

Boletim Técnico

13

Pesquisa e Desenvolvimento

2024
ISSN 2674-8177

Madalena Boeni
Liege Camargo da Costa
Lucimara Rodrigues Padilha
Juliano Martins Dalcin
Dinis Deuschle
Tiago Baratto
Carla Machado da Rosa



**Impacto de sistemas de sucessão
e rotação de culturas nas perdas de solo e água**



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO E PESQUISA
AGROPECUÁRIA**

BOLETIM TÉCNICO: Pesquisa e desenvolvimento

**Impacto de sistemas de sucessão e rotação de culturas
nas perdas de solo e água**

Madalena Boeni
Liege Camargo da Costa
Lucimara Rodrigues Padilha
Juliano Martins Dalcin
Dinis Deuschle
Tiago Baratto
Carla Machado da Rosa

Porto Alegre, RS

2024

Governador do Estado do Rio Grande do Sul: Eduardo Figueiredo Cavalheiro Leite.

Secretário da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação: Clair Tomé Kuhn

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Rua Gonçalves Dias, 570 – Bairro Menino Deus

Porto Alegre | RS – CEP: 90130-060

Telefone: (51) 3288.8000

<https://www.agricultura.rs.gov.br/ddpa>

Diretor: Caio Fábio Stoffel Efrom

Comissão Editorial:

Loana Silveira Cardoso; Lia Rosane Rodrigues; Bruno Brito Lisboa; Larissa Bueno Ambrosini; Raquel Paz da Silva; Flávio Nunes.

Arte: Rodrigo Nolte Martins

Catálogo e normalização: Flávio Nunes

134 Impacto de sistemas de sucessão e rotação de culturas nas perdas de solo e água / Madalena Boeni ... [et al.]. – Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2024.

28 p. : il. – (Boletim técnico : pesquisa e desenvolvimento, 2675-1348 ; n. 13)

Continuação de: Circular técnica, 1995-2016.

1. Manejo conservacionista. 2. Produção de sedimentos. 3. Plantas de cobertura. 4. Monitoramento. 5. Conservação dos solos. I. Boeni, Madalena. II. Série.

CDU 631.4

REFERÊNCIA

BOENI, Madalena *et al.* **Impacto de sistemas de sucessão e rotação de culturas nas perdas de solo e água.** Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2024. 28 p. (Boletim técnico: pesquisa e desenvolvimento, 13).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 Perdas de solo	16
3.2 Perdas de água	19
4 CONCLUSÕES.....	22
5 AGRADECIMENTO	23
REFERÊNCIAS	24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Vista aérea das parcelas experimentais (A) e detalhes do sistema de condução (B) e coleta do escoamento superficial (C). Júlio de Castilhos-RS.....12
- Figura 2.** Valores de perdas de solo em 14 eventos de precipitação, monitorados no período de um ano em Nitossolo Vermelho, sob diferentes manejos de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.16
- Figura 3.** Valores de perdas de água em 14 eventos de precipitação, monitorados no período de um ano em Nitossolo Vermelho, sob diferentes manejos de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos tratamentos conforme os manejos e produção total anual média de massa seca (MS).15

Tabela 2. Perdas de solo acumuladas em Kg por hectare no período de julho de 2015 a julho de 2016, em Nitossolo Vermelho sob manejo de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.18

Tabela 3. Perdas de água acumuladas em mm no período de julho de 2015 a julho de 2016, em Nitossolo Vermelho sob manejo de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.21

BOLETIM TÉCNICO: pesquisa e desenvolvimento

Impacto de sistemas de sucessão e rotação de culturas nas perdas de solo e água

Madalena Boeni¹, Liege Camargo da Costa², Lucimara Rodrigues Padilha³, Juliano Martins Dalcin⁴ Dinis Deuschle⁵,
Tiago Baratto⁶, Carla Machado da Rosa⁷

¹ Pesquisadora, Doutora, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI). E-mail: madalena-boeni@agricultura.rs.gov.br

² Pesquisadora, Doutora, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI). E-mail: liege-costa@agricultura.rs.gov.br

³ Tecnóloga em Produção de Grãos, Instituto Federal Farroupilha (IFFar). E-mail: luci.r.padilha@gmail.com

⁴ Professor, Doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: juliano.martins@ufsm.br

⁵ Tecnólogo em Produção de Grãos, Instituto Federal Farroupilha (IFFar). E-mail: deutschdinis@gmail.com

⁶ Tecnólogo em Produção de Grãos, Instituto Federal Farroupilha (IFFar). E-mail: tiagobaratto22@gmail.com

⁷ Pesquisadora, Doutora, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI). E-mail: carla-rosa@agricultura.rs.gov.br

RESUMO

A compreensão do impacto do manejo do solo na redução dos problemas erosivos e na manutenção da sua qualidade é fundamental para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais produtivos e sustentáveis, que permitam que o solo cumpra suas funções, com elevada produção vegetal para a manutenção da cobertura, proteção e incremento da matéria orgânica do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do manejo de culturas (sucessão: soja - trigo; rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca; rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea - trigo) e de solo (escarificação a 30 cm e condição natural sem escarificação), sobre as perdas de solo e água na escala de parcela, em Nitossolo Vermelho com 7,8 % de declividade média, em condição de chuva natural. O experimento foi conduzido em Júlio de Castilhos/RS e o monitoramento, realizado durante um ano, observando-se as respostas no escoamento superficial e concentração de sedimentos em suspensão em eventos significativos de chuva. Os resultados demonstram que práticas conservacionistas como a semeadura direta aliada à rotação de culturas, priorizando a cobertura permanente do solo, foram eficientes em reduzir as perdas de solo e água em comparação ao manejo tradicional, com o trigo sucedendo a soja sob semeadura direta. O efeito da descompactação mecânica, após um ano de escarificação do solo, somado ao efeito da descompactação biológica, com a utilização de plantas de cobertura, potencializaram a proteção do solo contra a erosão.

Palavras-chave: Manejo conservacionista. Produção de sedimentos. Plantas de cobertura. Monitoramento.

Impact of succession and crop rotation systems on soil and water losses

ABSTRACT

Understanding the impact of soil management on reducing erosion problems or maintaining soil quality is essential for the development of more productive and sustainable agricultural systems, which allow the soil to fulfill its functions, with high plant production for the maintenance of cover, protection and increase of soil organic matter. The objective of this study was to evaluate the influence of crop management (succession: soybean - wheat; rotation 1: soybean - turnip - wheat/soybean - black oat + vetch; rotation 2: soybean - black oat + vetch + turnip/corn - juncea crotalaria - wheat) and soil (chiseling at 30 cm and natural condition without chiseling), on soil and water losses at the plot scale in Nitossol with 7.8 % of average slope, in natural rainfall condition. The experiment was conducted in Júlio de Castilhos/RS and the monitoring was carried out for one year, observing the responses in surface runoff and concentration of suspended sediments in significant rainfall events. The results show that conservation practices such as no-tillage combined with crop rotation, prioritizing permanent soil cover, were efficient in reducing soil and water losses compared to traditional management, with wheat succeeding soybean under no-tillage. The effect of mechanical decompaction, after one year of soil scarification, added to the effect of biological decompaction, with the use of cover crops, potentiated soil protection against erosion.

Keywords: Conservation management. Sediment production. Cover crops. Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura intensiva, associada à diversidade reduzida de culturas, com deficiente cobertura da superfície do solo, práticas inapropriadas de manejo do solo e ausência de práticas de controle do escoamento superficial (Denardin *et al.*, 2008; Derpsch *et al.*, 2014; Lal, 2015), praticada em grande parte das áreas agrícolas brasileiras, vem aumentando o potencial e índices da erosão no país, sendo responsável pelo aumento de áreas degradadas e expansão sobre áreas inaptas ao uso agrícola, redução da qualidade e disponibilidade de água às plantas e elevada perda de solo.

Além de ser a base para a produção de alimentos, de fibras, de bioenergia e dos benefícios ambientais, o solo tem ainda papel fundamental na mitigação de efeitos de mudanças climáticas pela retenção de carbono, na manutenção e na qualidade dos mananciais, na sustentação da biodiversidade e evolução humana na Terra (Reicosky, 2015).

O sistema plantio direto é uma das principais estratégias da agricultura conservacionista. Nesse sistema, além da proteção do solo contra o impacto da gota da chuva, têm-se o aumento da infiltração e a redução do escoamento superficial, assegurando o aumento e estabilidade da produtividade com menor custo.

No entanto, apesar da grande experiência com o plantio direto no Brasil, o atual sistema plantio direto não está sendo conduzido de acordo com os princípios recomendados em seu desenvolvimento (Reicosky, 2015). Em grande parte das lavouras tem-se observado estagnação nos rendimentos de grãos obtidos e até mesmo redução em anos de ocorrência de déficit hídrico, apesar do uso de cultivares com alto potencial produtivo e de altos níveis tecnológicos. O plantio

direto vem sendo utilizado apenas como uma prática de cultivo conservacionista e não como um sistema conservacionista. A inexpressiva diversificação de espécies e baixa cobertura do solo demonstra a falta de interesse e entendimento da necessidade de adaptação dos cultivos agrícolas às mudanças e irregularidades climáticas e à sustentabilidade dos sistemas de produção.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) destaca que cerca de 33 % do solo em nível global está moderada ou altamente degradado. O impacto da erosão do solo pode levar a uma perda de 10 % na produção agrícola até 2050 e remover 75 bilhões de toneladas de solo (FAO, 2024), sendo que a formação média do solo é de 0,017 a 0,036 mm por ano, que equivale de 700 a 1.500 anos para formar 25 mm de solo, de acordo com Montgomery (2007).

Diante disso, há necessidade de conservar o solo e restaurar solos degradados, com ações de manejo que os tornem mais estruturados e permeáveis, otimizando o armazenamento e disponibilidade de água às plantas e o potencial produtivo do solo, resultando em menor impacto para os recursos naturais (Duvert *et al.*, 2010; Chartin *et al.*, 2013).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, durante um ano, a influência de níveis crescentes de diversidade de espécies vegetais e da escarificação do solo no controle do escoamento superficial, na encosta de um Nitossolo, em condição de chuva natural.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado a campo, no ano agrícola 2013/14, num Nitossolo Vermelho (Santos *et al.*, 2018), na área experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), pertencente à Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI) no município de Júlio de Castilhos, região central do Estado do Rio Grande do Sul, situada a 29°13'39" de latitude sul e a 53°40'38" de longitude oeste, a uma altitude de 514 m. A temperatura média anual é de 18,1°C e a pluviosidade média anual de 1677 mm. O clima é do tipo Cfa, subtropical úmido, segundo classificação de Köeppen, com precipitações bem distribuídas durante o ano.

Os tratamentos consistiram em três manejos de culturas, de forma a proporcionar situações com níveis crescentes de diversidade de espécies e de intensidade de uso do solo (sucessão: soja - trigo; rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca; rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea - trigo) e dois manejos de solo (escarificação até 30 cm e condição natural sem escarificação). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis repetições.

A escarificação do solo foi realizada em outubro de 2013, anteriormente à instalação do experimento, utilizando-se subsolador de sete hastes (8 x 41 cm), distanciadas a 30 cm e atuando até 30 cm de profundidade. O cultivo das culturas de cobertura de solo e comerciais, que compõem os sistemas, foi conduzido de forma mecanizada, sob semeadura direta, de acordo com as recomendações técnicas para cada cultura.

O experimento constituiu-se por parcelas de 3,5 x 22 m, dotadas de sistemas coletores de enxurrada, sendo as determinações das perdas realizadas após cada evento erosivo, de acordo com o modelo para avaliar a erosão hídrica USLE (Universal Soil Loss Equation), (Wischmeier; Smith, 1978). A declividade média das parcelas era de 7,8 %. Cada parcela foi delimitada por chapas de metal com 10 cm de altura e enterradas a 5 cm de profundidade, sendo que na parte inferior, foi colocada uma chapa em “V” (forma de funil), de modo a concentrar o escoamento superficial e conduzi-lo por um cano de PVC até um tanque de sedimentação com capacidade de 1000 L (situado 6 m abaixo da parcela), para posterior coleta e determinações (Figura 1).



Figura 1. Vista aérea das parcelas experimentais (A) e detalhes do sistema de condução (B) e coleta do escoamento superficial (C). Júlio de Castilhos-RS.

Fonte: Mauro Giuliani Ugalde (A); Madalena Boeni (B, C).

O volume de precipitação foi monitorado através de pluviômetro instalado no local, sendo o intervalo de aquisição dos dados de 24h. Após a ocorrência de cada evento de chuva erosiva, foram registradas as alturas de enxurrada dentro dos tanques e, em seguida, a enxurrada foi homogeneizada e, dela, coletada uma amostra por tanque. O produto da altura de enxurrada dentro do tanque pela área do tanque forneceu o volume de enxurrada. As amostras de enxurrada foram coletadas utilizando-se frascos de vidro numerados, com capacidade de 300 ml. O procedimento para a coleta e processamento das amostras de suspensão para os cálculos das perdas de solo e água seguiu a metodologia sugerida por Cogo (1978). As perdas de solo e água por erosão hídrica foram coletadas continuamente, a cada evento de chuva erosiva, durante o período de um ano (julho de 2015 a julho de 2016). As perdas de solo da parcela (77 m²) foram calculadas e extrapoladas para a área de 1 hectare e, as perdas de água, representadas em mm.

O rendimento de massa seca (MS) da parte aérea das culturas foi obtido através da coleta de plantas no estágio de pleno florescimento, em área de 0,25 m² e secagem em estufa a 60 °C até peso constante, extrapolando-se a quantidade de MS da amostra para a área de um hectare.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, aplicou-se o teste Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além do manejo do solo, o manejo de culturas, dentro dos princípios do sistema plantio direto, também deve assegurar a proteção do solo. Vários estudos foram

conduzidos no sentido de avaliar o comportamento das perdas por erosão em sistema plantio direto, tanto em parcelas padrões de perda de solo (Cassol; Lima, 1998; Cintra; Mielniczuk, 1983; Instituto Agrônômico do Paraná, 1981; Bertol *et al.*, 2007; Denardin *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2005; Merten; Minella, 2013; Merten *et al.*, 2015), quanto em bacias hidrográficas (Raczkowski *et al.*, 2009; Kurothe *et al.*, 2014; Didoné *et al.*, 2014, 2015) e encostas (Londero *et al.*, 2017, 2021; Deuschle *et al.*, 2019). A inclusão de culturas de cobertura no sistema de rotação afeta diretamente a cobertura do solo e o tipo de cobertura pode ser determinante para a produção de biomassa e proteção do solo (Alvarenga *et al.*, 2001).

A produção de MS das espécies utilizadas para cobertura do solo depende, além das práticas de manejo, das condições climáticas, edáficas, fitossanitárias, e da agressividade do sistema radicular, uma vez que sua profundidade está relacionada à maior produção de biomassa (Carvalho; Amabile, 2006).

A fim de reduzir o impacto ambiental provocado pela erosão hídrica no solo, sistemas de culturas com níveis crescentes de diversificação de espécies em condição natural de compactação do solo foram comparados com os mesmos sistemas de culturas em condição de intervenção mecânica (escarificação).

No período de um ano, durante o monitoramento das perdas, os tratamentos com rotação de culturas apresentaram produção total anual média de MS 2,2 vezes maior do que o tratamento com binômio soja - trigo (Tabela 1). Nos sistemas de rotação, além das culturas comerciais, visando à produção de grãos, houve também o cultivo de plantas de cobertura de solo, incrementando a palhada total sobre a superfície do

solo, essencial para o sucesso do processo de produção agrícola, aliando renda à preservação dos recursos naturais (Heckler; Hernani; Pitol, 1998; Séguéy; Bounizac, 1995). Grandes quantidades de adições de resíduos de culturas por sistemas de cultivo sob plantio direto acentuam o acúmulo de matéria orgânica do solo (Bayer *et al.*, 2000), sendo fundamental para a manutenção da sua boa estrutura (Lal; Greenland, 1979).

A taxa de decomposição dos resíduos vegetais modifica a cobertura do solo ao longo do tempo, sendo importante o cultivo de plantas de cobertura, eficientes na produção de fitomassa, para incrementar a cobertura deixada pelas culturas produtoras de grãos, como verificado nas rotações 1 e 2 (Tabela 1). A diversificação e manutenção dessa cobertura é fundamental para que seus benefícios sejam contínuos.

Tabela 1. Caracterização dos tratamentos conforme os manejos e produção total anual média de massa seca (MS).

T	Manejo de culturas	Manejo de solo	MS (t ha ⁻¹)
1	Sucessão: soja - trigo	Natural	5
2	Sucessão: soja - trigo	Escarificado	
3	Rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca	Natural	11
4	Rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca	Escarificado	
5	Rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalaria júncea - trigo)	Natural	11
6	Rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalaria júncea - trigo)	Escarificado	

O comportamento hidrológico das parcelas foi monitorado no período de julho de 2015 a julho de 2016, em que ocorreram 14 eventos pluviométricos de diferentes magnitudes e que geraram escoamento, em diferentes

estádios de desenvolvimento das culturas comerciais e de cobertura de solo. No período monitorado, o volume precipitado acumulado foi de 2060 mm, o qual foi fortemente afetado pelo fenômeno El Niño. Os demais eventos pluviométricos que ocorreram durante o período, não geraram escoamento superficial.

3.1 Perdas de solo

Na figura 2 verifica-se a distribuição do volume de precipitação nos dias em que ocorreu escoamento superficial.

De forma geral, em todos os eventos pluviométricos monitorados durante o período de 12 meses, as perdas de solo reduziram à medida que se intensificou o sistema de produção com rotação de culturas (Figura 2).

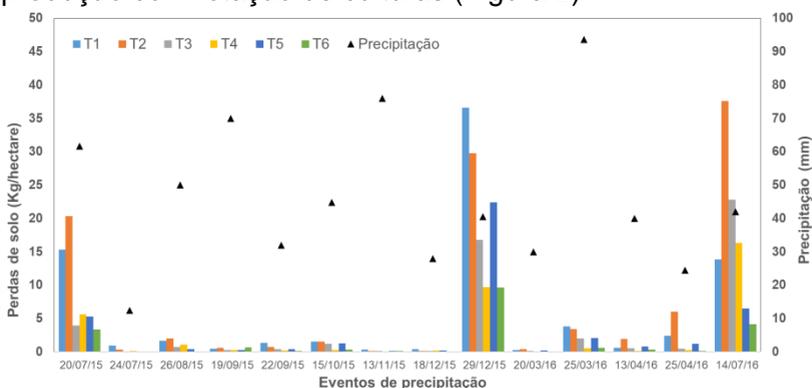


Figura 2. Valores de perdas de solo em 14 eventos de precipitação, monitorados no período de um ano em Nitossolo Vermelho, sob diferentes manejos de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.

T1- sucessão soja - trigo; T2- sucessão soja - trigo com escarificação; T3- rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca; T4- rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca com escarificação; T5- rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea - trigo; T6- rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea – trigo com escarificação.

Observa-se também que, para o sistema de sucessão de culturas soja - trigo, em 50 % dos eventos, as perdas de solo foram maiores quando o solo foi escarificado, mesmo dois anos após a escarificação do solo, provavelmente porque a escarificação diminuiu a cobertura do solo. Na rotação 2, em apenas um evento de precipitação (19/09/15), as perdas de solo foram superiores no manejo de solo escarificado em relação ao natural (Figura 2), o que significa que as plantas estão cumprindo a sua função na melhoria da “saúde” do solo. Na sucessão soja - trigo, o solo permaneceu em pousio no período da entressafra, por aproximadamente três meses durante o ano, em relação aos manejos com rotação, mostrando que o sistema de culturas utilizado em plantio direto pode ser determinante para a produção de fitomassa, cobertura do solo e sua proteção e que a simplificação das práticas de manejo, não é suficiente para controlar o escoamento superficial.

As maiores perdas de solo ocorreram em eventos de média intensidade (20/07/15, 29/12/15 e 14/07/16), com 48 mm de precipitação média. Os eventos coincidiram com o início do desenvolvimento das culturas de inverno, de verão e de inverno, respectivamente, o que pode ter contribuído para gerar maior escoamento e mais sedimentos dissolvidos, devido a menor cobertura do solo. As perdas médias de solo para os tratamentos 1 e 2; 3 e 4; 5 e 6 foram 17,84; 4,76 e 4,30 Kg ha⁻¹ para o evento do dia 20/07/15, de 33,19; 13,25 e 16,02 Kg ha⁻¹, para o evento do dia 29/12/15 e de 25,72; 19,55 e 5,34 Kg ha⁻¹ para o evento do dia 14/07/16 (Figura 2). A maior diferença ocorreu no evento do dia 14/07, na condição de solo escarificado, com perdas 9,0 vezes maiores para a sucessão em relação à rotação 2, às quais se

encontravam com trigo e aveia + ervilhaca + nabo, respectivamente, na fase inicial de desenvolvimento.

Para as perdas de solo acumuladas no período de monitoramento, estas não foram afetadas pelo sistema de manejo de solo, mas variaram em função do manejo de culturas (Tabela 2). As perdas de solo foram inferiores nos tratamentos com rotação de culturas em relação ao sistema tradicional com sucessão soja - trigo, na ordem rotação 2 < rotação 1 < sucessão, com uma redução de 3,5 e 2,5 vezes para a rotação 2 e rotação 1, respectivamente, o que demonstra uma maior eficiência tanto pela cobertura quanto pelos benefícios intrínsecos das plantas na melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo. No entanto, entre as perdas ocorridas nas rotações 1 e 2, não houve diferença significativa (Tabela 2), as quais também apresentaram produção de matéria seca similar durante o período monitorado (Tabela 1).

Tabela 2. Perdas de solo acumuladas em Kg por hectare no período de julho de 2015 a julho de 2016, em Nitossolo Vermelho sob manejo de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.

Manejo de culturas	Manejo de solo		Média
	Natural	Escarificado	
Sucessão	118,7	91,7	105,2 A
Rotação 1	49,8	34,7	42,3 B
Rotação 2	41,2	19,6	30,4 B
Média	69,9 ^{ns2}	48,7	
CV ¹ (%)	62,83		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coeficiente de variação. ² Não significativo.

Quanto ao manejo de solo, os tratamentos escarificados mostraram redução nas perdas de solo, porém não significativa estatisticamente, em relação aos não escarificados (manejo de solo natural), principalmente naqueles com rotação de culturas (Tabela 2). A maior redução ocorreu no manejo de culturas da rotação 2, o que indica que o efeito da escarificação em mitigar a compactação é potencializado quando utilizados sistemas que contemplem a agricultura conservacionista. Para Nicoloso *et al.* (2008), a escarificação mecânica é eficiente no incremento da produtividade das culturas quando associada ao uso de plantas de cobertura no inverno.

Além dos aspectos relativos à decomposição da palha e seus benefícios na superfície do solo, para que o efeito da escarificação seja prolongado, é necessário manter por maior parte do tempo o sistema radicular ativo e vigoroso no solo, com sistema radicular diferenciado, explorando diferentes camadas do perfil do solo a fim de proporcionar acúmulo de matéria orgânica em profundidade e maior estabilidade dos agregados, resultantes da decomposição das raízes, da liberação dos exsudatos radiculares e da atividade biológica do solo mais efetiva (Tisdall; Oades, 1982).

3.2 Perdas de água

A mesma tendência observada para as perdas de solo, em que estas reduziram à medida que se intensificou o sistema de produção com rotação de culturas, seguiu para as perdas de água no mesmo período monitorado (Figura 3).

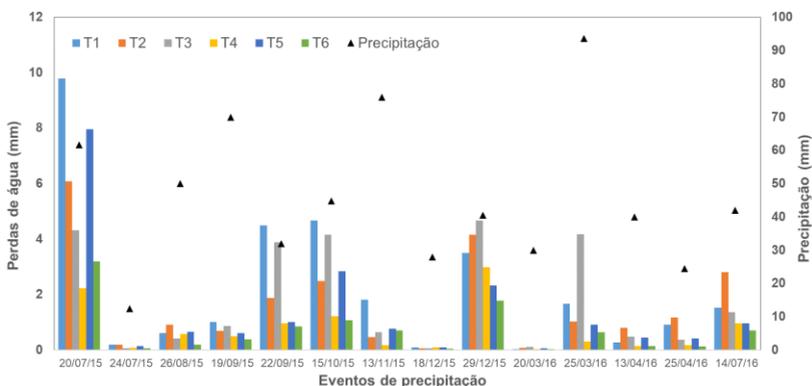


Figura 3. Valores de perdas de água em 14 eventos de precipitação, monitorados no período de um ano em Nitossolo Vermelho, sob diferentes manejos de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.

T1- sucessão soja - trigo; T2- sucessão soja - trigo com escarificação; T3- rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca; T4- rotação 1: soja - nabo - trigo/soja - aveia preta + ervilhaca com escarificação; T5- rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea - trigo; T6- rotação 2: soja - aveia preta + ervilhaca + nabo/milho - crotalária júncea - trigo.

Para as perdas de água acumuladas no período de 12 meses, foram significativos os efeitos simples de manejo de solo e de manejo de cobertura (Tabela 3).

As perdas médias de água foram inferiores nos tratamentos com rotação de culturas em relação ao sistema tradicional com sucessão soja-trigo, na ordem rotação 2 < rotação 1 < sucessão. Houve diferença significativa entre os manejos sucessão e rotação 2, com uma redução média de quase metade do volume perdido de água na rotação 2 em relação à sucessão soja-trigo (Tabela 3).

Tabela 3. Perdas de água acumuladas em mm no período de julho de 2015 a julho de 2016, em Nitossolo Vermelho sob manejo de solo e de culturas. Júlio de Castilhos, RS.

Manejo de culturas	Manejo de solo		Média
	Natural	Escarificado	
Sucessão	31,9	21,6	26,7 A
Rotação 1	26,0	10,4	18,2 AB
Rotação 2	19,2	10,0	14,6 B
Média	25,7 a	14,0 b	
CV ¹ (%)	34,47		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coeficiente de variação.

Para o efeito do manejo de solo, as perdas médias de água foram significativamente inferiores no manejo de solo escarificado, com uma perda média de 1,8 vezes menor em relação ao manejo de solo no estado natural de compactação (Tabela 3), ou seja, sem a interferência mecânica no momento da implantação do experimento.

A escarificação mostrou-se mais eficiente em reduzir as perdas de água do que de solo, pelo fato de atuar na melhoria da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, o que é potencializado quando sistemas de rotação de culturas, com incremento na quantidade e qualidade dos resíduos, tanto da parte aérea quanto radicular, são utilizados.

As perdas por escoamento superficial dos sistemas produtivos, tanto de água quanto de solo, foram mais acentuadas no manejo com sucessão soja-trigo em relação aos manejos com rotação de culturas, mostrando que a

escolha do manejo utilizado pode ser determinante para a produção de fitomassa, cobertura de solo e sua proteção.

Apenas a prática do não revolvimento do solo, ou seja, a simplificação do sistema plantio direto, não é capaz de trazer os benefícios da agricultura conservacionista, que preconiza, além da semeadura direta sobre a palhada da cultura anterior, a rotação com diversificação de culturas e cobertura permanente do solo (Kassam *et al.*, 2009). A adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo e o contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção da sua boa estrutura (Lal; Greenland, 1979) e dos benefícios gerados.

A inclusão de plantas de cobertura de solo nos sistemas de produção é altamente relevante e estas podem ser utilizadas pelos produtores, seja no cultivo isolado ou em consórcio nos planejamentos de rotação de culturas. Esta prática se constitui indispensável no sistema plantio direto, o qual foi desenvolvido como uma técnica conservacionista para maximização das funcionalidades do solo, sendo que a sua simplificação poderá trazer prejuízos tanto do ponto de vista agrícola como ambiental.

4 CONCLUSÕES

As perdas por escoamento superficial, tanto de água quanto de solo, foram mais acentuadas no sistema com sucessão soja - trigo em relação aos sistemas com rotação. Esta é uma indicação clara de que a prática da rotação de culturas precisa ser considerada para controlar o escoamento.

O manejo de solo, um ano após a escarificação, foi mais eficiente em reduzir as perdas de água em relação ao

manejo de solo não escarificado, principalmente naqueles com rotação de culturas, o que indica que o efeito da escarificação em mitigar o efeito da compactação foi potencializado quando aliado ao incremento de fitomassa.

O sistema de rotação com maior diversificação de culturas (rotação 2), foi o mais eficiente em reduzir as perdas de solo e água por escoamento durante o período monitorado.

5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo Projeto MAISAGUA da FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária), à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

BAYER, C. *et al.* Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. *In*: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. p. 143-170.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos em um Podzólico Vermelho-Amarelo do Rio Grande do Sul sob diferentes preparos do solo e manejo de resíduos culturais. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos** [...]. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 354-355.

CHARTIN, C. *et al.* Tracking the early dispersion of contaminated sediment along rivers draining the Fukushima radioactive pollution plume. **Anthropocene**, [Amsterdam], v. 1, p. 23-34, 2013.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, p. 197-201, 1983.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. II. Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª aproximação). *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1978. p. 99-107.

DENARDIN, J. E. *et al.* "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2847-2852, 2008.

DERPSCH, R. *et al.* Why do we need to standardize no-tillage research?. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 137, p. 16-22, 2014.

DEUSCHLE, D. *et al.* Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in Southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 340, p. 157-163, 2019.

DIDONÉ, E. J. *et al.* Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchment in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Berlin, v. 14, p. 1287-1297, 2014.

DIDONÉ, E. J. *et al.* Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in Southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, Berlin, v. 15, 2334-2346, 2015.

DUVERT, C. *et al.* Drivers of erosion and suspended sediment transport in three headwater catchments of the Mexican Central Highlands. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 123, p. 243-256, 2010.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/> Acesso em: 17 jan. 2024.

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. *In*: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (org.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p. 37- 49.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. (Circular técnica, 23).

KASSAM, A. H. *et al.* The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. **International Journal of Agriculture Sustainability**, Clevedon, v. 7, n. 4, p. 292-320, 2009.

KUROTHE, R. S. *et al.* Effect of tillage and cropping systems on runoff, soil loss and crop yields under semiarid rainfed agriculture in India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 140, p. 126-134, 2014.

LAL, R.; GREENLAND, B. J. (ed.). **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chichester: John Willey, 1979.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, [Ankeny, Iowa, etc.], v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 2015.

LONDERO, A. L. *et al.* Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Berlin, v. 18, n. 3, p. 1159-1175, 2017.

LONDERO, A. L. *et al.* Quantifying the impact of no-till on sediment yield in Southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 35, n. 7, 2021.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of Sciences**, Allahabad [India], v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdam, v. 1, n. 3, p. 37-48, 2013.

MERTEN, G. H. *et al.* No-till surface runoff and soil losses in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 152, p. 85–93, 2015.

NICOLOSO, R. S. *et al.* Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 723-734, 2008.

RACZKOWSKI, C. W. *et al.* Comparison of conventional and no-tillage corn and soybean production on runoff and erosion in the southeastern US Piedmont. **Journal of Soil and Water Conservation**, [Ankeny, Iowa, etc.], v. 64, n. 1, p. 53-60, 2009.

REICOSKY, D. C. Conservation tillage is not conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, [Ankeny, Iowa, etc.], v. 70, n. 5, p. 103A-108A, 2015.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 69, p. 1-4, mar. 1995.

SILVA, R. R. *et al.* Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto do Rio Grande-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-63, 1982.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Avenida Getúlio Vargas, 1384 - Menino Deus
CEP 90150-004 - Porto Alegre - RS
Fone: (51) 3288-8000

www.agricultura.rs.gov.br/ddpa