz as diferenças no escoamento superficial e nas perdas de sedimentos entre os diferentes padrões de precipitação.

Na ausência de adubação com cama de frango, os padrões de precipitação AV, IN e AT possuem o mesmo potencial de promover escoamento superficial, mas com a adubação (CCF) a associação de chuvas de padrão AT e CT promove aumento nas perdas de sedimentos.

Independente do padrão de precipitação, a aplicação da cama de frango eleva a concentração de N, P, K e COS nos sedimentos escoados e, conseqüentemente, os prejuízos financeiros e ambientais, porém não promove alteração do pH e dos teores de Ca, Mg, Al e H+Al no solo após a chuva simulada.

A aplicação da cama de frango promove elevação do teor de COS no solo após a chuva simulada, nos quatro padrões de precipitação, bem como do teor de P e K nos padrões AV e CT e de Na nos padrões AV, AT e CT.

A maior perda financeira está associada ao P, seguido de N e K.

### 3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAVINIA, M.; SALEH, F. N.; ASADI, H. Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. **International Journal of Sediment Research**, v. 34, p. 270–278, 2019.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; MENEZES, R.S.; ALVES SOBRINHO, T.; DE CARVALHO, D.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v. 175, p. 130-138, 2017.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H. G.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 63-170, 2008.
- ÁVILA, V. S.; ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P.; BRUM, P. A. R.; OLIVEIRA, U. **Valor agrônômico da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos**. Comunicado Técnico 466, 4p. 2007.
- ÁVILA, V. S.; OLIVEIRA, U.; FIGUEIREDO, E. A. P.; COSTA, C.A.F.; ABREU, V.M.N.; ROSA, S.R. Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário. **Revista Brasileira de Zootecnia** (online), v. 37, n. 2, p. 273-277, 2008.
- AUN, N.J; DE ASSIS, R.L. Organic agriculture and rural networks in the mountain environments of Região serrana fluminense, Rio de Janeiro, Brazil. **Royal Society Open Science**, v. 8, p. 200498, 2021.
- BRAMARSKI, J.; TRIVELIM, P.C.O; CRESTANA, S. Nitrogen loss by erosion from mechanically tilled and untilled soil under successive simulated rainfalls. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1204-1211, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. 220 p.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Nutrients losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v.60, n.3, p.581-586, 2003. BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FEY, E.; LANA, M.C. Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v. 41, n. 11, p.1 914-1920, 2011.
- BERTOL, I.; LUCIANO, R.V.; BERTOL, C.; BAGIO, B. Nutrient and Organic Carbon Losses, Enrichment Rate, and Cost of Water Erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 241, p. e0160150, 2017.
- BLIND, A.D.; NODA, H.; SILVA FILHO, D.F. Produtividade de cultivares de brócolis tipo ramoso em função de diferentes manejos de adubação em Presidente Figueiredo-AM. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. S2050-S2057, 2010.
- BLUM, L.E.B.; AMARANTE, C.V.T.; GÜTTLER, G.; MACEDO, A. F.; KOTHE, D.; SIMMLER, A.; PRADO, G.; GUIMARÃES, L. Produção de moranga e pepino em solo com incorporação de cama aviária e casca de pinus. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 627-631, 2003.

BOLAN, N.; SZOGI, A.; CHUASAVATHI, T.; SESHADRI, B.; ROTHROCK, M.; PANNEERSELVAM, P. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 4, p. 673-698, 2010.

BOHARA, H.; DODLA, S.; WANG, J. J.; DARAPUNENI, M.; ACHARYA, B. S.; MAGDI, S.; PAVULURI, K. Influence of poultry litter and biochar on soil water dynamics and nutrient leaching from a very fine sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 44–51, 2019.

BOULANGE, J.; F. MALHAT.; P. JAIKAEW.; K. NANKO.; H. WATANABE. 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.

BRAMORSKI, J.; TRIVELIN, P. C. O.; CRESTANA, S. Nitrogen loss by erosion from mechanically tilled and untilled soil under successive simulated rainfalls. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1204–1211, 2015.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CARVALHO, D. F.; SOUZA, W. J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R.; GUERRA, J. G. M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Revista de Engenharia agrícola**, v. 32, n. 4, p. 708-717, 2012.

CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1072–1078, 2015.

CARVALHO, D. F.; MACEDO, P.M.S.; PINTO, M.F; ALMEIDA, W.S.; SCHULTZ, N. Soil loss and runoff obtained with customized precipitation patterns simulated by *InfiAsper*. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, p. 1, 2022.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices as expressed by a mulch factor. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 48, n. 2, p. 368-73, 1984.

CORREA, S. W.; MELLO, C. R.; CHOU, S. C.; CURI, N.; NORTON, L. D. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. **Catena**, v. 147, p. 110-124, 2016.

DAI, C.; LIU, Y.; WANG, T.; LI, Z.; ZHOU, Y. Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 41–48, 2010.

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; MARIA, I.C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia** (São Paulo, SP. Eletrônico), v. 74, p. 224-233, 2015.

DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias** (Lisboa), v. 42, p. 55-67, 2019.

DUNKERLEY, D. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 15, p. 2211–2224, 2011.

DUNKERLEY, D. The importance of incorporating rain intensity profiles in rainfall simulation studies of infiltration, runoff production, soil erosion, and related landsurface processes. **Journal of Hydrology**, v. 603, p. 126834, 2021.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. D.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GUILLES, L.; COGO, N.P.; BISSANI, C.A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J.C. Water, soil, organic matter, and nutrient losses by rainfall erosion from an area of native pasture cropped with corn, influenced by tillage methods and fertilization types. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GUO, M; SONG, W. Nutrient value of alum-treated poultry litter for land application. **Poultry Science**, v. 88, p. 1782-1792, 2009.

HENORMAN, H.M.; THOLIBON, D.A.; NUJID, M.M; MOKHTAR, H.; RAHIM. J.A.; SAADON, A. **The Effects of Rainfall Patterns on Runoff, Sediment, and Nutrients Under Various Artificial Rainfall Experiments**. 08 December 2021, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-961967/v1>].

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO E PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR EROSÃO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso realizado em 09/04/2022.

LIMA, C.A.; PALÁCIO, H.A.Q.; ANDRADE, E.M.; SANTOS, J.C.N.; BRASIL, P.P. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semiarid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1222–1229, 2013.

LEMOS, A. M.; CASSOL, E. A.; BARROS, C. A. P. Losses of water, soil, and nutrients during high-intensity simulated rainfall in two soil management systems different sources of fertilization. **Ciência Rural**, v. 50, n. 10, p. e20190306, 2020.

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**, v. 596, p. 126052, 2021.

MECABÔ JÚNIOR, J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; OSELAME, G.S. Erosão hídrica influenciada por uma aplicação de dejetos líquidos de suínos no solo cultivado em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1601-1611, 2014.

MISHRA, A.; BENHAM, B. L.; MOSTAGHIMI, S. Sediment and nutrient losses from field-scale cropland plots treated with animal manure and inorganic fertilizer. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 175, p. 61-76, 2006. DOI: 10.1007/s11270-006-9111-4

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. de J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140–147, 2010.

OLIVEIRA, N.G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. Plantio direto de alface adubada com “cama” de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 112-117, 2006.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 129-137, 2006.

PANACHUKI, E.; SANTOS, M. A. N.; PAVEI, D. S.; ALVES SOBRINHO, T.; CAMACHO, M. A.; MONTANARI, R. Soil and water loss in Ultisol of the Cerrado-Pantanal Ecotone under different management systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 926-932, 2015.

QUINTON, J. N.; GOVERS, G.; VAN OOST, K.; BARDGETT, R. D. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. **Nature Geoscience**, v. 3, p. 311–314 2010.

SABER, A. N.; SOMJUNYAKUL, P.; OK, J.; WATANABE, H. Rainfall-Runoff Simulation of Radioactive Cesium Transport by Using a Small-Scale Portable Rainfall Simulator. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 230, n. 9, p. 1-15, 2019.

SANTOS DALÓLIO, F.; DA SILVA, J. N.; CARNEIRO DE OLIVEIRA, A. C.; FERREIRA TINÔCO, I. DE F.; CHRISTIAM BARBOSA, R.; RESENDE, M. DE O.; ALBINO, L.F.T.; TEIXEIRA COELHO, S. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 941–949, 2017.

SANTOS, R.D. dos; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

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; ARAUJOFILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, C.A.; CARMO, M.G.F.; BHERING, A.S.; COSTA, E.S.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M. Use of limestone and agricultural gypsum in cauliflower crop management

and clubroot control in mountain farming. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. e42494, 2020.

SIMÕES, M.; FERRAZ, R.P.D.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; BACA1, J.M.; FREITAS, P.L.; LIMA, E.P.; KUCHLER, P.C.; ALMEIDA, M.B.F. **Mapeamento da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros em função da dinâmica de uso e cobertura da terra – Subsídio às políticas de conservação de solo e água conduzidas pelo MAPA**. EMBRAPA: 2019.

SCHULTZ, N.; PINHEIRO JUNIOR, C.A.; RODRIGUES, G.C.S.; COSTA, E.S.P.; PEREIRA, M.G.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 30107-30122, 2020.

TAO, W.; WU, J.; WANG, Q. Mathematical model of sediment and solute transport along slope land in different rainfall pattern conditions. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p.

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

VALADÃO, F. C. A., MAAS, K. D. B., WEBER, O. L. S., VALADÃO, D. D. J., SILVA, T. J. Variação nos Atributos do Solo em Sistemas de Manejo com Adição de Cama de Frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2073-2082, 2011.

WALKLEY, A; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** v. 37, p. 29-38, 1934.

WANG, G.; WU, B.; ZHANG, L.; JIANG, H.; XU, Z. Role of soil erodibility in affecting available nitrogen and phosphorus losses under simulated rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 514, p. 180–191, 2014.

WU, X. Y.; ZHANG, L. P.; YU, X. X. Impacts of surface runoff and sediment on nitrogen and phosphorus loss in red soil region of southern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 7, p. 1939–1949, 2012.

#### 4. CONCLUSÕES GERAIS

As perdas de água e solo são influenciadas pela variação da intensidade de precipitação durante o evento da chuva da simulada e também pelo formato e tamanho da parcela coletora do escoamento superficial. A parcela circular aumenta a uniformidade da chuva simulada pelo *InfiAsper* fazendo com que a lâmina escoada e a perda de solo sejam maiores, exceto no padrão atrasado. O padrão de precipitação avançado proporcionou maiores perdas de água e solo na parcela circular.

O uso de parcelas experimentais de diferentes formatos e áreas interfere na avaliação de perdas de água e solo em condições de chuvas simuladas com o simulador *InfiAsper*. A parcela circular melhor representou os processos de escoamento superficial e perdas de solo comparada à parcela retangular.

Nas parcelas que não receberam adubação com cama de frango as maiores perdas de água e solo foram obtidas no padrão AV, enquanto nas parcelas adubadas, o padrão AT proporcionou maiores perdas de sedimento.

Em área com aplicação superficial de cama de frango, a variação da intensidade de precipitação durante eventos de chuvas simuladas interfere nas perdas de N, P e K, que podem refletir negativamente na receita líquida dos produtores, principalmente em regiões com altos índices pluviométricos e declividade acentuada.