



Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico

**Ildegardis Bertol^{1,2}, Fabricio T. Barbosa¹, Evandro L. Fabian¹, Rafael Pegoraro¹,
Eduardo Zavaschi¹, Antonio P. González³ & Eva V. Vázquez³**

RESUMO

O preparo mecânico do solo influencia o seu manejo e danifica a estrutura, diminui a porosidade e a infiltração de água e aumenta o escoamento superficial. Utilizando-se simulador de chuvas, estudaram-se os tratamentos, preparo convencional (PC); semeadura direta em resíduo queimado (SQ); semeadura direta em resíduo dessecado (SD); e semeadura direta tradicional em resíduo dessecado (ST), cultivados, além de um preparo convencional sem cultivo do solo (SC – testemunha) e de um campo nativo (CN), em um Nitossolo Háplico no Planalto Sul Catarinense, entre março de 2001 e fevereiro de 2004, com o objetivo de quantificar o escoamento superficial. Ao milho e feijão se aplicaram três testes de chuva em cada um e à soja cinco testes. Quantificaram-se os tempos de início (TI) e pico (TP) de enxurrada, a taxa constante (TE) e o volume de enxurrada (VE) e o coeficiente C da Equação Racional. Os TI, TP e TE, coeficiente C e VE, foram influenciados pelo preparo e cultivo do solo. O TI e o TP foram menores nos tratamentos PC e SC, enquanto a TE, o coeficiente C e o VE, também foram menores, mas nos tratamentos SD e ST. A TE variou de 18 mm h⁻¹ na ST a 44 mm h⁻¹ no SC, enquanto o coeficiente C variou de 0,29 na ST a 0,71 no SC. A variação do VE foi de 106 m³ ha⁻¹ na ST a 434 m³ ha⁻¹ no SC, na média dos cultivos.

Palavras-chave: taxa de equilíbrio de enxurrada, volume de enxurrada, coeficiente C da Equação Racional

Surface runoff in different soil management systems on Typic Hapudox soil

ABSTRACT

Soil tillage influences soil management and damages structure, reduces the porosity and water infiltration and increases surface runoff. A rotating-boom rainfall simulator was used to investigate the treatments: conventional tillage (CT), no-tillage in burn residue (NB), no-tillage in desiccated residue (ND), and traditional no-tillage in desiccated residue (NT), both cropped, as well as conventional tillage without crop (bare soil – BS), and native pasture treatment (NP), in a Typic Hapludox soil, in the Southern Plateau of Santa Catarina State, Brazil, from March, 2001 to February, 2004, with the objective of quantifying surface runoff. Three simulated rainfall tests were applied in maize and bean crops and five in soybean crop. The surface runoff initial time (IT) and surface runoff peak time (PT), the surface runoff constant rate (RR) and surface runoff volume (RV), and C coefficient of the Rational Equation were quantified. The IT, PT, RR, RV and C coefficient changed with soil tillage treatments and with soil cultivation. The IT and PT were smaller in the CT and BS treatments, while the RR, RV and RC were smaller in ND and NT treatments. The RR changed from 18 mm h⁻¹ in NT to 44 mm h⁻¹ in BS treatments, while the RC changed from 0.29 in NT to 0.71 in BS treatments. The VE varied from 106 m³ ha⁻¹ in ND to 434 m³ ha⁻¹ in BS treatments.

Key words: runoff steady rate, runoff volume, C coefficient of Rational Equation

¹ Departamento de Solos/UDESC, Avenida Luiz de Camões 2090, CEP 88520-000, Lages, SC. Fone: (49) 3221-9235.

² E-mail: a2ib@cav.udesc.br. Bolsista do CNPq

³ Universidade da Coruña, UDC, Espanha. E-mail: tucho@udc.es

INTRODUÇÃO

A taxa e a quantidade de água perdida pelo escoamento superficial são parâmetros fundamentais no planejamento de uso e manejo do solo em bases conservacionistas, uma vez que tais parâmetros são imprescindíveis no planejamento e dimensionamento de sistemas de terraços agrícolas nas lavouras. A perda de água por enxurrada é influenciada pelo tipo de solo e pelo sistema de manejo que influencia, por sua vez, a cobertura, a rugosidade e a porosidade do solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 2006), sendo influenciada, ainda, pela declividade do terreno; esses fatores afetam os tempos de início e de pico da enxurrada, a taxa máxima e o volume total de enxurrada (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997a) e o coeficiente de escoamento superficial, ou seja, o coeficiente C da Equação Racional (Ramser, 1927; Kirpich, 1940; Horn & Schwab, 1963; Schwab et al., 1993; Bertol et al., 2006).

A cobertura do solo, relacionada ao seu manejo, é o fator mais importante que influencia as taxas de infiltração e de escoamento da água da chuva (Cogo et al., 1984), devido à possibilidade de selamento dos poros na superfície em solos descobertos (Duley, 1939). O preparo de solo convencional elimina a cobertura e o deixa, por isso mesmo, sujeito à ação da energia de impacto das gotas de chuva (Hudson, 1995) e, ao individualizar as partículas pela quebra dos agregados do solo, este tipo de preparo pode propiciar o selamento superficial (Duley, 1939; Tackett & Pearson, 1965). Isto ocasiona redução da taxa de infiltração de água e aumento do escoamento superficial em relação à semeadura direta (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997a; Engel et al., 2007).

A semeadura direta, pelo fato de conservar a cobertura do solo por resíduos culturais, mantém a infiltração de água no solo em níveis mais elevados que nos preparos convencionais (Cogo et al., 1984; Engel et al., 2007), apesar da semeadura direta também danificar a estrutura do solo devido à compactação superficial que diminui especialmente o volume de macroporos (Bertol et al., 2004). Em superfícies de solo parcialmente cobertas e rugosas, como, por exemplo, no preparo mínimo efetuado com escarificador, seguido ou não de grade, a redução da perda de água por escoamento superficial é maior que em superfícies de solo rugosas e descobertas como, por exemplo, no preparo efetuado com arado, seguido ou não de grade e, principalmente, mais do que em superfícies de solo lisas e descobertas como, por exemplo, no solo preparado convencionalmente e mantido sem cultivo.

No preparo mínimo a perda de água por escoamento superficial também pode ser menor que na semeadura direta, especialmente em razão da maior rugosidade e volume de poros e também devido à manutenção da maior parte da superfície do solo coberta (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997a); assim, o sistema de manejo do solo, pelo fato de influenciar a perda de água pela enxurrada, influencia o coeficiente C da Equação Racional (Horn & Schwab, 1963; Schwab et al., 1993; Bertol et al., 2006).

A queima de resíduos vegetais expõe a superfície do solo ao efeito de impacto das gotas de chuva e diminui o teor de matéria orgânica do solo e, com isso, facilita a degradação da estrutura na superfície; assim, mesmo que o solo não te-

nha sido mobilizado mecanicamente, no caso de se efetuar a queima dos resíduos culturais a estrutura na sua superfície poderá sofrer colapso o que, por sua vez, pode reduzir o número de poros de maior tamanho, diminuir a infiltração de água no solo e aumentar o escoamento superficial (Leite et al., 2004; Engel et al., 2007) e, com isso, aumentar o coeficiente de escoamento (Bertol et al., 2006).

O coeficiente de escoamento ou coeficiente C da Equação Racional reflete a relação da taxa de enxurrada e da taxa de chuva, no momento do pico da enxurrada (Ramser, 1927; Schwab et al., 1993); então, o escoamento superficial e o coeficiente C diminuem em superfícies de solo cobertas e/ou rugosas que retêm, armazenam e infiltram maior quantidade de água da chuva no solo que superfícies descobertas e/ou lisas e aumentam esses parâmetros hidráulicos em superfícies que tenham sofrido a queima de seus resíduos culturais em relação àquelas em que os resíduos não tenham sido queimados (Bertol et al., 2006).

Quantificar alguns parâmetros hidráulicos relacionados à taxa constante de enxurrada e também o volume de enxurrada, sob chuva simulada, foi o objetivo deste trabalho, além de calcular o coeficiente de escoamento (fator C da Equação Racional) em um Nitossolo Háplico aluminoso sob diferentes sistemas de manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida entre março de 2001 e fevereiro de 2004, em campo, em uma área experimental localizada no Sul do Planalto Catarinense, situada entre 28° 55' 44" latitude Sul e 51° 08' 32" longitude, a oeste de Greenwich, na qual a altitude média é 846 m e o clima é do tipo mesotérmico úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen, em um solo Nitossolo Háplico aluminoso. No horizonte A o solo apresenta 680 g kg⁻¹ de argila, 210 g kg⁻¹ de silte e 110 g kg⁻¹ de areia; no horizonte B ele apresenta 592 g kg⁻¹ de argila, 293 g kg⁻¹ de silte e 115 g kg⁻¹ de areia. Em condições naturais, o referido solo apresenta um teor de carbono orgânico de 10,6 g kg⁻¹ no horizonte A e de 2,9 g kg⁻¹ no horizonte B. Mais detalhes deste solo estão descritos em Mello et al. (2003).

Entre setembro de 1999 e fevereiro de 2001, desenvolveu-se um trabalho de pesquisa para quantificar a erosão hídrica com três testes de chuva simulada sobre o cultivo da soja (*Glycine max*) (outubro de 1999 a março de 1999), a qual havia sido cultivada após o cultivo de aveia (março a setembro de 1999). Os detalhes dos tratamentos e do manejo do solo referentes a este período se encontram em Mello et al. (2003).

Foram estudados, durante os cultivos de milho e feijão, seis tratamentos com duas repetições, distribuídos ao acaso, totalizando 12 parcelas experimentais e, no cultivo da soja, cinco tratamentos também com duas repetições, totalizando dez parcelas. Cada parcela constituía uma unidade experimental, com 3,5 x 11 m (38 m²).

Em abril de 2001, semeou-se ervilhaca comum (*Vicia sativa*) em todos os tratamentos, com exceção do SC, cujas sementes foram distribuídas a lanço, sem incorporação ao solo; em outubro do mesmo ano e durante a floração plena, a

ervilhaca foi dessecada quimicamente, tendo produzido 4 Mg ha^{-1} de massa seca; tais resíduos foram incorporados ao solo no PC, mantidos na superfície na SD e ST e queimados na SQ; sobre esta condição, em novembro de 2001, se implantaram os tratamentos de manejo do solo, como segue: 1) uma aração mais duas gradagens, sem cultivo do solo (SC), em que a aração se fez com arado de discos na profundidade de 15-20 cm e as gradagens com grade de discos na profundidade de 12-15 cm; 2) uma aração mais duas gradagens (PC), em que o preparo foi feito como em (1); 3) semeadura direta sobre resíduos queimados (SQ), em que o solo nunca foi preparado; 4) semeadura direta sobre resíduos dessecados (SD), em que o solo nunca foi preparado; 5) semeadura direta tradicional sobre resíduos dessecados (ST), em que o solo foi preparado na implantação do experimento (março de 2000); e 6) campo natural (CN). O preparo do solo em SC e PC se fez no sentido do declive. Imediatamente após a instalação desses tratamentos, semeou-se milho (*Zea mays*) com uma semeadora/adubadora tracionada a trator, em linhas paralelas ao declive, espaçadas 75 cm, sobre os tratamentos PC, SQ, SD e ST; em junho de 2002 o milho foi colhido, tendo produzido 10 Mg ha^{-1} de massa seca na parte aérea, a qual foi retirada da área no PC e mantida nos demais tratamentos.

Em junho de 2002 semeou-se aveia preta (*Avena strigosa*), a lanço, cuja semente foi distribuída no solo antes da colheita do milho, nas SQ, SD e ST e os resíduos do milho foram deitados sobre a semente, a qual foi incorporada ao solo com gradagem no PC; em novembro do mesmo ano e durante a floração plena, a aveia foi dessecada quimicamente, tendo produzido 5 Mg ha^{-1} de massa seca na parte aérea; esses resíduos foram incorporados ao solo no PC, mantidos na superfície nas SD e ST e queimados na SQ; sobre esta condição, se replantaram em novembro de 2002, os tratamentos de manejo do solo do mesmo modo como feito antes do cultivo do milho; sobre esses tratamentos se semeou feijão preto (*Phaseolus vulgaris*) com auxílio de “matraca” “saraquá”, em linhas espaçadas 50 cm, no sentido do declive. O feijão foi colhido em fevereiro de 2003 e o resíduo cultural não retornou ao solo das parcelas.

Em março de 2003 foi semeado nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) na área experimental (com exceção do tratamento SC). Nos tratamentos SQ, SD e ST, a distribuição das sementes de nabo foi manual, a lanço, na superfície do solo, imediatamente antes da colheita do feijão. No PC as sementes de nabo foram distribuídas a lanço na superfície após o preparo e incorporadas ao solo, arrastando-se manualmente galhos de uma árvore sobre as sementes; em outubro de 2003, em floração plena, o nabo foi dessecado quimicamente, tendo produzido cerca de 4 Mg ha^{-1} de massa seca na parte aérea. O resíduo foi mantido na superfície do solo nos tratamentos SD e ST, incorporado ao solo no PC e queimado no tratamento SQ; sobre esta condição se implantaram os tratamentos de manejo do solo, tal como feito para o milho e feijão, com exceção do CN, o qual não foi utilizado nesta fase do experimento. Ainda em outubro de 2003, se semeou a soja nos tratamentos PC, SQ, SD e ST, utilizando-se uma semeadora adubadora tracionada a trator, com sete linhas espaçadas de 50 cm por parcela e 18 sementes por metro li-

near, no sentido do declive. Assim, no experimento como um todo, estudaram-se os tratamentos preparo convencional (PC); semeadura direta em resíduo queimado (SQ); semeadura direta em resíduo dessecado (SD); e semeadura direta tradicional em resíduo dessecado (ST), cultivados, além de um preparo convencional sem cultivo do solo (SC – testemunha) e de um campo nativo (CN).

Aplicaram-se, durante o cultivo de milho, três testes de chuva simulada, com intensidade média dos testes variando entre 62 e 76 mm h^{-1} entre os tratamentos; no cultivo de feijão se aplicaram três testes com intensidade média entre os testes variando de 62 a 70 mm h^{-1} entre os tratamentos e, no cultivo de soja, cinco testes de chuva com intensidade média entre os testes variando entre 64 e 66 mm h^{-1} entre os tratamentos; em cada cultivo, o primeiro teste foi aplicado imediatamente após a semeadura da cultura e os demais em intervalos regulares de 45 dias no caso do milho, 30 dias no caso do feijão e 30 dias no caso da soja. No milho e feijão não se aplicaram chuvas de umedecimento antes das chuvas-teste e por isso nessas culturas as chuvas simuladas eram de duração variável, até que se atingisse taxa constante de enxurrada. Na soja foi aplicada, 24 h antes das chuvas-teste, uma chuva de umedecimento em cada tratamento, com intensidade de 64 mm h^{-1} e duração variável, suficiente para a enxurrada se iniciar. Para a aplicação das chuvas simuladas utilizou-se um simulador de chuvas de braços rotativos descrito em Swanson (1975). As chuvas simuladas apresentavam energia cinética de $0,2083 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Antes da aplicação de cada chuva-teste simulada, determinou-se o teor de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, conforme procedimento de coleta e determinação, descrito em Forsythe (1975). Durante a aplicação de cada chuva-teste simulada, anotaram-se os tempos de início e de pico da enxurrada e os de duração das chuvas simuladas de umedecimento e de teste; monitoraram-se os volumes de chuva aplicados, por meio de 22 pluviômetros colocados na área sob o simulador, em cada chuva, para posterior cálculo da intensidade e volume das chuvas. Durante o tempo de escoamento superficial fizeram-se amostragens da enxurrada, de três em três minutos, conforme metodologia descrita em Cogo et al. (1984) e, posteriormente, com esses dados se elaboraram hidrogramas e se calcularam: taxa de enxurrada, volume de enxurrada e coeficiente de escoamento superficial. O coeficiente de escoamento superficial foi obtido por meio da relação entre a taxa de enxurrada e a taxa de chuva, no tempo do pico da enxurrada, conforme sugerido por Ramser (1927) e Schwab et al. (1993).

O efeito dos tratamentos sobre os valores dos parâmetros estudados foi testado por meio de análise da variância. Quando os valores dos parâmetros avaliados foram estatisticamente diferentes, suas médias foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intensidade das chuvas simuladas aplicadas variou entre 62 e 76 mm h^{-1} , com predomínio na faixa entre 65 e

70 mm h⁻¹ (Tabela 1), exercendo, provavelmente, alguma influência na taxa constante de enxurrada, no coeficiente de escoamento, nos tempos de início e de pico da enxurrada e no volume de enxurrada, conforme constatado também por Bertol et al. (1997a), Leite et al. (2004) e Bertol et al. (2006).

A duração das chuvas de umedecimento (Tabela 1), aplicadas na soja 24 horas antes da aplicação das chuvas-teste, variou amplamente, desde 24 min no SC até 70 min na ST. Esta variação é explicada principalmente pelo teor de água existente no solo antes da aplicação dessas chuvas (dados não apresentados), o qual variava de 0,38 kg kg⁻¹ no SC a valores próximos de 0,20 kg kg⁻¹ nos tratamentos com cultivo do solo. Esta variação no teor de água antecedente do solo era conseqüência do fato do tratamento SC não apresentar cultura, cujo solo perdia menor quantidade de água (somente por evaporação do solo) em relação aos demais tratamentos, os quais apresentavam culturas e, por isso, eles perdiam maior quantidade de água (por evaporação do solo mais transpiração das plantas).

A duração das chuvas simuladas aplicadas durante os testes variou entre 72 e 99 min (média de 85 min) entre tratamentos no cultivo de milho (Tabela 1). Esta variação, juntamente com a variação de intensidade das chuvas, influenciou principalmente o volume total de enxurrada; no cultivo de feijão a duração foi de 80 min para todos os tratamentos e na soja de 60 min, não tendo, portanto, influência alguma no volume de enxurrada, comparando-se os tratamentos entre si, nesses dois cultivos. Resultados semelhantes a esses foram obtidos por Mello et al. (2003) e Leite et al. (2004) trabalhando sobre o mesmo experimento.

A ST foi o tratamento mais eficaz no retardamento do tempo para o início e para o pico da enxurrada nos cultivos de milho e feijão, enquanto no cultivo de soja isto ocorreu apenas para o tempo de início da enxurrada (Tabela 2). Em relação ao PC, a eficácia da ST no retardamento do início da enxurrada foi de 60% e no retardamento do pico da enxurrada, de 10% no cultivo de milho. No cultivo de feijão a referida eficácia foi, respectivamente, de 45 e 22% e, no cultivo de soja, de 14 e 22%, respectivamente. Assim, na média dos três cultivos, a ST foi a mais eficaz no controle dessas variáveis em relação aos demais tratamentos, tendo sido 52% mais eficaz no retardamento do início da enxurrada e 17% mais no retardamento do pico da enxurrada, em relação ao PC, concordando com Cogo et al. (1984), Bertol et al. (1997a), Leite et al. (2004) e Engel et al. (2007). A maior eficácia da ST no retardamento dos tempos de início e pico da enxurrada, em relação aos demais tratamentos, se explica pela presença de cobertura do solo neste tratamento em relação ao SC e PC. Em relação à SD e SQ, esta eficácia também é devida ao fato desses tratamentos não terem sido mobilizados mecanicamente no momento da instalação do experimento; assim, o fato do solo ter sido mobilizado na ST até 0,20 m de profundidade, no momento da instalação do experimento, propiciou condições mais favoráveis para o crescimento radicular das plantas e, com isso, provavelmente favoreceu a formação de galerias mais profundas e melhor definidas, facilitando a infiltração de água no solo; além disso, a menor declividade das parcelas experimentais na ST, em relação aos tratamentos SQ e SD (Tabela 1), con-

Tabela 1. Declividade (D) das parcelas experimentais, água no solo antecedente às chuvas teste (Ug), intensidade das chuvas simuladas aplicadas (In), duração das chuvas de umedecimento (Du) e duração das chuvas teste (Dt), em Nitossolo Háplico cultivado com milho, feijão e soja (média de três testes de chuva simulada para o milho e feijão e cinco testes para a soja e de duas repetições)

Tratamento*	D m m ⁻¹	Ug (0-0,2 m) kg kg ⁻¹	In mm h ⁻¹	Du		Dt min
				min		
Cultivo de milho						
SC	0,15	0,30	66	-	-	72
PC	0,12	0,25	67	-	-	90
SQ	0,21	0,27	67	-	-	77
SD	0,22	0,24	62	-	-	93
ST	0,14	0,27	62	-	-	99
CN	0,15	0,26	76	-	-	77
Cultivo de feijão						
SC	0,15	0,27	62	-	-	80
PC	0,12	0,26	68	-	-	80
SQ	0,21	0,27	65	-	-	80
SD	0,22	0,25	67	-	-	80
ST	0,14	0,26	69	-	-	80
CN	0,15	0,27	70	-	-	80
Cultivo de soja						
SC	0,15	0,26	64	24	-	60
PC	0,12	0,26	65	49	-	60
SQ	0,21	0,28	66	45	-	60
SD	0,22	0,25	65	63	-	60
ST	0,14	0,28	66	70	-	60
Média dos cultivos						
SC	0,15	0,28	64	-	-	71
PC	0,12	0,26	67	-	-	77
SQ	0,21	0,27	66	-	-	72
SD	0,22	0,25	65	-	-	77
ST	0,14	0,27	66	-	-	80
CN	0,15	0,28	73	-	-	79

* SC – solo sem cultivo; PC – preparo convencional; SQ – semeadura direta em resíduo queimado; SD – semeadura direta em resíduo dessecado; ST – semeadura direta tradicional; CN: campo nativo

tribuiu para o retardamento do fluxo superficial naquele tratamento. Em praticamente todas as situações, tanto de tratamentos quanto de cultivos do solo, o SC foi o menos eficaz, antecipando o início e o pico da enxurrada, o que se explica principalmente pelo tipo e intensidade de preparo do solo (arações, gradagens e escarificações manuais) e pela ausência de cultivo durante vários anos seguidos, o que fez com que a superfície estivesse permanentemente sem cobertura e o solo desagregado; este fato ocasionou a formação de selamento superficial e de compactação na subsuperfície, dificultando a infiltração de água no solo, conforme demonstrado por Duley (1939), McIntyre (1958), Tackett & Pearson (1965) e Reichert & Cabeda (1992).

Os valores de taxa constante de enxurrada foram altos, quando comparados com os de chuva, com expressivas variações entre tratamentos e cultivos (Tabela 2 e Figura 1A, B e C), mostrando que todos os sistemas de manejo, por mais conservacionistas que sejam, estão sujeitos a perder água por enxurrada quando submetidos a chuvas críticas, conforme já constatado por Cogo et al. (1984), Bertol et al. (1997b) e Morais & Cogo (2001). A taxa constante de enxurrada variou

entre tratamentos, de 18 a 28 mm h⁻¹ no cultivo de milho, de 23 a 44 mm h⁻¹ no feijão e de 22 a 40 mm h⁻¹ no cultivo de soja; nos três cultivos a ST foi mais eficaz, reduzindo a taxa constante de enxurrada em 36% no cultivo de milho, em 48% no feijão e em 45% no cultivo de soja, em relação ao SC. Referente ao PC, a eficácia da ST foi de 31% no cultivo de milho, 41% no feijão e 33% no cultivo de soja; então, na média dos três cultivos a ST reduziu a taxa constante de enxurrada em 43% em relação ao SC e em 36% em relação ao PC. A maior eficácia da ST na redução da taxa constante de enxurrada, em relação aos demais tratamentos, se explica pela cobertura do solo por resíduos culturais, quando comparada com o SC, PC e SQ. Quando comparada com a SD, a eficácia da ST ocorreu pelo fato do solo ter sido preparado mecanicamente na implantação do experimento neste tratamento, enquanto na SD isto não ocorreu, mas, provavelmente, melhorou os atributos internos do solo na ST, facilitando a infiltração da água em relação à SD, como já discutido; nos tratamentos SC, PC e SQ, a ausência de cobertura do solo resultou em problemas de selamento superficial e redução da infiltração de água no solo, conforme demonstrado por Duley (1939) e Tackett & Pearson (1965) em condições de solo descoberto.

Tabela 2. Tempos de início (TI) e de pico (TP) da enxurrada, taxa constante de enxurrada (TE) e coeficiente de escoamento (CE), em Nitossolo Háplico cultivado com milho, feijão e soja (média de três testes de chuva simulada no milho e feijão e cinco testes na soja e de duas repetições)

Tratamento*	TI	TP	TE	CE
	min		mm h ⁻¹	Adimensional
Cultivo de milho				
SC	29 D	57 C	28 A	0,42 A
PC	40 B	77 B	26 B	0,39 B
SQ	22 D	62 C	24 C	0,36 C
SD	34 C	76 B	20 D	0,32 D
ST	64 A	85 A	18 E	0,29 E
CN	25 D	57 C	22 D	0,29 E
Cultivo de feijão				
SC	26 C	52 C	44 A	0,71 A
PC	31 B	58 B	39 B	0,57 B
SQ	25 C	59 B	34 C	0,52 C
SD	27 C	66 A	27 D	0,40 D
ST	45 A	71 A	23 E	0,33 E
CN	20 D	55 BC	28 D	0,40 D
Cultivo de soja				
SC	15 D	55 A	40 A	0,63 A
PC	22 C	46 C	33 B	0,51 B
SQ	22 C	54 B	29 C	0,44 C
SD	25 B	56 A	27 D	0,42 D
ST	31 A	53 B	22 E	0,33 E
Média dos cultivos				
SC	23 C	55 C	37 A	0,58 A
PC	31 B	60 C	33 B	0,49 B
SQ	23 C	58 C	29 C	0,44 C
SD	29 B	66 B	25 D	0,38 D
ST	47 A	70 A	21 E	0,32 E
CN	23 C	56 C	25 D	0,34 E

* SC – solo sem cultivo; PC – preparo convencional; SQ – semeadura direta em resíduo queimado; SD – semeadura direta em resíduo dessecado; ST – semeadura direta tradicional; CN – campo nativo. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem (Duncan a 5%)

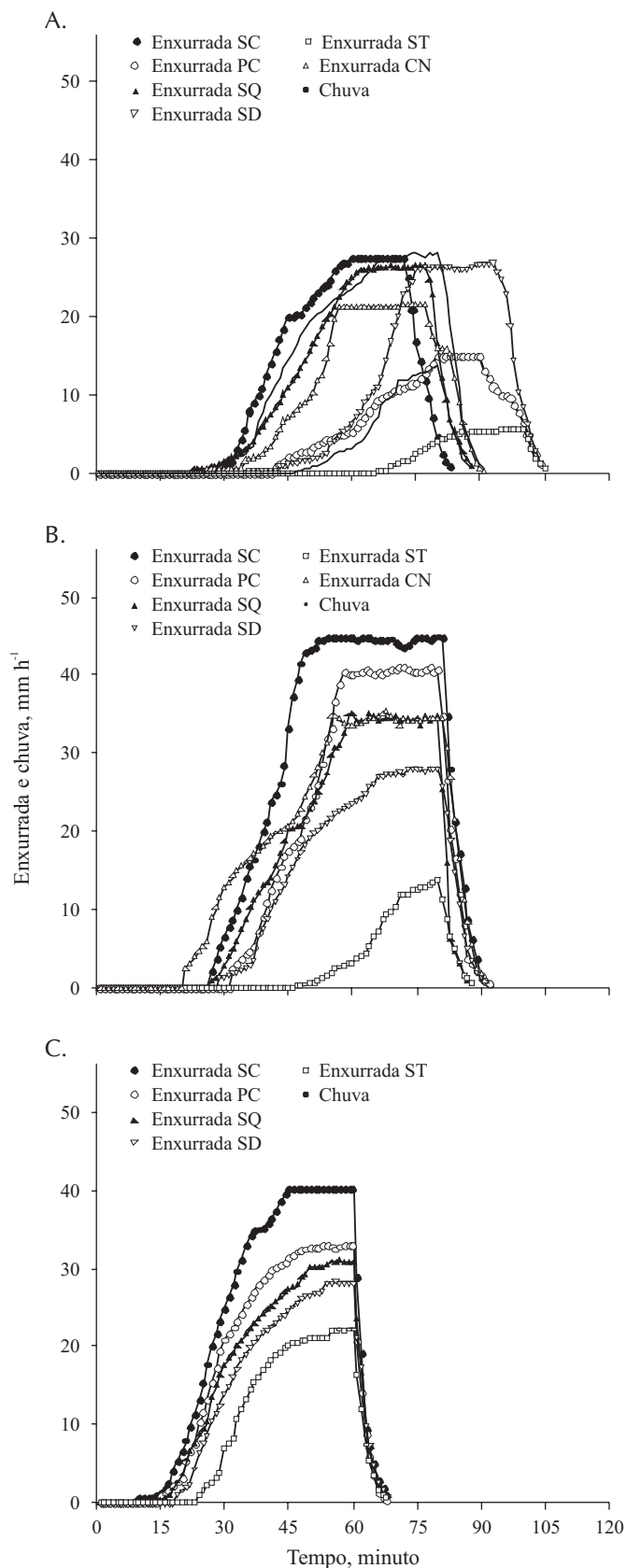


Figura 1. Hidrogramas de enxurrada obtidos nos cultivos de milho (A), feijão (B) e soja (C), nos tratamentos solo sem cultivo (SC), preparo convencional (PC), semeadura direta queimada (SQ), semeadura direta dessecada (SD), semeadura direta tradicional (ST) campo natural (CN), submetidos à chuva simulada de 65 mm h⁻¹ (média de duas repetições e três testes de chuva simulada)

O coeficiente de escoamento (coeficiente C da Fórmula Racional) apresentou, em geral, o mesmo comportamento da taxa constante de enxurrada (Tabela 2). A variação no coeficiente de escoamento entre tratamentos para um mesmo cultivo se deveu principalmente à variação do sistema de manejo do solo e, em parte, à variação de declividade do terreno e da intensidade da chuva nos diferentes tratamentos (Tabela 1); entre os cultivos, obviamente essa variação foi devida ao tipo de cultura, ao efeito residual do uso do solo e também à intensidade das chuvas simuladas aplicadas. A variação do coeficiente C durante o cultivo do milho (0,13) foi relativamente pequena entre os tipos de preparo do solo, ou seja, de 0,29 a 0,42 (Tabela 2), indicando uma variabilidade entre tratamentos de 13% na taxa constante de enxurrada. Neste cultivo, a ST e o CN foram os mais eficazes no controle do escoamento apresentando, no entanto, taxas de enxurrada relativamente altas se comparadas às do SC, no qual a taxa de escoamento equivaleu a 42% da taxa de chuva, no pico da enxurrada; no cultivo do feijão, a amplitude dos valores do coeficiente C foi de 0,38, cujos valores variaram de 0,33 a 0,71 (Tabela 2), significando uma variabilidade entre tratamentos de 38% na taxa constante de enxurrada; também neste cultivo a ST foi o tratamento mais eficaz no controle do escoamento, apresentando taxa de enxurrada relativamente alta se comparada à do SC, no qual a taxa de escoamento equivaleu a 71% da taxa de chuva, no pico da enxurrada. O coeficiente C durante o cultivo da soja apresentou amplitude de 0,30, variando de 0,33 a 0,63 (Tabela 2), significando uma variabilidade entre tratamentos de 30% na taxa constante de enxurrada. A ST foi, também neste cultivo, o tratamento mais eficaz no controle do escoamento, cuja taxa de enxurrada foi relativamente alta comparada à do SC, no qual a taxa de escoamento foi equivalente a 63% da taxa de chuva, no pico da enxurrada. Na média dos três cultivos, observa-se uma variabilidade relativamente pequena nos valores do coeficiente C, entre os tratamentos, indicando que o manejo do solo influencia a taxa constante de enxurrada, conforme constatado ainda por outros autores (Schwab et al., 1993; Schick et al., 2000; Leite et al., 2004; Bertol et al., 2006), mas em magnitude muito inferior àquela exercida sobre as perdas de solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997a). A ST e o CN reduziram a taxa constante de enxurrada em 25% em relação ao SC demonstrando que, após o solo atingir taxa constante de infiltração de água, as diferenças na taxa de escoamento são pouco influenciadas pelo manejo do solo, em virtude do limite de infiltração de água apresentado pelo solo.

Os hidrogramas de enxurrada (Figura 1) demonstram que houve diferença de comportamento do escoamento superficial ao longo da sua duração, tanto entre tratamentos quanto entre cultivos, no que se refere à forma de crescimento da enxurrada e ao volume total de enxurrada; além disso, se observam as diferenças quanto aos tempos de início e de pico da enxurrada, os quais já foram discutidos. Nos cultivos de milho (Figura 1A) e feijão (Figura 1B) as curvas dos hidrogramas relativas aos tratamentos ST e SD apresentaram crescimento mais lento que as dos demais tratamentos, indicando a eficácia desses sistemas de preparo do solo no controle do

escoamento superficial resultando, também, em menor volume total de enxurrada. O crescimento mais lento da taxa de enxurrada nesses tratamentos resultou, por outro lado, em retardamento do pico da enxurrada, o que é positivo do ponto de vista conservacionista e de redução da erosão hídrica. No cultivo da soja (Figura 1C) o crescimento das curvas da taxa de enxurrada foi semelhante nos diversos tratamentos, embora levemente mais lento no ST. A semelhança de crescimento das referidas curvas entre tratamentos, neste cultivo, em especial no que se refere aos tratamentos com cultivo do solo (PC, SQ, SD e ST), se deve ao fato de ter sido aplicada uma chuva de umedecimento do solo 24 h antes das chuvas-teste; em parte, este fato uniformizou o teor de água no solo, o que não foi praticado nos demais cultivos. Nos hidrogramas da Figura 1, se observa claramente a eficácia dos sistemas de sementeira direta, em especial da ST, no controle também do volume total de enxurrada, em relação aos demais tratamentos, em especial nos cultivos de milho (Figura 1A) e feijão (Figura 1B). Mesmo no cultivo de soja (Figura 1C), no qual as chuvas-teste foram precedidas de chuvas de umedecimento do solo, a eficácia da ST no controle do volume de enxurrada foi aproximadamente de 50%.

A ST apresentou uma eficácia extraordinária no controle da enxurrada, em termos de seu volume (Tabela 3), em especial nos cultivos de milho e feijão, em concordância com o trabalho de Leite et al. (2004) sobre o mesmo experimento, em cujos cultivos as chuvas simuladas foram aplicadas sem que antes se aplicassem chuvas de umedecimento. Nesses dois cultivos o volume de enxurrada perdido por escoamento superficial da ST foi de apenas 5% do volume de chuva no milho e de 7% no feijão, enquanto no PC essa perda foi de 16 e 34%, respectivamente, assim explicado: a ST apresentava cobertura completa do solo por resíduos culturais e embora com baixa rugosidade superficial, mantinha, provavelmente, elevado volume de macroporos e galerias deixadas em especial pelas raízes das culturas, o que contribuiu para aumentar a infiltração e reduzir o escoamento; no PC, por outro lado, o preparo com arado e grades deixou o solo praticamente descoberto de resíduos vegetais e solto, o que possibilitou a formação de selamento e de sulcos superficiais, facilitando o escoamento da enxurrada; destacam-se, ainda, os altos volumes de enxurrada perdidos nos tratamentos SQ e SD, quando comparados com o ST em ambos os cultivos e, no caso do feijão, comparados também com o PC; no caso da SQ, a queima dos resíduos deixou o solo descoberto e, juntamente com a baixa rugosidade superficial, facilitou o escoamento da enxurrada, enquanto no caso da SD, apesar dos resíduos culturais terem sido mantidos na superfície do solo, a mesma apresentava baixa rugosidade; além disso, em ambos os tratamentos a declividade do terreno era elevada em relação aos demais (Tabela 1); no cultivo da soja os volumes de enxurrada, apesar da distinção estatística entre os tratamentos, pouco variaram entre os mesmos, em termos relativos; esta baixa variação se explica principalmente pelo fato de ter sido aplicada chuva de umedecimento 24 h antes das chuvas-teste, o que aumentou e quase uniformizou o teor de água no solo nos diversos tratamentos. Destaca-se o fato da ST ter apresentado volume de enxurrada 6% maior

Tabela 3. Volumes totais das chuvas teste (VC) e de enxurrada (VE), em Nitossolo Háplico cultivado com milho, feijão e soja (média de três testes de chuva simulada no milho e feijão e cinco testes na soja e de duas repetições)

Trat.*	Milho			Feijão			Soja			Média dos cultivos		
	VC mm	VE % da chuva	VE m ³ ha ⁻¹	VC mm	VE % da chuva	VE m ³ ha ⁻¹	VC mm	VE % da chuva	VE m ³ ha ⁻¹	VC mm	VE % da chuva	VE m ³ ha ⁻¹
SC	149	41 ^a	609	93	46A	430	64	41A	264	102	43A	434
PC	152	16CD	242	103	34B	346	65	24C	248	106	25C	279
SQ	143	31 ^a	443	97	31B	300	66	34B	222	102	32B	322
SD	141	29AB	408	101	24C	242	65	30B	192	102	28C	281
ST	141	5D	71	103	7D	72	66	24C	174	103	12D	106
CN	172	19BC	328	106	34B	361	-	-	-	139	27C	345

* SC – solo sem cultivo; PC – preparo convencional; SQ – semeadura direta em resíduo queimado; SD – semeadura direta em resíduo dessecado; ST – semeadura direta tradicional; CN – campo nativo. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem (Duncan a 5%)

que o PC, o que confirma o fato de que o solo apresenta um limite de infiltração de água e, quando submetido a chuvas longas e/ou com elevado volume, o volume de enxurrada em um mesmo solo apresenta pequenas variações em distintos manejos. Na média dos cultivos, confirmou-se a eficácia da ST no controle do volume de enxurrada, tendo sido confirmado, também, o menor volume de enxurrada no PC em relação à SQ. A diferença entre PC e SQ, no caso do volume de enxurrada, explica-se, de modo especial, pela maior declividade do terreno em SQ (Tabela 1) e maior rugosidade superficial em PC (dados não apresentados). O comportamento do volume de enxurrada nos diversos tratamentos e cultivos concorda com o verificado em outros trabalhos conduzidos sob chuva simulada, tais como os de Cogo et al. (1984), Bertol et al. (1997a), Leite et al. (2004) e Engel et al. (2007).

O volume de enxurrada foi expresso também na unidade de m³ ha⁻¹ (Tabela 3), com o objetivo de se oferecer uma idéia da necessidade de práticas conservacionistas de suporte para o controle da enxurrada nos diversos tratamentos estudados, em especial de terraços agrícolas do tipo armazenagem de água. Constatou-se, com base no volume de enxurrada, que em condições de lavoura seria necessária adoção de terraços agrícolas para o eficaz controle da enxurrada, em todos os casos estudados, com expressiva variação de distância entre os terraços, conforme constatado por Bertol et al. (1997b) trabalhando com chuva simulada em um Argissolo; assim, a distância entre os terraços na ST no cultivo do milho poderia ser 3,4 vezes maior que no PC, em função da diferença de volume de enxurrada gerado em cada um desses dois preparos do solo. Neste mesmo cultivo, a distância entre os terraços na SQ e SD deveria ser 1,8 vez maior que no PC; no caso do feijão, na ST os terraços deveriam localizar-se a distâncias 4,8 vezes maior que no PC e 3,8 vezes maior que na SQ e SD. A distância entre os terraços na ST, no cultivo da soja, deveria ser 1,4 vez maior que no PC e 1,2 vez maior que na SQ e SD. Na média dos cultivos, a ST comportaria terraços localizados a uma distância entre si 2,6 vezes maior que o PC e 2,8 vezes maior que a SQ e SD. Os dados de volume de enxurrada recém-discutidos permitem inferir pelo menos duas questões importantes, em que na primeira a ST, ou seja, a semeadura direta implantada tradicionalmente, tal como feita pelos agricultores, com preparo inicial do solo e incorporação completa dos corretivos ao mesmo, efetivamente reduz as perdas de água por escoamento superficial, em re-

lação ao PC, em escala variável conforme o tipo de cultura adotada; na segunda, se observa que o sistema de semeadura direta, mesmo sendo conservacionista de solo, não elimina as perdas de água por escoamento superficial podendo esta se tornar elevada em relação ao PC, em especial quando o solo for submetido a chuvas de grande volume.

CONCLUSÕES

1. Os tempos de início e de pico da enxurrada, a taxa constante de enxurrada, o coeficiente de escoamento e o volume de enxurrada, são influenciados pelo manejo e cultivo do solo.
2. Os tempos de início e de pico da enxurrada são menores nos tratamentos preparo convencional e solo sem cultivo, enquanto a taxa constante de enxurrada, o coeficiente de escoamento e o volume de enxurrada, são menores nos tratamentos de semeadura direta dessecada e semeadura direta tradicional, independentemente do tipo de cultura empregada.
3. A taxa constante de enxurrada varia de 18 mm h⁻¹ na semeadura direta tradicional a 44 mm h⁻¹ no solo sem cultivo, enquanto a variação do coeficiente de escoamento (coeficiente C da Equação Racional) é de 0,29 a 0,71 e a variação do volume enxurrada é de 5 a 46% do volume de chuva nesses tratamentos, independentemente do tipo de cultura empregada.
4. A variação entre sistemas de manejo do solo quanto à taxa constante de enxurrada, coeficiente de escoamento (coeficiente C da Equação Racional) e volume de enxurrada, é menor quando o solo está com maior teor de água antecedente à chuva que quando está com menor teor de água.
5. O volume de enxurrada indica a necessidade de adoção de práticas conservacionistas de suporte para controlá-lo, independentemente do sistema de manejo do solo e de cultura empregada.

LITERATURA CITADA

Bertol, I.; Albuquerque, J. A.; Leite, D.; Amaral, A. J.; Zoldan Junior, W. A. 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*, v.28, p.155-163, 2004.

R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.3, p.243-250, 2008.

- Bertol, I.; Cogo, N. P.; Levien, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.409-418, 1997a.
- Bertol, I.; Cogo, N. P.; Levien, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparos conservacionistas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.139-148, 1997b.
- Bertol, I.; Mello, E. L.; Cogo, N. P.; Vidal Vázquez, E.; Paz González, A. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante de enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.715-722, 2006.
- Cogo, N. P.; Moldenhauer, W. C.; Foster, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Science Society America Journal*, v.48, p.368-373, 1984.
- Duley, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v.4, p.60-64, 1939.
- Engel, F. L.; Bertol, I.; Mafra, A. L.; Cogo, N. P. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. *Scientia Agrícola*, v.64, p.187-193, 2007.
- Forsythe, W. Física de suelos: manual de laboratório. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 209p.
- Horn, D. L.; Schwab, G. O. Evaluation of rational runoff coefficients for small agricultural watersheds. *American Society Agricultural Engineering. Transactions of the ASAE*, v.6, p.195-198, 1963.
- Hudson, N. W. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 324p.
- Kirpich, P. Z. Time of concentration of small agricultural watershed. *Civil Engineering, Colorado State University*, n.10, p.362, 1940.
- Leite, D.; Bertol, I.; Guadagnin, J. C.; Santos, E. J.; Ritter, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada: I. Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1.033-1.044, 2004.
- McIntyre, D. S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, v.85, p.185-189, 1958.
- Mello, E. L.; Bertol, I.; Zapparoli, A. L. V.; Carrafa, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háptico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.901-909, 2003.
- 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 na Depressão Central-RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.1.041-1.051, 2001.
- Ramser, C. E. Runoff from small agricultural areas. *Journal Agricultural Research*, v.34, p.797-923, 1927.
- Reichert, J. M.; Cabeda, M. S. V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.389-396, 1992.
- Schick, J.; Bertol, I.; Batistela, O.; Balbinot Jr., A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.427-436, 2000.
- Schwab, G. O.; Fangmeier, D. D.; Elliot, W. J.; Frevert, R. K. Soil and water conservation engineering. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 507p.
- Swanson, N. P. Suggestions for use the rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the soil loss equation. Paraná: FAO, University of Nebraska, 1975. 6p. Relatório de Consultoria
- Tackett, J. L.; Pearson, R. W. Some characteristics of soil crusts formed by simulated rainfall. *Soil Science*, v.99, p.407-413, 1965.