

Comprimento crítico de declive e erosão hídrica, em três doses de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta¹

Critical slope length and water erosion, in three rates of crop residue and two modes of direct seeding

André Julio do Amaral^{2*}, Neroli Pedro Cogo³, Ildgardis Bertol⁴

Recebido em 08/11/2012; aprovado em 04/07/2014.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar a existência de comprimentos críticos de declive, associados à falha do resíduo cultural de milho, nas doses de 8, 4 e 2 Mg ha⁻¹, em dois modos de semeadura direta, sem e com hastes sulcadoras. Foi usada chuva simulada de 75 mm h⁻¹, aplicada com o simulador de braços rotativos, e um Nitossolo Bruno com 0,16 m m⁻¹ de declividade. Inicialmente aplicou-se somente chuva, até a enxurrada ficar constante. Em continuidade, sem interromper e mudar a intensidade da chuva, níveis crescentes de fluxo extra de água (seis, 10 minutos cada um) foram adicionados às parcelas experimentais, para simular comprimentos de declive progressivamente maiores. Observou-se efetiva remoção do resíduo de milho pela enxurrada em todos os tratamentos, sugerindo falha do mesmo ou existido comprimento crítico de declive em todos eles, mas isto não pôde ser confirmado pelas relações teóricas de erosão. Mesmo assim, como referência e por medida de segurança, deu-se crédito real ao observado visualmente e considerou-se falha do resíduo nos níveis menores de fluxo extra na semeadura direta sem hastes sulcadoras e nos níveis maiores de fluxo extra na semeadura direta com hastes sulcadoras, estabelecendo-se comprimentos críticos de declive, respectivamente, de 64 m a

118 m e 171 m a 456 m, conforme as doses de resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva simulada, cobertura do solo, rugosidade do solo, infiltração de água, escoamento superficial.

SUMMARY

The objective of this work was to investigate the existence of critical slope lengths, associated with corn residue failure, at the rates of 8, 4, and, 2 Mg ha⁻¹, in two modes of direct seeding: without and with shanks grooving in the seeding-fertilizing machine. Simulated rainfall of 75 mm h⁻¹, applied with the rotating-boom simulator, and an Alfisol with 0.16 m m⁻¹ slope steepness, were used. Initially only applied rain was used, until steady runoff occurred. Increasingly, without interrupting and changing the intensity of the rain, increasing levels of extra-water inflow (six, 10 minutes each) were added to the experimental plots, to simulate progressively greater slope lengths. There was effective residue removal by surface runoff in all treatments, which led to believe the same failure or critical slope length existed in all of them, but this could not be confirmed by the theoretical erosion relationships. Even so, as a reference and as a measure of safety, real credit was given to what was visually observed, a failure

¹ Trabalho extraído da tese de doutorado do primeiro autor, realizada com recursos financeiros do CNPq, por meio dos auxílios grant do segundo e do terceiro autor, e da UDESC.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rua Antônio Falcão, 402, Bairro: Boa Viagem, CEP 51020260, Recife, PE, Brasil. Email: andre.amaral@embrapa.br. *Autor para correspondência.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina - CAV/UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro: Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil.

in smaller residue level of extra flow in direct seeding without chisel planter was observed, and the opposite with the chisel planter, establishing critical slope lengths, respectively, of 64 m to 118 m and 171 m to 456 m, according to residue rates.

KEY WORDS: simulated rainfall, soil cover, soil roughness, water infiltration, surface runoff.

INTRODUÇÃO

Os métodos conservacionistas de preparo do solo modificam as condições físicas de sua superfície e abaixo dela, principalmente a cobertura do solo por resíduos culturais e a rugosidade ou micro-relevo induzido pelo preparo, influenciando o processo de erosão hídrica do solo (COGO et al., 1984; LEITE et al., 2004; BERTOL et al., 2006; ZOLDAN JUNIOR et al., 2008; PORTELA et al., 2010). Dentre tais métodos de preparo, destaca-se o de semeadura direta/plantio direto, pela sua grande eficácia em reduzir a perda de solo por erosão, seja ela hídrica ou eólica (COGO et al., 1984; AMARAL et al., 2008; BAGATINI et al., 2011). Isso porque, em tal método de semeadura/plantio, quando bem delineado e bem conduzido, os restos vegetais praticamente ficam todos em superfície, efetivamente dissipando a energia cinética da chuva e reduzindo a da enxurrada, assim protegendo o solo da desagregação inicial de suas partículas pela ação de impacto das gotas da chuva. Por essa razão, a perda de solo por erosão nesse método normalmente é sempre menor do que a verificada em outros métodos conservacionistas de preparo do solo (AMARAL et al., 2008; PORTELA et al., 2010).

A erosão hídrica do solo resulta da ação combinada de seis fatores principais, quais sejam, regime de chuva, tipo de solo, comprimento e inclinação do declive, combinação cobertura-manejo do solo e prática conservacionista de suporte (WISCHMEIER e SMITH, 1978; RENARD et al., 1997). Assim, mesmo com boa quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, a técnica de semeadura direta, não só não

garante a redução da perda de solo por erosão dentro dos níveis toleráveis, como também a redução da perda de água da chuva na forma de enxurrada. Este último fato se deve às diferentes capacidades de infiltração de água dos solos, em função das diferenças que apresentam quanto suas características próprias e as causadas pelo manejo. Superada a capacidade de infiltração de água do solo, o excesso da mesma passará a escoar sobre o terreno inclinado, dando origem à enxurrada. Desse modo, em declives longos e/ou acentuados, ou sob altas taxas de enxurrada, os resíduos culturais podem ser removidos da superfície do solo com relativa facilidade, e, em decorrência, diminuir sua eficácia relativa de controle da erosão (FOSTER et al., 1982a e 1982b). O ponto ou distância no terreno onde ocorre perda de eficácia relativa de redução da erosão dos resíduos culturais denota o comprimento crítico de declive para aquela situação, significando que o valor do fator C - cobertura e manejo do solo do modelo USLE/RUSLE de predição da erosão deve ser aumentado ao se predizer a perda de solo no restante da pendente (WISCHMEIER, 1978). Segundo Foster et al. (1982a e 1982b), existem duas formas ou dois critérios principais para se detectar falha dos resíduos culturais ou existência de comprimentos críticos de declive nos preparos conservacionistas de solo, a saber: observação visual em campo e relações teóricas de erosão, estas últimas por meio da relação da taxa de perda de solo, da concentração de sedimento na enxurrada e da velocidade desta com a taxa de descarga da enxurrada.

Estudos sobre falha dos resíduos culturais ou existência de comprimentos críticos de declive nas condições reais de campo são escassos, tanto no Brasil quanto no exterior. Assim, Foster et al. (1982a), utilizaram colmos de milho em solo não preparado e palha normal de trigo em solo preparado, ambos soltos na superfície, observando comprimentos críticos de declive de 45 a 200 m no solo não susceptível à erosão em sulco e de 40 a 150 m no susceptível a ela, dependendo da taxa de resíduo ($0,22$ a $0,90 \text{ kg m}^{-2}$) e do gradiente do declive ($0,06$ a $0,092 \text{ m m}^{-1}$). Já Cogo et al.

(1996), simularam comprimentos de declive de, até, 135 m, nos preparos de solo escarificação (“chisel plow”, com ponteiros do tipo “sweep” ou asa de andorinha) e sem preparo ou semeadura direta, não observando comprimento crítico de declive com o tipo de resíduo usado (palha de trigo), em solo com declividade de 0,065 m m⁻¹. No Brasil, Bertol et al. (1997) realizaram um estudo semelhante ao dos últimos autores mencionados, em Eldorado do Sul, RS, em um Argissolo Vermelho Amarelo com declividade média de 0,066 m m⁻¹, usando resíduos de milho e trigo, ambos soltos na superfície, e os métodos de preparo do solo escarificação e semeadura direta, tendo encontrado comprimentos críticos de declive de 143 a 267 m no primeiro e de 106 a 483 m no segundo. No mesmo local, Moraes e Cogo (2001) investigaram falha dos resíduos de milho, soja e aveia preta, no método de semeadura direta, encontrando comprimentos críticos de declive de 107 a 138 m para o primeiro, de 91 a 109 m para o segundo e de 99 a 110 m para o último. Nesse mesmo trabalho, foram também encontrados comprimentos críticos de declive de 29 a 58 m e de 33 a 63 m para o resíduo semidecomposto de soja, estando este, respectivamente, solto e parcialmente ancorado na superfície do solo. Na região do Planalto Sul Catarinense, num Nitossolo Bruno declividade média de 0,144 m m⁻¹, Barbosa et al. (2012) comprovaram a ocorrência de falha dos resíduos culturais em semeadura direta, com comprimentos críticos de declive nas faixas de 109 a 155 m, 44 a 147 m, 35 a 137 m, para os resíduos culturais de milho, trigo e soja, respectivamente, conforme a dose de resíduo e direção da operação de semeadura. Os autores relatam que o critério da observação visual em campo e o da relação teórica de erosão caracterizada pela taxa de perda de solo versus taxa de descarga da enxurrada foram os melhores quanto a identificar o ponto de falha dos resíduos culturais.

O objetivo deste trabalho foi investigar a existência de comprimentos críticos de declive em dois modos de semeadura direta e três doses do resíduo cultural de milho, usando chuva

simulada e um solo Nitossolo Bruno. O propósito final do estudo é contribuir com informações que possam ser usadas no planejamento das lavouras conduzidas com preparos conservacionistas de solo, de modo a garantir a eficácia máxima de redução da erosão pelos resíduos culturais nas mesmas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em campo, em condições de chuva simulada, no período compreendido entre os outonos de 2006 e 2009, em São José do Cerrito, SC, Brasil, entre as coordenadas geográficas de 28° 55' S e 51° 08' W. O clima da região é do tipo Cfb (Köppen), e o solo um Nitossolo Bruno aluminoférrico húmico (EMBRAPA, 2006) possuindo as seguintes características na camada superficial: 665 g kg⁻¹ de argila, 223 g kg⁻¹ de silte e 112 g kg⁻¹ de areia (textura muito argilosa); 32,01 g kg⁻¹ de carbono orgânico; 1,3 mg dm⁻³ de fósforo; 60 mg dm⁻³ de potássio; densidade de partículas igual a 2,51 Mg m⁻³; densidade do solo igual a 1,07 Mg m⁻³; volume de macro e microporos igual a, respectivamente, 0,19 e 0,40, m³ m⁻³; profundidade efetiva moderada e declividade média de 0,16 m m⁻¹.

As unidades experimentais foram constituídas das tradicionais parcelas para estudo da erosão com chuva simulada em campo, possuindo dimensões de 3,5 m x 11 m cada uma, com a maior dimensão sendo disposta no sentido do declive do terreno. O preparo inicial do solo na área experimental, para fins de sua adequação à realização da pesquisa, foi realizado no outono de 2006, por meio de uma aração e de duas gradagens, seguido da implantação da cultura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). Os demais cultivos (até o outono de 2009) foram em semeadura direta, implantando-se aveia preta no inverno e milho (*Zea mays* L.) no verão. As referidas culturas foram estabelecidas em linha, no espaçamento de 0,2 e 0,5 m, respectivamente, usando máquina semeadora-adubadora tratorizada. Estabeleceram-se seis tratamentos

para cada tipo de resíduo, sem repetição por falta de espaço físico adequado na área experimental, preferindo-se ter maior número de tratamentos na pesquisa. Entretanto, devido a problemas ocorridos nos testes de erosão com o resíduo de aveia preta, neste trabalho são apresentados apenas os resultados obtidos com o resíduo de milho. Assim, estudaram-se três doses do mesmo - 1/1, 1/2 e 1/4 da quantidade total produzida ou 8, 4 e 2 Mg ha⁻¹, espalhadas uniformemente na superfície do solo, e dois modos de semeadura direta - sem e com hastes sulcadoras na máquina semeadora-adubadora. O propósito dessas hastes é colocar o adubo em profundidade no solo (0,06 m a 0,012 m - neste estudo foi de 0,06 m) e, assim, mobilizar um pouco o mesmo, para melhorar suas condições físicas para a infiltração de água.

Os testes de erosão com o resíduo em consideração foram realizados no final do outono de 2009, após o solo ter permanecido por três anos (abrangendo seis cultivos) em semeadura direta. As chuvas simuladas foram aplicadas com o aparelho simulador de braços rotativos (SWANSON, 1965), na intensidade de 75 mm h⁻¹, até a enxurrada atingir sua condição de equilíbrio ou taxa constante de descarga. A intensidade de chuva mencionada é maior do que a normalmente usada (64 mm h⁻¹) em pesquisas usando somente chuva simulada (sem adição de fluxos extras). Isso ocorreu porque neste estudo (com adição de fluxos extras) se desejou ter uma maior quantidade de energia erosiva no processo, para poder evidenciar melhor o efeito dos tratamentos. Alcançada a condição de equilíbrio da enxurrada, e sem interromper e mudar a intensidade da chuva, o evento foi continuado por uma hora, porém, adicionando às parcelas experimentais fluxos extras (crescentes) de água limpa ou isenta de sedimentos (seis níveis, 10 minutos cada), para simular comprimentos de declive, progressivamente, mais longos que o da parcela experimental. Esses níveis de fluxo extra de água foram de 20, 36, 83, 97, 137 e 165 x 10⁻⁵ m³ s⁻¹ m⁻¹ (leia-se por metro de largura da parcela), respectivamente equivalendo a comprimentos

simulados de declive de 60, 100, 220, 260, 360 e 430 m. Maiores detalhes sobre os procedimentos e cálculos comumente usados no processo de adição e medição de fluxos extras de água podem ser vistos em (COGO et al. 1996; BERTOL et al. 1997; MORAIS; COGO 2001).

As taxas de descarga da enxurrada sob a adição dos fluxos extras de água foram medidas a cada 3 minutos, usando balde com capacidade de 40 litros, previamente calibrado para a altura da lâmina de água no seu interior, o qual era colocado sob o fluxo por 3 a 5 segundos, registrando-se o tempo de coleta com cronômetro. Paralelamente à medição das taxas de descarga da enxurrada, foram coletadas amostras da mesma, usando potes plásticos com capacidade de 1 litro cada um, para posterior determinação, em laboratório, da sua correspondente concentração de sedimento. As taxas de perda de solo, em cada nível de fluxo extra de água, foram obtidas multiplicando-se a concentração de sedimento na enxurrada pela sua correspondente taxa de descarga, sendo expressa em kg m⁻² h⁻¹. O comprimento equivalente de declive (Le, em metro), simulado em cada nível de fluxo extra, foi calculado pela expressão $Le = (I_a / q_c) L + L$, em que I_a é a taxa de fluxo extra de água adicionada (mm h⁻¹), q_c a taxa constante de descarga da enxurrada enquanto sob a aplicação somente de chuva (mm h⁻¹) e L o comprimento da parcela experimental (11 m).

A falha do resíduo ou existência de comprimento crítico de declive foi verificada pelos critérios da observação visual em campo, auxiliada pela tomada de imagens digitais da superfície do solo durante a adição dos níveis de fluxo extra de água nas parcelas experimentais, e das relações teóricas de erosão, efetuando-se análises de regressão linear e não linear simples, com os dados da concentração de sedimento na enxurrada e da taxa de perda de solo com a taxa de descarga da enxurrada no ponto médio da parcela experimental, conforme a metodologia desenvolvida e testada por Foster et al. (1982a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fluxos extras de água adicionados nas parcelas experimentais e equivalentes comprimentos de declive simulados

Houve considerável diferença entre os tratamentos quanto às taxas de fluxo extra de água que foram adicionadas nas parcelas experimentais e, também, alguma diferença nos valores dos seus intervalos de classe (Figura 1A), conforme também observado por Bertol et al. (1997) e Morais e Cogo (2001) em seus estudos. A implicação disso é que os tratamentos, por não terem recebido a mesma quantidade total de água (chuva+fluxos extras), não foram expostos à mesma quantidade de energia erosiva durante os eventos a que foram submetidos, prejudicando um pouco a comparação direta dos seus resultados. Embora isso, ressalta-se que a averiguação em si do processo de falha do resíduo cultural ou de detecção de comprimento crítico de declive no estudo, não foi prejudicada. De qualquer forma, solicita-se cautela na interpretação e comparação direta dos resultados obtidos.

No que se refere aos comprimentos equivalentes de declive simulados na pesquisa (Figura 1B), calculados com base nas taxas de fluxo extra de água e taxas de descarga da enxurrada na sua condição de equilíbrio enquanto somente sob a aplicação de chuva, também variaram consideravelmente entre os tratamentos, mas sendo sempre maiores na

semeadura direta com (variação de 70 m a 460 m) do que sem hastes sulcadoras (variação de 35 m a 200 m), sem tendência definida do efeito das doses de resíduo em qualquer uma delas. Essa variação nos comprimentos equivalentes de declive entre os tratamentos ocorreu devido à variação que existiu entre eles quanto aos intervalos de classe dos fluxos extras de água que foram adicionados nas parcelas experimentais (Figura 1A) e, principalmente, à variação nas taxas de descarga da enxurrada na sua condição de equilíbrio enquanto somente sob a aplicação de chuva (Figura 1B), como comentado anteriormente, mas também sem maior prejuízo para o objetivo principal da pesquisa. Esclarece-se que a linearidade das relações apresentadas na Figura 1B é normal, visto que, neste estudo, houve total interdependência das taxas de fluxo extra de água que foram adicionadas com os equivalentes comprimentos de declive simulados, uma vez que estes foram calculados com base nas primeiras. Entretanto, a razão principal da referida linearidade está no fato de que, na condição de solo saturado, que foi o caso desta pesquisa, toda a água aportada ao sistema imediatamente e na mesma magnitude sai dele, mantendo o mesmo em equilíbrio. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bertol et al. (1997) e Morais e Cogo (2001), Barbosa et al., (2012) em estudos similares a este.

Os maiores comprimentos equivalentes de declive encontrados na semeadura direta

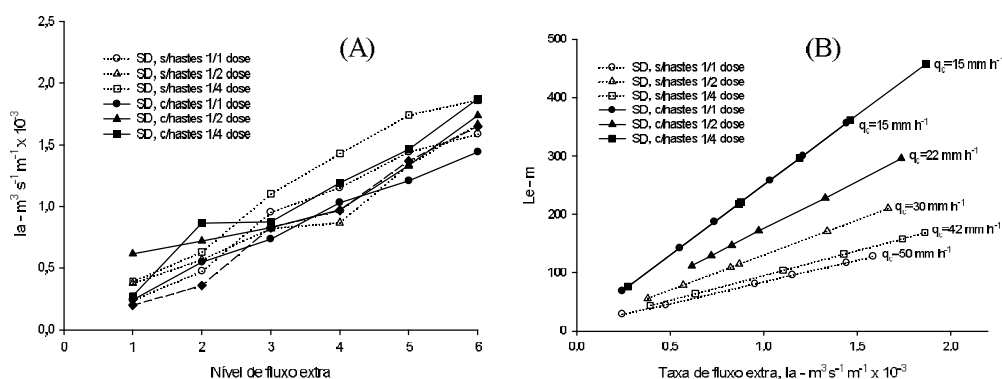


Figura 1 - Taxas de fluxo extra de água em cada um dos seus níveis (Ia - A) e correspondentes comprimentos equivalentes de declive simulados (Le - B), nos tratamentos estudados.

com hastes sulcadoras comparada ao sem hastes sulcadoras, se deveram às melhores condições físicas superficiais do solo na mesma do ponto de vista hidrológico, especialmente a rugosidade induzida pelo preparo e associada porosidade total da camada mobilizada do solo. Isso favoreceu muito a infiltração e a retenção superficial da água da chuva no solo na semeadura com hastes sulcadoras e, em decorrência, diminuiu muito a enxurrada na mesma, o que pode ser comprovado pelos valores de q_c (taxa de descarga da enxurrada na sua condição de equilíbrio enquanto somente sob a aplicação de chuva simulada) apresentados na Figura 1B, que foram sempre maiores na semeadura direta sem do que com hastes sulcadoras. Assim, quanto menor a taxa de descarga da enxurrada na sua condição de equilíbrio (q_c), maior a quantidade de água que deve ser adicionada como fluxo extra (I_a) para causar remoção do resíduo, bem como maior o comprimento equivalente de declive simulado (L_e), conforme também verificado por Foster et al. (1982a), Cogo et al. (1996), Bertol et al. (1997) e Morais e Cogo (2001). Quanto à falta de tendência definida na inter-relação doses de resíduo versus comprimentos equivalentes de declive, não foi possível detectar o quanto foi verdadeira e o quanto se deveu ao acaso e outras possíveis fontes de variação na pesquisa. Muito provavelmente, uma das razões para isso tenha sido o equipamento de suprimento de água aos fluxos extras utilizado neste estudo, o qual não operou como se desejava.

Análise dos indicadores da falha do resíduo cultural ou da existência de comprimento crítico de declive no estudo

Análise dos dados pelo critério da observação visual em campo

O critério da observação visual em campo é o mais rápido e simples para se constatar falha (de fato movimentação/remoção e, assim, apenas pressupor ou inferir sobre falha) do resíduo cultural na lavoura, é subjetivo e, por isto incerto, mas também não deixa de ser um indicador útil. Com ele, não só é possível ver se os resíduos

culturais se movimentaram, ou não, no terreno pela ação da enxurrada, como também em que forma (peça por peça ou em massa), em que grau (pequeno, médio ou grande) e em que distância (perto, mediano ou longe). Em função disso, o que é deduzido com base nele, tem boa sustentação.

A base para averiguação do processo de falha do resíduo por meio deste critério, neste estudo, consistiu da observação cuidadosa do comportamento do resíduo nas parcelas experimentais, enquanto nelas eram adicionados os fluxos extras de água, acompanhada da tomada de imagens digitais da superfície do solo nas mesmas. Essas imagens são apresentadas na Figura 2, respectivamente, para a semeadura direta sem e com hastes sulcadoras, em cada dose do resíduo de milho. Analisando as imagens nessas figuras, se percebe que houve efetiva remoção do resíduo pela enxurrada em todos os tratamentos, porém variando com os níveis de fluxo extra de água. Baseado nas imagens da Figura 2, extraíram-se os resultados apresentados no Quadro 1. Analisando os dados nesse quadro, verifica-se que o resíduo de milho foi removido das parcelas experimentais (peça por peça e em massa, dependendo do nível de fluxo extra de água e da dose de resíduo) pela enxurrada nos níveis menores de fluxo extra na semeadura direta sem e nos maiores na com hastes sulcadoras, sem tendência definida do efeito das doses de resíduo em qualquer uma delas. Assim, admitindo que a remoção do resíduo tenha se traduzido em falha real do mesmo, o que vai ser atestado adiante pela análise dos resultados pelo critério das relações teóricas de erosão, estabeleceram-se comprimentos críticos de declive de 64 m a 118 m na semeadura direta sem e de 171 m a 456 m na com hastes sulcadoras, conforme as doses de resíduo (Quadro 1).

Os maiores comprimentos críticos de declive na semeadura direta com hastes do que na semeadura sem hastes sulcadoras, independentemente das doses de resíduo, se deveu à maior rugosidade superficial e associada porosidade total da camada mobilizada do solo na mesma, aumentou a infiltração e retenção

Semeadura Direta Sem Hastes Sulcadoras



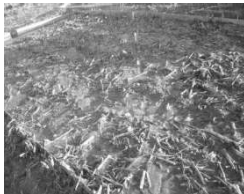
(a) Antes da remoção



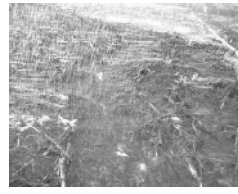
(b) Durante a remoção



(c) Após a remoção



(d) Antes da remoção



(e) Durante a remoção



(f) Após a remoção



(g) Antes da remoção



(h) Durante a remoção



(i) Após a remoção

Semeadura Direta Com Hastes Sulcadoras



(j) Antes da remoção



(k) Durante a remoção



(l) Após a remoção



(m) Antes da remoção



(n) Durante a remoção



(o) Após a remoção



(p) Antes da remoção



(q) Durante a remoção



(r) Após a remoção

Figura 2 - Vista da superfície do solo nas parcelas experimentais, antes, durante e após a remoção (último nível de fluxo extra de água) do resíduo de milho pela enxurrada, em cada uma das suas doses (a, b, c; j,k,l=8 Mg ha⁻¹; d, e, f; m,n,o=4 Mg ha⁻¹; g, h, i; p,q,r=2 Mg ha⁻¹), no modo de semeadura direta sem e com hastes sulcadoras, respectivamente.

Quadro 1 - Níveis e correspondentes taxas de fluxo extra de água em que visualmente se constatou remoção do resíduo de milho pela enxurrada e intervalos calculados de comprimento crítico de declive, nos tratamentos estudados.

Modo de semeadura direta/dose de resíduo	Nível de fluxo extra	Taxa de fluxo extra	Intervalo de comprimento crítico de declive ¹	
			Inferior	Superior
	nº de ordem	$m^3 s^{-1} m^{-1} \times 10^{-3}$	----- m -----	
Sem hastes, 8 Mg ha ⁻¹	3/4	0,95/1,15	81	96
Sem hastes, 4 Mg ha ⁻¹	3/4	0,82/0,87	109	118
Sem hastes, 2 Mg ha ⁻¹	2/3	0,63/1,10	64	104
Com hastes, 8 Mg ha ⁻¹	4/5	1,03/1,21	300	354
Com hastes, 4 Mg ha ⁻¹	4/5	0,97/1,33	171	228
Com hastes, 2 Mg ha ⁻¹	5/6	1,46/1,87	363	456

¹Pressupondo que a remoção do resíduo tenha resultado em falha real do mesmo.

superficial da água da chuva. Devido a isso, foi necessário um maior nível de fluxo extra de água para remover o resíduo das parcelas experimentais em tal modo de semeadura, mais do que na semeadura sem hastes sulcadoras, a qual praticamente não sofreu mobilização do solo e, assim, continha pequena rugosidade superficial e nem um ganho de porosidade extra (causada pela mobilização). Resultados semelhantes foram observados por Barbosa et al. (2012) que encontraram comprimentos críticos de declive na ordem de 109 a 155 m, em condições similares ao desta pesquisa, porém, investigando duas doses de resíduo nas quantidades de 9,6 e 4,8 Mg ha⁻¹, referente a todo e metade do resíduo produzido de milho.

Quanto à falta de tendência nos resultados em função das doses de resíduo, nos dois modos de semeadura direta, não se tem uma explicação lógica para tal, mas provavelmente foi devido ao erro experimental e outras possíveis fontes de variação na pesquisa.

Análise dos dados pelo critério das relações teóricas de erosão

a) *Inter-relação concentração de sedimento na enxurrada versus taxa de descarga da enxurrada*

Os resultados desta inter-relação são apresentados na Figura 3. Analisando os dados na mesma, verifica-se que a concentração de sedimento na enxurrada (CSE), mesmo com considerável variação nos seus valores, continuamente tendeu a diminuir com o aumento da taxa de descarga da enxurrada no ponto médio das parcelas experimentais (q_m) em todos os tratamentos, exceto o de semeadura direta com hastes sulcadoras e metade da dose de resíduo (1/2 ou 4 Mg ha⁻¹), no qual a mesma diminuiu por algum tempo e, então, bruscamente aumentou. Isso, em princípio, mostra ter havido falha do resíduo nesse tratamento, portanto, realmente existido comprimento crítico de declive no mesmo, confirmando o pressuposto pela observação visual em campo. A diminuição da concentração de sedimento na enxurrada com o aumento da sua taxa de descarga na quase totalidade dos tratamentos (evidência tida como verdadeira da inexistência de falha do resíduo nos mesmos) é explicada pelo efeito de diluição que existiu entre estas duas variáveis, em que a primeira aumentou em taxa decrescente e a segunda em taxa crescente, durante o processo erosivo do solo nas parcelas experimentais, exatamente devido o resíduo ter mantido sua eficácia relativa de controle da erosão no mesmo.

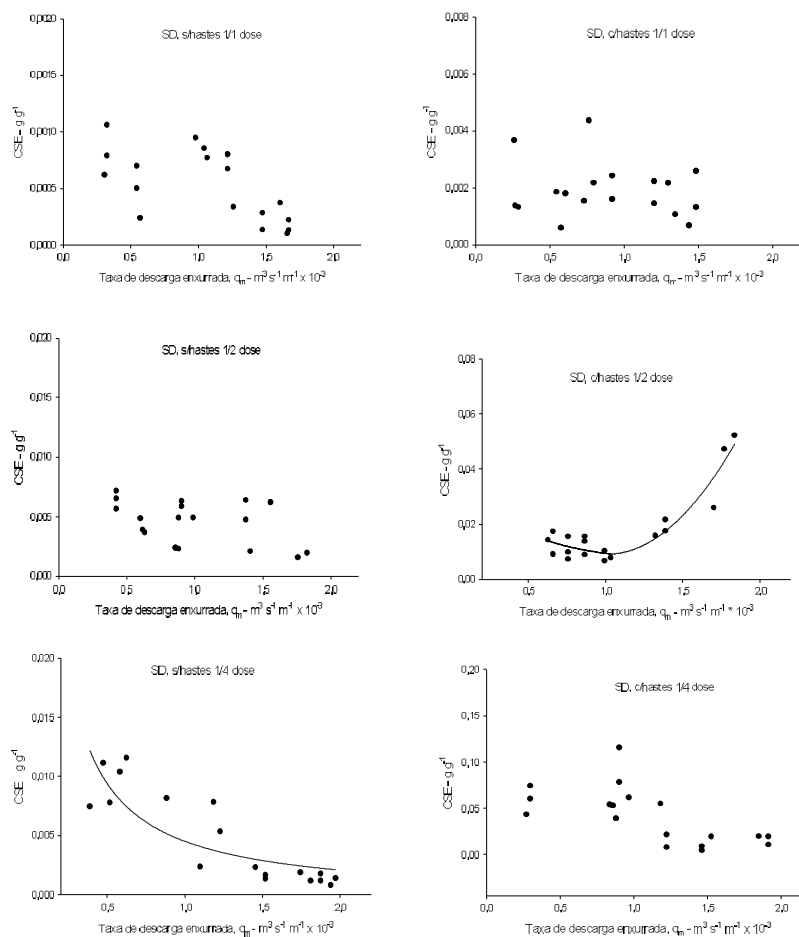


Figura 3 - Inter-relação concentração de sedimento na enxurrada (CSE) versus sua taxa de descarga no ponto médio da parcela experimental (q_m), durante a adição dos fluxos extras de água, nos tratamentos estudados.

Já o contrário pode ser dito para o tratamento de exceção, porém sem justificativa para ele ter sido o único, assim, no estudo.

b) Inter-relação taxa de perda de solo versus taxa de descarga da enxurrada

Inicialmente esclarece-se que a taxa de perda de solo usada nesta inter-relação (D_p – Figura 4) representa a perda média de solo do último segmento de um declive com comprimento igual ao simulado pela adição de cada nível de fluxo extra de água nas parcelas experimentais, mais 11 metros (comprimento da parcela experimental), conforme definido por Foster et al. (1982a). Analisando os resultados na referida figura, verifica-se que a taxa de perda de solo se comportou muito irregularmente e apresentou grande dispersão de pontos com o aumento da

taxa de descarga da enxurrada no ponto médio das parcelas experimentais, bem mais do que o ocorrido com a concentração de sedimento da enxurrada neste mesmo tipo de relação (Figura 3), em todos os tratamentos, exceto na semeadura direta com hastes sulcadoras e metade da dose de resíduo - 1/2 ou 4 Mg ha⁻¹. Isso também evidencia que, em princípio, exceto um caso não houve falha do resíduo de milho no estudo e, portanto, não existiram comprimentos críticos de declive no mesmo. Se tivesse havido falha do resíduo, como se esperava (de fato, uma das hipóteses da pesquisa), as taxas de perda de solo (D_p) apresentadas na Figura 4 teriam diminuído linearmente até determinado ponto com o aumento das taxas de descarga da enxurrada no ponto médio das parcelas experimentais (q_m) e, então, bruscamente teriam aumentado, devido à

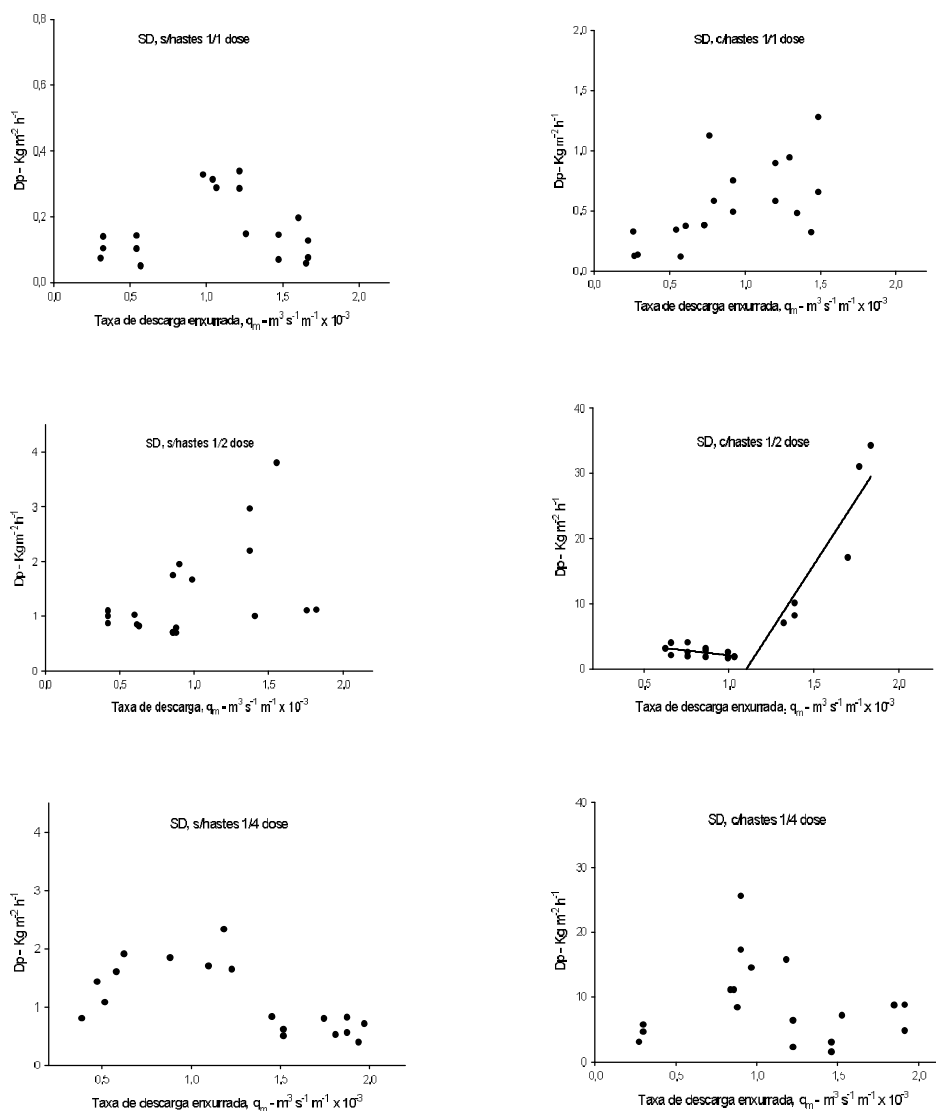


Figura 4 - Inter-relação taxa de perda de solo (D_p) versus taxa de descarga da enxurrada no ponto médio da parcela experimental (q_m), durante a adição dos fluxos extras de água, nos tratamentos estudados.

perda de eficácia relativa de controle da erosão do resíduo a partir do ponto de falha, conforme ilustrado na Figura 4, SD, com hastes 1/2 dose.

A irregularidade de pontos ou valores das taxas de perda de solo nas inter-relações discutidas acima, não era esperada, e também não se encontrou explicação lógica para sua ocorrência, como também não se encontrou uma explicação lógica para ter sido detectada falha (clara, ressalta-se) do resíduo em apenas um tratamento da pesquisa (nas duas inter-relações teóricas de erosão em pauta). Barbosa et al. (2012) em condições similares a desta pesquisa,

comprovaram a falha dos resíduos culturais de milho pelo critério das relações teóricas. Os autores encontraram valores na ordem de 109 a 155 m para o resíduo cultural de milho em função da dose e da direção da operação de semeadura. Isso denota que os valores de comprimento crítico de declive, extraídos com base no critério da observação visual apresentados (Quadro 1) são consistentes, embora não tenha sido possível sua comprovação pelo critério das relações teóricas.

CONCLUSÕES

Com base no critério da observação visual em campo, efetivamente o resíduo cultural de milho foi removido pela enxurrada em todos os tratamentos da pesquisa, levando-se a concluir, num primeiro momento, ter havido falha real do mesmo ou verdadeiramente existido comprimento crítico de declive em todos eles.

O concluído acima, entretanto, exceto um caso isolado, não pôde ser confirmado pela análise dos resultados pelo critério das relações teóricas de erosão.

Diante da divergência verificada acima, e especialmente considerando a seriedade dos problemas possíveis de serem causados pela erosão hídrica do solo e da enxurrada a ela associada, como referência e por medida de segurança deu-se crédito real ao critério da observação visual a campo e estabeleceram-se comprimentos críticos de declive de 64 m a 118 m na semeadura direta sem hastes sulcadoras e de 171 m a 456 m na com hastes sulcadoras, conforme as doses de resíduo usadas em cada uma delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.
- BAGATINI, T. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.999-1011, 2011.
- BARBOSA, F.T. et al. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1279-1290, 2012.
- BERTOL, I. et al. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p. 543-553, 2006.
- BERTOL, I. et al. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparo conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.139-148, 1997.
- COGO, N.P. et al. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.48, p.368-373, 1984.
- COGO, N.P. et al. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope length limits for conservation tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.475-483, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Embrapa/Produção de Informação; Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FOSTER, G.R. et al. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v.25, p.935-939, 1982a.
- FOSTER, G.R. et al. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v.25, p.940-947, 1982b.
- LEITE, D. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1033-1044, 2004.
- MORAIS, L.F.B.; COGO, N.P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um Argissolo Vermelho da depressão central (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.1041-1051, 2001.
- PORTELA, J.C. et al. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1353-1364, 2010.
- RENARD, K.G. et al. **Predicting Soil Erosion**

- by Water.** A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. Washington: USDA, Department of Agriculture, 1997. 384p. Agriculture Handbook, 703.
- SWANSON, N.P. A rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 26, p. 1738-1743. 1965.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, Department of Agriculture, 1978. 58p. Agricultural Handbook, 537.
- ZOLDAN JUNIOR, W.A et al. Rugosidade superficial do solo formada por escarificação e influenciada pela erosividade da chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.353-362, 2008.