

## EROSÃO HÍDRICA NO CULTIVO DA CEBOLA INFLUENCIADA PELO MANEJO DO SOLO E COBERTURA POR RESÍDUO CULTURAL

Venesa Pinto dos Sanos <sup>1\*</sup>, Ildegardis Bertol <sup>2</sup>, Andressa Pinto dos Santos <sup>3</sup>, Claudinei Kurtz <sup>4</sup>, Neuro Hilton Wolschick <sup>5</sup>, Bárbara Baggio <sup>2</sup>, Filipe Antonio Wroblewski <sup>2</sup>, Marco Segalla Prazeres <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria. Brasil

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina. Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. Brasil

<sup>4</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária Extensão Rural de Santa Catarina. Brasil

<sup>5</sup> Universidade do Alto Vale do Rio do Peixe- UNIARP- Santa Catarina. Brasil

<sup>6</sup> Centro Estadual de Educação Profissional "Lysímaco Ferreira Da Costa". Brasil

### RESUMO

O cultivo de olerícolas em geral degrada o solo porque é necessário adotar operações de preparo mecânico intenso. Com esta pesquisa objetivou-se quantificar as perdas de solo (PS) e perdas de água (PA) por erosão hídrica no ciclo da cebola em distintos tipos de manejo do solo e de resíduo cultural, em condição de chuva simulada, em 2017. Estudaram-se os tratamentos de plantio direto: 1) sulcos na linha de plantio sobre o resíduo de milho (PDM); 2) sulcos na linha de plantio sobre o resíduo de soja (PDS); 3) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual sobre o resíduo de milho (PCM); 4) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual sobre o resíduo de soja (PCS); 5) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual sem cultivo e descoberto (SSC- testemunha). Sobre os tratamentos aplicaram-se quatro chuvas simuladas, cada uma com duração de 60 minutos e 65 mm h<sup>-1</sup> de intensidade constante, com um simulador de chuva com braços rotativos do tipo empuxo. As perdas de solo totais observadas ao final das quatro chuvas simuladas aplicadas nos tratamentos PDM, PDS, PCM, PCS e SSC foram respectivamente de 1,35; 3,35; 7,36; 33,72; e 55,44 t ha<sup>-1</sup>. Perdas de solo verificadas nos tratamentos PDM, PDS e PCM foram respectivamente 85%, 63% e 12% menores do que a tolerância de perda de solo de 9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O aumento da cobertura do solo pelos resíduos culturais ocasionou diminuição exponencial das perdas de solo, enquanto essas perdas aumentaram exponencialmente com o aumento da velocidade da enxurrada. As perdas de água pela enxurrada apresentaram a mesma tendência das perdas de solo, mas com menor dependência do manejo do solo.

**Palavras-chave:** plantio direto, preparo convencional, velocidade da enxurrada.

## WATER EROSION IN ONION CULTIVATION INFLUENCED BY SOIL MANAGEMENT AND GROUND COVER BY CROP RESIDUES

### ABSTRACT

The cultivation of vegetables in general degrades the soil because it is necessary to adopt intensive mechanical preparation operations. The objective of this research was to quantify soil losses (SL) and water losses (WL) by water erosion in the onion cycle in different types of soil and crop residue management, under simulated rainfall conditions, in 2017. No-tillage treatments were studied: 1) furrows in the planting line on the corn residue (NTC); 2) furrows in the planting line over the soybean residue (NTS); 3) soil prepara-

\* Autor de contacto:  
vene\_slq@hotmail.com

Recibido:  
08-04-22

Recibido con revisiones:  
25-07-22

Aceptado:  
11-10-22

ration with a plow + two harrowing + manual rake on the corn residue (SPC); 4) soil preparation with a plow + two harrowing + manual rake on the soybean residue (SPS); 5) soil preparation with one plowing + two harrowing + manual rake without cultivation and uncovered (BS – control). Four simulated rains were applied to the treatments, each lasting 60 min and 65 mm h<sup>-1</sup> of constant intensity, with a rain simulator with rotating arms of the thrust type. The total soil losses observed at the end of the four simulated rainfall applied in the treatments NTC, NTS, SPC, and SPS were respectively 1.35; 3.35; 7.36; 33.72; and 55.44 t ha<sup>-1</sup>. Soil losses verified in the NTC, NTS and SPC treatments were respectively 85%, 63% and 12% lower than the soil loss tolerance of 9 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The increase in soil cover by crop residues caused an exponential decrease in soil losses, while these losses increased exponentially with the increase in runoff velocity. Runoff water losses showed the same trend as soil losses, but with less dependence on soil management.

**Keywords:** no-tillage, conventional tillage, flow velocity.

## INTRODUÇÃO

As preocupações com a degradação do solo a perda de produtividade das culturas fortalecem a urgência de melhorar a gestão do agroecossistema para manter a sustentabilidade dos solos agrícolas. O solo é um recurso frágil e, quando mal manejado pode atingir um avançado estado de degradação (Karlen & Rice, 2015). A erosão hídrica do solo é apontada como uma das principais ameaças aos solos globais, impactando negativamente nos serviços ecossistêmicos, atividades agrícolas, recursos hídricos e sobre as reservas de carbono (Back, 2018; Sadeghi et al., 2017).

A olericultura é uma das atividades agrícolas para a qual o solo é intensamente usado. Em geral, essa atividade degrada o solo devido às frequentes e intensas operações de preparo e/ou outras operações mecânicas. Contribui para isso o curto ciclo das culturas e a incapacidade das mesmas de proteger o solo (Souza et al., 2013). A cebola (*Allium cepa* L.) é cultivada manejando o solo com grande mobilização mecânica, por meio de arações e gradagens e, muitas vezes, por enxada rotativa. Isso resulta em degradação extrema do solo, podendo ocasionar até a perda integral do horizonte superficial por erosão. Essa condição é comum em Santa Catarina onde o cultivo da cebola é tradicional, em especial no Vale do Itajaí. Para agravar a situação, predominam nessa região solos rasos que se situam em locais de média e alta declividade (Camargo, 2011). O aumento da produção de cebola em terras não aptas, sob preparo intenso do solo, aumentou a erosão hídrica nessas áreas. O tipo de preparo e a intensidade do cultivo dessa espécie condicionam a superfície do solo à baixa rugosidade e ausência de cobertura vegetal, minimizando a resistência à erosão hídrica. Essas condições fazem aumentar o volume e a velocidade da enxurrada e, com isso, a erosão hídrica (Back, 2018; Confessor & Rodrigues, 2018). Essa forma de degradação reduz a capacidade produtiva e a reserva de carbono no solo e encarece as atividades agrícolas e o tratamento dos recursos hídricos (Sadeghi et al., 2017).

A erosão hídrica desagrega e transporta o solo, cuja magnitude é potencializada pela ação antrópica (Confessor & Rodrigues, 2018). Para minimizar a erosão, manejos conservacionistas vêm sendo utilizados na olericultura. Esses sistemas melhoram a estrutura do solo e as condições edáficas em geral (Epagri, 2013). O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) é mais promissor e baseia-se em mobilização do solo apenas na linha de plantio, com manutenção constante da palha sobre a superfície. Os principais efeitos do emprego de sistemas de base conservacionista são a diminuição da erosão devido à melhoria da infiltração de água no solo (Bertol et al., 2004), e a diminuição da amplitude térmica do solo (Epagri, 2013). Apesar do potencial do SPDH para melhorar a qualidade e a produtividade do solo (Jian et al., 2020) e reduzir da erosão hídrica, estudos ainda são necessários. São escassos na literatura dados de efeito do SPDH na redução da erosão hídrica em comparação ao cultivo de forma convencional, em culturas olerícolas como a cebola. Atualmente, é necessário produzir em quantidade competitiva, com qualidade, e diminuir os impactos ambientais nos recursos naturais (Almeida et al., 2016; Panachuki et al., 2011; Pinheiro et al., 2016). Assim, a pesquisa objetivou avaliar as Perdas do Solo (PS) e Perdas de Água (PA) por erosão hídrica, em diferentes sistemas de preparo do solo.

O estado atual de arte sobre esse assunto permitiu estabelecer as seguintes hipóteses: o plantio direto de cebola na presença do resíduo cultural de milho reduziria a erosão hídrica em relação aos demais tratamentos; o aumento da cobertura do solo pelo resíduo cultural diminuiria exponencialmente a perda de solo; e a perda de solo aumentaria exponencialmente com o aumento da velocidade de enxurrada. Dessa forma,

este trabalho objetivou-se quantificar a erosão hídrica em cultivo de cebola manejado sob plantio convencional e plantio direto, com a aplicação de chuvas simuladas durante o ciclo da cultura, e relacionar essas perdas com cobertura do solo por resíduos culturais e com a velocidade da enxurrada.

### MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada entre agosto e dezembro de 2017 na sua fase de campo, na região entre as coordenadas 27° 47' latitude Sul e 50° 18' longitude Oeste de Greenwich. O clima da região é subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos, descrito como Cfb conforme a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). O relevo local é suave-ondulado e a altitude é de 900 metros. O solo é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico léptico de acordo com Embrapa (2013), ou Humic Cambisol segundo IUSS/WRB (2006). A textura é franco-argilo-siltosa, com granulometria de 196 g kg<sup>-1</sup> de areia, 412 g kg<sup>-1</sup> de silte e 392 g kg<sup>-1</sup> de argila (Ramos et al, 2016). A tolerância de perda de solo deste solo é 9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Bertol & Almeida, 2000). A unidade experimental constituiu-se de uma parcela com dimensões de 3,5 m de largura por 11 m de comprimento paralelo ao declive, totalizando 38,5 m<sup>2</sup> (Figura 1). Em cada unidade experimental, a delimitação das laterais e da extremidade superior foi feita com chapas galvanizadas de 0,2 m de altura, cravadas 0,1 m no solo. Na extremidade inferior da parcela foi acoplada uma calha que era conectada a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento com a função de direcionar o escoamento superficial até uma trincheira onde foram coletadas as amostras de enxurrada. Utilizaram-se cinco parcelas com declividade de 0,134 m m<sup>-1</sup> na média entre elas, variando de 0,124 m m<sup>-1</sup> a 0,145 m m<sup>-1</sup>.



*Figura 1.* Calha conectada a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento com a função de direcionar o escoamento superficial.

*Figure 1.* Gutter connected to a PVC pipe of 75 mm in diameter and 6 m in length with the function of directing the surface runoff.

Para a pesquisa, foram implantados quatro tratamentos com plantio de cebola e um sem plantio, sem repetição: 1) sem preparo do solo com sulcos abertos na linha de plantio sobre o resíduo de milho (PDM); 2) sem preparo do solo com sulcos abertos na linha de plantio sobre o resíduo de soja (PDS); 3) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual sobre o resíduo de milho com sulcos abertos na linha de plantio (PCM); 4) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual sobre o resí-

duo de soja com sulcos abertos para o plantio (PCS); 5) preparo do solo com uma aração + duas gradagens + rastelo manual e solo sem cultivo e descoberto (SSC – testemunha). Cada parcela foi considerada um tratamento, devido à falta de espaço físico na área experimental para estabelecer repetição. As operações de preparo do solo foram realizadas no sentido do declive, conforme Wischmeier & Smith (1978). Onze sulcos foram abertos por parcela. Mudanças de cebola com 80 dias de idade, da cultivar 362 Crioula Alto Vale, com ciclo de 120 dias desde o transplante até a colheita, foram plantadas entre 18 e 22/08/2017. A densidade de plantio compreendeu um “stand” de 1.254 plantas/parcela conforme a recomendação para cultivar.

Ao longo do ciclo da cultura, foram efetuadas quatro chuvas simuladas em cada tratamento. A primeira chuva em 16/09/2017 (25 dias após o plantio), a segunda em 17/10/17 (57 dias após o plantio), a terceira em 17/11/2017 (88 dias após o plantio) e a quarta chuva em 20/12/17 (120 dias após o plantio). Cada chuva tinha duração de 60 minutos e a intensidade, constante, era planejada para 65 mm h<sup>-1</sup> (Cogo, 1981). Para realizar as chuvas foi usado um aparelho simulador de chuva de braços rotativos, do tipo Empuxo (Figura 2), desenvolvido por Bertol et al. (2012).



*Figura 2.* Aparelho Simulador de chuva de braços rotativos do tipo Empuxo operando sobre duas parcelas simultaneamente.

*Figure 2.* Thrust-type rotating arms rain simulator operating on two plots simultaneously.

No momento imediatamente antes de aplicar cada chuva simulada, eram coletadas amostras do solo nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, na posição central da parcela, com auxílio de um trado holandês, para determinar a umidade do solo em base gravimétrica (Embrapa, 2017). O tempo de início e de duração da chuva e de enxurrada foi registrado com auxílio de um cronômetro. A taxa instantânea de descarga foi determinada em amostras coletadas a cada 5 min a contar do início do escoamento. Para isso, coletava-se o volume do escoamento superficial, com auxílio de um recipiente graduado (proveta ou balde) e de um cronômetro para registrar o tempo de duração da coleta. Concomitantemente, foram coletadas amostras da enxurrada em potes plásticos com capacidade de 0,8 L, preenchendo-o totalmente, para posterior determinação da concentração de sedimentos, com cujos dados foram calculadas as perdas de água e solo. A velocidade da enxurrada foi determinada juntamente com a simulação após 40 minutos do início da chuva, no momento de taxa de enxurrada era constante. Para isso, um fluxo corante a base de azul de metileno (2%), era adicionado num ponto situado 2,5 m abaixo da extremidade superior da parcela com auxílio de um pissete, e cronometrava-se o tempo necessário para esse fluxo percorrer 6 m, até 2,5 m acima da extremidade inferior da parcela. A variável porcentagem de cobertura do solo de cada tratamento foi determinada pelo método da “corda marcada” (Hartwig & Laflen, 1978). A corda tinha de 10 metros de comprimento e 100 marcas, uma a cada 10 cm. A corda era estendida duas vezes na superfície do solo, em diagonal formando um “X”. Em cada corda, contava-se as marcas que coincidiam com alguma peça do resíduo cultural. Ao final, o número de marcas das duas cordas coincidentes com o resíduo era dividido por dois e o resultado equivalia à porcentagem da superfície do solo coberta.

Vinte pluviômetros com área de 53,85 cm<sup>2</sup> cada um eram distribuídos na área abrangida pela chuva simulada para determinar o volume de chuva precipitado pelo simulador. Ao final da chuva, o volume de água



dos pluviômetros era anotado e calculava-se a intensidade de chuva aplicada, conforme a fórmula descrita por Barbosa (2011). A cobertura do solo por resíduo cultural foi avaliada após cada uma das chuvas simuladas, por meio de corda marcada, semelhante ao método de Sloneker & Moldenhauer (1977). As amostras de enxurrada coletadas durante as chuvas em potes com 0,8 L foram pesadas em laboratório. Em seguida adicionaram-se cinco gotas de ácido clorídrico - HCL 1 M para acelerar a floculação dos sedimentos. Após aproximadamente cinco dias, a água era retirada com auxílio de um sifão. Na sequência, as amostras eram colocadas em estufa a 60 °C até a completa evaporação do líquido. Após, eram pesadas para quantificação da massa de sedimentos contida em cada pote.

Para o cálculo da concentração de sedimentos na enxurrada e perdas de água e solo, foi utilizada uma planilha Excel confeccionada pelos autores. Nela, eram inseridos os valores de intensidade e duração da chuva, declividade média do terreno em cada parcela, massa de sedimentos, taxa do escoamento superficial e tempo de coleta. Em razão de variação verificada na intensidade, entre uma e outra chuva simulada, e na declividade do terreno, entre uma e outra parcela, os dados de perda de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada de 65 mm h<sup>-1</sup> conforme Cogo (1981). Os dados ajustados para a intensidade da chuva foram ainda ajustados para a declividade média do terreno nas parcelas (0,123 m m<sup>-1</sup>) por meio do fator S da USLE conforme metodologia de Wischmeier & Smith (1978).

Os dados de cobertura do solo, velocidade da enxurrada, perda de solo e perda de água foram submetidos à análise estatística descritiva, apenas, devido à falta de repetição nos tratamentos, apresentando-se unicamente os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação. Assim, a discussão dos resultados foi realizada com base na diferença numérica entre os tratamentos. Relações entre os valores de perda de solo (PS) e cobertura do solo (CS) e de PS e velocidade da enxurrada (VE) foram realizadas, ajustando-se o modelo exponencial  $y = ae^{-bx}$  para PS x CS e o modelo exponencial  $y = ae^{-bx}$  para PS x VE.

## RESULTADOS

A cobertura do solo (CS) por resíduo cultural foi 48% maior nos tratamentos sem preparo do solo com abertura de sulco na linha (PDM e PDS) do que naqueles em que previamente se realizou o preparo do solo e posteriormente se abriu sulcos para plantio (PCM e PCS), na média do ciclo de cultivo e dos tratamentos (Tabela 1). Nos tratamentos PDM e PDS, a CS era respectivamente de 79% e 42%, imediatamente após o preparo, assemelhando-se à de um cultivo mínimo realizado por Ramos et al. (2014) no mesmo local. Nos tratamentos PCM e PCS a CS resultante após o preparo era respectivamente de 19% e 5%, compatível com as características desse tipo de preparo sobre esses resíduos culturais, conforme Theodoro et al. (2018). No tratamento testemunha (SSC), o solo permaneceu sem cultivo durante todo o período da pesquisa, cuja CS permaneceu essencialmente zero.

**Tabela 1.** Cobertura do solo por resíduo cultural nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada

**Table 1.** Land cover by cultural mixture in treatments, by simulated difference test

Teste	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC	DP
	-----%-----					
1	79	42	19	5	0	29
2	79	38	19	3	0	29
3	78	36	15	0	0	29
4	73	32	14	0	0	27
Média	77	37	17	2	0	29
DP	3	4	3	2	0	-
CV (%)	4	11	15	122	0	-

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja, SSC=Solo sem cobertura, DP= Desvio Padrão; CV= Coeficiente de Variação.

A velocidade de enxurrada (VE) foi da ordem de 0,10 e 0,12 m s<sup>-1</sup> respectivamente nos tratamentos PDM e PDS, enquanto nos tratamentos PCM e PCS foi respectivamente de 0,17 e 0,22 m s<sup>-1</sup>, com o maior valor (0,29 m s<sup>-1</sup>) verificado no tratamento SSC (Tabela 2). No SSC, a VE aumentou de 0,25 m s<sup>-1</sup> no teste 1 para 0,32 m s<sup>-1</sup> no teste 4 de chuva. Nos demais tratamentos isso não ocorreu, devido à ação da cobertura do solo por resíduo cultural, de acordo com resultados observados por Bertol et al. (2010).

**Tabela 2.** Velocidade da enxurrada nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada

**Table 2.** Runoff velocity in the different treatments, by simulated rain test

Teste	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC	DP
	-----m s <sup>-1</sup> -----					
1	0,11	0,14	0,13	0,17	0,25	0,05
2	0,10	0,13	0,18	0,22	0,30	0,08
3	0,11	0,13	0,14	0,24	0,31	0,09
4	0,08	0,08	0,20	0,24	0,32	0,10
Média	0,10	0,12	0,17	0,22	0,29	0,18
DP	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	-
CV (%)	10	25	18	14	10	-

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja, SSC=Solo sem cobertura, DP= Desvio Padrão; CV= Coeficiente de Variação.

O resíduo cultural de milho foi mais eficiente na redução de PS em comparação ao resíduo de soja (Tabela 3). As gramíneas produzem maior quantidade de massa vegetal do que as leguminosas, tanto na parte aérea quanto nas raízes. Assim, o solo cultivado com gramíneas apresenta maior resistência à desagregação e transporte de sedimentos pelo impacto de gotas e enxurrada associada, do que cultivado com leguminosas, conforme verificado por Ramos et al. (2014). Isto, combinado com a elevada persistência do resíduo de milho na superfície, conferiu ao solo maior proteção contra a erosão do que o resíduo de soja.

**Tabela 3.** Perdas de solo nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada

**Table 3.** Soil losses in the different treatments, by simulated rain test

Teste	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
1	239	520	529	859	4203
2	395	1236	4710	10284	13253
3	542	1039	1325	13011	26206
4	173	556	811	9568	11781
Total	1349	3351	7375	33722	55442
Média	337	838	1844	8431	13861

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja, SSC=Solo sem cobertura, DP= Desvio Padrão; CV= Coeficiente de Variação.

As perdas de água (PA) variaram de 21% a 61% entre os tratamentos, em relação ao volume de chuva aplicada (Tabela 4). Essa diferença foi de apenas 6%, na média dos quatro testes de chuva simulada, comparando entre si a média dos tratamentos PDM e PDS com a média dos tratamentos PCM e PCS. A diferença foi pequena também comparando entre si os tratamentos com resíduo cultural milho e de soja, para o mes-

mo tipo de manejo do solo. No tratamento PDM as PA foram 2% maiores do que no PDS, enquanto no PCM as perdas foram 4% menores do que no PCS. No tratamento testemunha (SSC), as PA foram apenas 3% maiores do que a média das perdas verificadas nos tratamentos com cultivo do solo. As PA em geral foram altas, principalmente porque as chuvas simuladas aplicadas eram de alta intensidade ( $65 \text{ mm h}^{-1}$ ) e com duração de uma hora. Essas perdas foram da ordem de 48% da chuva aplicada, na média dos tratamentos. Assim, dos 65 mm de chuva aplicada, 31,2 mm escoaram. Nos tratamentos PDM e PDS, cerca de  $290 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de água da chuva foram perdidos, enquanto, nos tratamentos PCM e PCS e na testemunha (SSC) essa perda foi da ordem de  $325 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

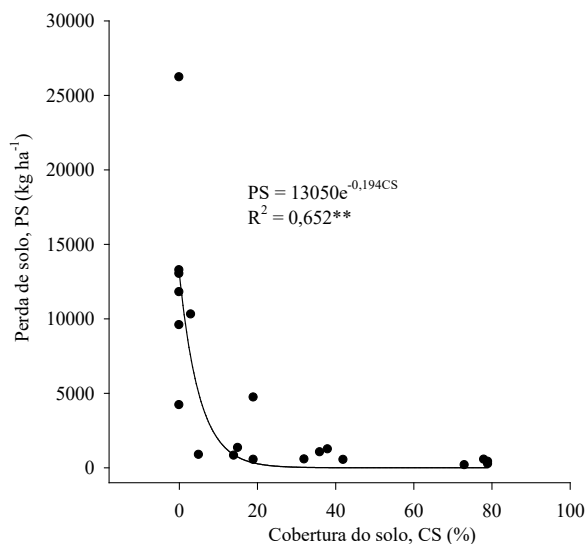
*Tabela 4.* Perdas de água nos diferentes tratamentos, por teste de chuva simulada

*Table 4.* Water losses in the different treatments, by simulated rain test

Teste	PDM	PDS	PCM	PCS	SSC	DP
----- % da chuva -----						
1	46	40	36	43	45	4
2	59	60	57	56	61	2
3	53	51	50	52	59	4
4	21	22	50	56	36	16
Média	45	43	48	52	50	6
DP	13	13	7	5	9	-
CV (%)	29	29	14	9	18	-

PDM=Plantio direto com resíduo do milho, PDS= Plantio direto com resíduo da soja, PCM= Plantio convencional com resíduo do milho, PCS= Plantio convencional com resíduo da soja, SSC=Solo sem cobertura, DP= Desvio Padrão; CV= Coeficiente de Variação.

As PS foram satisfatoriamente explicadas pela CS, com  $R^2 = 0,652$  resultante de relação exponencial inversa entre as variáveis (Figura 3). Assim, a CS dissipou suficientemente a energia cinética da chuva e enxurrada. O resíduo cultural criou rugosidade e tortuosidade na superfície do solo, reduzindo acentuadamente a VE, com eficaz controle da erosão, conforme Tavares et al. (2017). O ajuste do modelo aos dados reforçou a importância da CS por resíduo cultural na resistência do solo à erosão. O resíduo dissipou a energia dos agentes erosivos e agiu mecanicamente no movimento dos sedimentos. Os resíduos culturais na superfície do solo são altamente efetivos na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial (Foster, 1982). Nessa condição, a CS estabelece uma complexa rede de contenção, filtra a água e diminui a VE, retendo os sedimentos por entre as peças do resíduo.

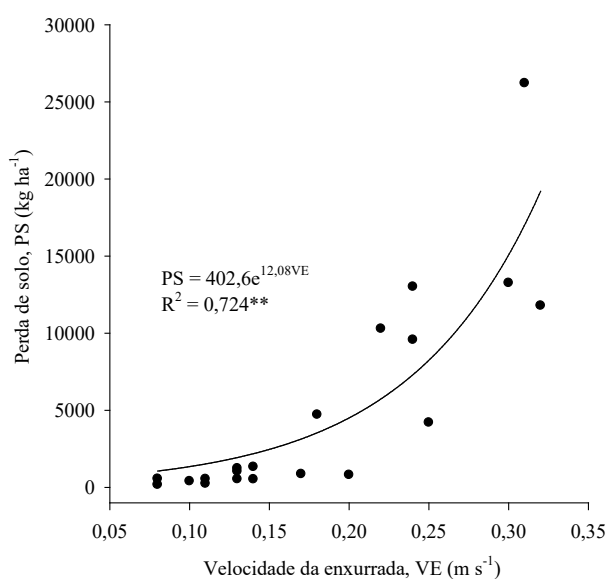


*Figura 3.* Relação entre perdas de solo (PS) e cobertura do solo (CS) por resíduo cultural

*Figure 3.* Relation between soil losses (PS) and soil cover (CS) by cultural residue.

As perdas de solo totais observadas ao final das quatro chuvas simuladas aplicadas nos tratamentos PDM, PDS, PCM, PCS e SSC foram respectivamente de 1,35; 3,35; 7,36; 33,72; e 55,44 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). Portanto, as perdas de solo verificadas nos tratamentos PDM, PDS e PCM foram respectivamente 85%, 63% e 12% menores do que a tolerância de perda de solo de 9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> determinada para esse solo por Bertol & Almeida (2000). As perdas de solo verificadas nos tratamentos PCS e SSC foram respectivamente 3,7 e 6,2 vezes maiores do que a referida tolerância.

Na medida em que aumentou a VE aumentam exponencialmente as PS por erosão hídrica (Figura 4), resultando num valor de R<sup>2</sup> = 0,724, que a VE explicou em 71% as PS. O aumento da VE significou aumento de energia erosiva por parte do escoamento superficial, cujo efeito foi expresso em trabalho de desagregação e transporte de sedimentos. Assim, o aumento da VE potencializou o transporte de sedimentos em maior massa e em maiores diâmetros, aumentando as PS totais, conforme consta também em Bertol et al. (2010).



*Figura 4.* Relação entre as perdas do solo (PS) e a velocidade da enxurrada (VE)

*Figure 4.* Relationship between soil losses (PS) and runoff velocity (VE)



## DISCUSSÃO

No tratamento testemunha (SSC), o solo permaneceu sem cultivo durante todo o período da pesquisa, cuja cobertura do solo (CS) permaneceu essencialmente zero. O tratamento PDM apresentou CS 41% maior do que o PDS, enquanto na comparação do PCM com o PCS a diferença foi de 15%, na média do ciclo da cebola (Tabela 1). Isso é atribuído à diferença de estrutura física dos resíduos culturais de milho e soja, quanto à capacidade de cobrir o solo (Rossi, 2013). O resíduo de milho contém alta relação C/N e elevado teor de lignina. Assim, apresenta lenta taxa de decomposição, enquanto, o resíduo da soja contém baixa relação C/N e rápida taxa de decomposição (Maluf et al., 2015).

O baixo valor da velocidade da enxurrada (VE) do PDM é explicado pela barreira física da CS pelo resíduo de milho (Tabela 1). Essa barreira gerou tortuosidade ao fluxo da água, concordando com Ramos et al. (2016). A baixa VE (Tabela 2), verificada nos tratamentos conservacionistas significa que houve dissipação da energia de fluxo e do seu potencial de desagregação e transporte de partículas de solo (Lambrechts et al., 2013). A baixa eficiência do tratamento SSC na redução da VE foi devida à baixa capacidade do solo de resistir à desagregação. Isso resultou em rápido selamento da superficial do solo e aceleração da energia do escoamento dentro dos sulcos, conforme verificado por Bertol et al. (2010). Situação semelhante a essa foi verificada por Barbosa (2015), em pesquisa com resíduos de milho, trigo e soja. A redução da VE foi de 50% nos tratamentos com resíduos (PDM e PDS) em relação aos tratamentos sem resíduos culturais (PCM e PCS). Isto se deve à elevada efetividade da CS por resíduo no controle de movimento da água na superfície do solo. Dentre os resíduos, o de milho no PDM foi mais eficiente do que o de soja no PDS, explicado pela mais lenta decomposição do resíduo do milho do que de soja, conforme Corrêa (2018).

Os valores de perda de solo (PS) foram 25 vezes maiores no tratamento PCS do que no PDM, na média dos testes de chuva (Tabela 3). Isto é explicado pela ausência quase completa de CS e pelo tipo de preparo do solo no PCS, o que é normal para este tipo de manejo do solo. Isto deixou a superfície do solo totalmente exposta e resultou em elevada quantidade de sedimentos disponíveis ao transporte ocasionados pela ação dos agentes erosivos, conforme verificado também por Almeida et al. (2016). No tratamento PDM as PS foram reduzidas em 60%, 82% e 96% em relação ao PDS, PCM e ao PCS, respectivamente, na média dos testes de chuva. A eficácia deste tratamento em reduzir a erosão é explicada pela elevada cobertura superficial (Tabela 1), pelo tipo e quantidade de resíduo cultural e pelo tipo de preparo do solo que agiram na redução da VE (Tabela 2). Essas condições dissiparam a energia cinética da chuva e enxurrada, conforme verificado por Almeida et al. (2016). Ainda, a ausência de preparo neste tratamento resultou em superfície de solo consolidada e resistente ao sulcamento, em relação aos demais tratamentos, conforme avaliado por Bertol et al. (2004).

As perdas de solo observadas nos tratamentos PDM, PDS e PCM foram menores do que a tolerância de perda de solo, portanto é possível admitir que estes tratamentos são conservacionistas já que podem manter a capacidade produtiva do solo, enquanto o tratamento PCS não é conservacionista porque as perdas de solo foram maiores do que a tolerância. No entanto, é necessário considerar que o volume e erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas que resultaram nessas perdas em cada tratamento foram geradas por chuva simulada com intensidade constante e os valores médios anuais das chuvas da região da pesquisa determinados por Schick et al. (2014) resultaram de chuva natural. A média anual de volume e  $EI_{30}$  das chuvas da região é respectivamente de 1503 mm e 5033 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto os valores das chuvas simuladas utilizados nesta pesquisa foram 240 mm para volume e 3249 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a erosividade (EI). Essas ponderações permitem, apenas, inferir sobre o aspecto conservacionista dos tratamentos recém discutido.

A água perdida por escoamento superficial significou um importante capital ambiental. No local de origem da erosão representou possível deficiência às plantas e aos demais seres vivos do solo. No local fora da erosão, ocasionou impacto com a possível contaminação do ambiente. Na cultura da cebola, os gastos com fertilizantes representam 18% do custo de produção (Araújo et al., 2008). Assim, grandes quantidades de adubos são aplicadas na cultura. Devido à erosão, parte desses adubos possivelmente são removidos pela água de enxurrada, resultando em perdas econômicas consideráveis (Dechen et al., 2015), independentemente do tipo de manejo do solo.

As correlações entre variáveis nas figuras 1 e 2 representaram as duas características de superfície do solo que melhor explicaram as PS pela enxurrada, conforme verificado também por Ramos et al. (2016). Os resultados reforçam o entendimento a que a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo é imprescindível para sustentabilidade agrícola, na medida em que controlam eficazmente a erosão hídrica.

ca. Os resíduos atuam como dissipadores da energia desagregante das gotas de chuva. Assim, evitam o selamento superficial, e aumentam a rugosidade e tortuosidade superficial e a infiltração de água no solo. Adicionalmente, diminuem a velocidade e volume de enxurrada e proporcionam deposição do solo previamente desagregado que se encontra na fase de transporte (Rodríguez-Caballero et al., 2012).

### CONCLUSÕES

As perdas de solo por erosão hídrica no cultivo da cebola são fortemente influenciadas pelo manejo do solo. O plantio direto sobre o resíduo de milho é a forma de manejo mais eficiente no controle da erosão do solo que os demais tratamentos com o cultivo desta olerícola, enquanto PCS é o menos eficiente. Assim, é possível recomendar que a cebola seja cultivada na forma de plantio direto sobre os resíduos culturais de milho e soja obtendo-se substancial redução nas perdas de solo em relação à tolerância. O cultivo na forma de plantio convencional sobre o resíduo de milho resulta em fraca redução nas perdas de solo em relação ao nível perda de solo permitido pela tolerância. O aumento na cobertura do solo pelos resíduos culturais ocasiona diminuição exponencial das perdas de solo, enquanto essas perdas aumentam exponencialmente com o aumento da velocidade da enxurrada. As perdas de água pela enxurrada apresentam tendência semelhante à das perdas de solo, mas com menor dependência do manejo do solo do que as perdas de solo.

### BIBLIOGRAFIA

- Almeida, W.S., Carvalho, D.F., Panachuki, E., Valim, W.C., Rodrigues, S.A e Varella, C.A. (2016). Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesq. agropec. bras.*, 5(9), 1110-1119.
- Alvares, C.A., Stape J.L, Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L e Sparovek, G. (2013). Köppen's Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(69), 711-728.
- Barbosa, F.T. (2011). *Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta*. [Tese de Doutorado] - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- Barbosa, M.B. (2015). Hidráulica do escoamento superficial no processo de erosão em sulcos de um Argissolo. *Jaboticabal*, xi.
- Bertol, I. e Almeida, J.A. (2000) Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 657-668.
- Bertol I., Vázquez, E.V., González, A.P. e Cogo, N.P., Luciano RV e Fabian EL. (2010). Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um NITOSSOLO HÁPLICO (1) *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 245-252.
- Bertol, I., Bertol, C. e Barbosa, F.T. (2012). Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 36(6), 1905-1910.
- Bertol, I., Albuquerque, J. A., Leite, D., Amaral, A. J. e Zoldan, W. A. (2004). Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 155-163.
- Camargo, E. S. (2011). *Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola*. [Dissertação Mestrado] – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. Lages,. 80 p. [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1462/dissertacao\\_estefania\\_camargo\\_15688946065201\\_1462.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1462/dissertacao_estefania_camargo_15688946065201_1462.pdf)
- Cogo, N.P. (1981). *Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters*. [Tese de Doutorado]. West Lafayette, Purdue University.
- Confessor J.G. e Rodrigues S.C. (2018) .Método para calibração, validação e utilização de simuladores de chuvas aplicados a estudos hidrogeomorfológicos em parcelas de erosão. *Rev. Bras. Geomorfol.* São Paulo, 19(19), (Jan-Mar), 221-229.
- Corrêa, E.A., Moraes I.C., Lupinacci, C.M. e Ferreira, S.A. (2018). Influência do cultivo de cana-de-açúcar nas perdas de solo por erosão hídrica em Cambissolos no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 19(2)
- Dechen S.C., Telles, T.S., Guimarães, M.F. e De Maria, I.C. (2015). Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, Campinas, 74(2), 224-233.
- Embrapa. (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, DF. *Embrapa*
- Embrapa. (2017). Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira . [et al.], editores técnicos. 3. ed. *Rev. e Ampl.* Embrapa.
- Epagri. (2013). Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina (4. Revisão). Florianópolis. (*Epagri. Sistemas de Produção*, 46). Cebola; Prática cultural.
- Foster, G.R. (1982) Modeling the erosion process. Hydrologic modeling of small watersheds. *St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.* 297-380.
- Hartwig, R.O. e Lafen, J.M. (1978). A meterstick method for measuring crop residue cover. *Journal Soil Water Conservation*, Ankeny, 33, 90-91.

- Jian, J., Du, X. e Stewart, R.D. (2020). A calculator to quantify cover crop effects on soil health and productivity. *Soil and Tillage Research*. Volume 199,104575.
- Karlen, D.L. e Rice, C.W.(2015). Soil degradation: Will humankind ever learn? *Sustainability*, 7(9), 12490–12501.
- Lambrechts, T., François S., Lutts, S., Muñoz-Carpena, R. e Biolders, C.L. (2013). Impact of plant growth and morphology and of sediment concentration on sediment retention efficiency of vegetative filter strips: flume experiments and VFSSMOD modeling. *Journal of Hydrology* 511, 800-810.
- Maluf, H.J.M., Soares, E.M., Silva, I.R., Lima Neves, J.C. e Guimarães, L.O. (2015). Decomposição de Resíduos de Culturas e Mineralização de Nutrientes em Solo com Diferentes Texturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 1681-1689.
- Panachuki, E., Bertol, I., Alves Sobrinho, T., Oliveira, P.T.S. e Rodrigues, D. (2011). Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1777-1785.
- Pinheiro, A., R Gotardo, Piazza, G.A., Alves, T.C., Aguida, L.M., Kaufmann, V. e Reis Castro, N.M. (2016). Perda de solo em diferentes sistemas de plantio por meio de chuvas simuladas em lisímetros volumétricos. *Revista de Ciências Ambientais*, 10(2) 89-109.
- Ramos, J.C., Bertol, I., Barbosa, F.T., Marioti, J e Werner,R.S. (2014).Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo Húmico. *R. Bras. Ci. Solo*, 38, 1587-1600.
- Ramos, J.C. Bertol, I., Barbosa, F.T., Bertol, C., Mafra, Á.L., Miquelluti, D.J. e Júnior, J.M. (2016). Water erosion in surface soil conditions: runoff velocity, concentration and  $D_{50}$  index of sediments in runoff. *Sci. agric.(Piracicaba, Braz.)*,73(3)286-293.
- Rodríguez-Caballero, E., Cantão, Y., Chamizo, S., Afana, A. e Solé-Benet, A. (2012). Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology*. 145–146(1) 81-89.
- Rossi, C.Q., Pereira M.G., Giacomio, S.G., Betta, M. e Polidoro, J.C. (2013). Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 34( 4)1523-1534.
- Sadeghi, S.H., Zabihi, M., Vafakhah, M. e Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*, 87(1)35-56.
- Sloneker, L. L. e Moldenhauer, W. C. (1977). Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *J. Soil Water Conserv.*, 32, 231-236.
- Souza, M., Comin, J.J., Leguizamón, E.S., Kurtz, C., Brunetto, G., Júnior V.M. e Ventura B; Camargo A. (2013). Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. *Ciência Rural*, Santa Maria, 43(1),21-27.
- Tavares, A.S., Júnior, H.M., Spalevic, V. e Mincato, R.L. (2017). Modelos de Erosão Hídrica e Tolerância das Perdas de Solo em Latossolos Distróficos no Sul de Minas Gerais. *Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo*. Volume Especial – XVII SBGFA / I CNGF.
- Theodoro, G.F., Golin, H.O., Silva, M.S., Rezende, R.P. e Abreu, V.L.S. (2018). Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, 5(2),25-30.
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978). *Predicting rain fall erosion losses: A guide to conservation planning*. Washington, USDA,. 58p. (Agricultural Handbook, 537).