

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NITROGÊNIO POR EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

Jean Cláudio Guadagnin⁽²⁾, Ildegardis Bertol⁽³⁾,
Paulo Cezar Cassol⁽³⁾ & André Júlio do Amaral⁽⁴⁾

RESUMO

As perdas de nutrientes são influenciadas pelo sistema de manejo do solo. Em geral, as concentrações de nutrientes na enxurrada são maiores nos sistemas conservacionistas de manejo de solo, enquanto as perdas totais de nutrientes são maiores nos sistemas convencionais. Determinaram-se, sob condições de chuva natural, as perdas de NH_4^+ e NO_3^- na água e de N mineral no sedimento da enxurrada, nos seguintes sistemas de manejo do solo: semeadura direta com seis anos de cultivo (SD_6), semeadura direta com nove anos de cultivo (SD_9), uma escarificação + uma gradagem com nove anos de cultivo ($\text{E}+\text{G}_9$), uma aração + duas gradagens com nove anos de cultivo ($\text{A}+2\text{G}_9$) e uma aração + duas gradagens sem cultivo por nove anos (SSC_9), cultivados no sentido paralelo ao declive, com duas repetições. O experimento foi desenvolvido sobre um Cambissolo Húmico aluminico léptico, com declividade média de $0,102 \text{ m m}^{-1}$, entre 11/1999 e 10/2001. Nos tratamentos com cultivo do solo, estabeleceu-se uma rotação em que foram incluídas as culturas de feijão, ervilhaca, milho e aveia e, em sucessão, as culturas de soja, trigo, soja e trigo. As perdas de solo e água foram maiores no preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas de manejo do solo. As concentrações de NH_4^+ e NO_3^- na água da enxurrada foram menores no preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas de manejo do solo, enquanto, no sedimento da enxurrada, as concentrações de N mineral foram menores nos sistemas conservacionistas de manejo do solo do que no preparo convencional. As perdas totais de NH_4^+ e NO_3^- na água e de N no sedimento da enxurrada foram menores nos sistemas conservacionistas de manejo do solo do que no preparo convencional.

Termos de indexação: perdas de nutrientes, sedimento, enxurrada.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, desenvolvida com recursos do CNPq/FINEP/CAPES/UEDESC. Recebido para publicação em março de 2003 e aprovado em dezembro de 2004.

⁽²⁾ Pós-Graduando em Agronomia do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista da CAPES. E-mail: a8jcg@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor do Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UEDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia do CAV/UEDESC. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC. E-mail: amarante1@hotmail.com

SUMMARY: SOIL, WATER AND NITROGEN LOSSES THROUGH EROSION UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS

*Nutrient losses are influenced by the soil tillage system. In general, nutrient concentrations in runoff are higher in soil conservation tillage systems, whereas the total nutrient losses are higher in conventional soil tillage. The NH_4^+ and NO_3^- losses in water and mineral nitrogen in runoff sediment were determined under natural rainfall in the following tillage systems: six years of no-tillage (NT_6), nine years of no-tillage (NT_9), nine years of chisel plow plus disking cultivation (CD_9), nine years of plowing plus double disking (PD_9) and nine years of plowing plus double disking without crop planting (BS_9). The experiment was conducted on an Inceptisol (*Haplumbrept*) with a mean slope of 0.102 m m^{-1} from November 1999 to October 2001. In the treatments with soil cultivation a rotation of crops including bean, vetch, maize, and oat was used and, in crop succession, soybean, wheat, soybean, and wheat was adopted. Soil and water losses were higher in the conventional soil tillage than under soil conservation tillage systems. The NH_4^+ and NO_3^- concentrations in the runoff water from conventional soil tillage were lower than from soil conservation tillage, while the mineral nitrogen concentration in runoff sediment from the soil conservation was lower than from the conventional tillage treatments. Total NH_4^+ and NO_3^- losses through runoff water and nitrogen losses through the sediment were lower in the soil conservation than in the conventional soil tillage system.*

Index terms: nutrients losses, sediments, runoff.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo é influenciada pela chuva, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas. Dentre esses fatores, a cobertura e o manejo apresentam maior influência sobre a erosão hídrica do que os demais (Cogo, 1981).

Áreas descobertas e fisicamente degradadas, típicas de sistemas convencionais de preparo de solo, sofrem alta erosão hídrica em decorrência da energia de impacto das gotas da chuva que desagregam e transportam partículas de solo, principalmente pelo salpicamento (Reichert & Cabeda, 1992), provocam selamento superficial (Duley, 1939), diminuem a infiltração de água e aumentam a enxurrada (Bertol, 1995; Schick et al., 2000a). Além disso, essas áreas apresentam elevada susceptibilidade ao sulcamento do solo pela enxurrada, o que também favorece a erosão hídrica. Áreas cobertas com resíduos vegetais, como nos sistemas conservacionistas de preparo de solo, por outro lado, sofrem baixa erosão hídrica. A cobertura superficial dissipa a energia da chuva e, em parte, da enxurrada, protege a superfície do solo do selamento e, com isso, aumenta a infiltração e diminui a enxurrada e a erosão hídrica (Cogo, 1981; Bertol, 1995). Além disso, a elevada consolidação do solo nesses sistemas aumenta sua resistência ao sulcamento, o que também dificulta a erosão hídrica.

A erosão hídrica do solo ocasiona perda de nutrientes (Schick et al., 2000b; Favaretto, 2002; Bertol et al., 2003; Guadagnin, 2003), além de contaminar os mananciais (Favaretto, 2002) e outras áreas fora do local de origem da erosão (Schick et

al., 2000b) e diminuir a produtividade agrícola pelo empobrecimento do solo. A contaminação dos mananciais, neste caso, é ocasionada pela enxurrada superficial, a qual transporta sedimentos coloidais que contêm nutrientes, em geral, em altas concentrações. Além disso, a água da enxurrada transporta nutrientes solúveis, alguns deles em altas concentrações (Schick et al., 2000b; Favaretto, 2002; Guadagnin, 2003), podendo provocar a eutrofização das águas onde se depositam.

A concentração de determinado nutriente na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelo tipo de solo, pelas adubações e pelo tipo de manejo empregado (Schick et al., 2000b; Guadagnin, 2003). A quantidade total do nutriente transportado pela erosão hídrica, no entanto, depende da sua concentração no material erodido e do volume total desse material perdido pela erosão (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000b; Bertol et al., 2003; Guadagnin, 2003).

Estudos relativos à eficácia de sistemas conservacionistas de manejo do solo no controle de perdas de nutrientes indicam que o total de nutrientes perdidos por erosão hídrica decresce quando tais sistemas são utilizados, em relação aos convencionais (Seganfredo et al., 1997; Schick, 1999; Bertol et al., 2003; Guadagnin, 2003). Esta redução nos sistemas conservacionistas pode ser atribuída aos efeitos combinados do aumento da cobertura do solo com resíduos vegetais e conseqüente redução das perdas de solo e água, apesar de, em geral, aumentar a concentração dos nutrientes na água e no sedimento perdidos pela erosão hídrica em tais sistemas (McDowell & McGregor, 1980; Schick, 1999).

Elkins et al. (1982) registraram baixas concentrações de N na enxurrada sob semeadura direta, enquanto Soileau et al. (1994) não encontraram relação entre a concentração de N na água da enxurrada e o volume de chuva precipitado, sob preparo de solo convencional. Gascho et al. (1998), ao aplicarem uréia em cobertura no milho, verificaram que não houve aumento da concentração de N na enxurrada, indicando ter a cultura absorvido rapidamente parte do nutriente, enquanto outra parte pode ter sido perdida com a água de lixiviação no solo.

Gascho et al. (1998) verificaram que cerca de 2 % do N aplicado na forma de adubo foi perdido na enxurrada imediatamente após ter sido realizada a adubação de base na cultura do milho em preparo convencional, enquanto Berg et al. (1988) constataram aumento nas perdas de N com o aumento do volume de enxurrada, tanto no preparo de solo convencional quanto na semeadura direta. No estudo de Jones et al. (1985), os autores também observaram aumento das perdas de N na água da enxurrada, quando aumentaram as perdas de solo e água, tanto em condição de cultivo mínimo com trigo e sorgo quanto em condições de solo sem cultivo, o mesmo ocorrendo com o nitrato no trabalho de Chichester (1977). Nesse mesmo trabalho, o autor observou perdas de N da ordem de $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em áreas descobertas, enquanto, em áreas cobertas com resíduo vegetal, as perdas foram de $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Eghball & Gilley (1999), por outro lado, avaliando o efeito dos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, observaram menores perdas de N na enxurrada quando o esterco bovino foi incorporado ao solo do que quando foi mantido na superfície.

Embora represente uma pequena fração do N total presente no material perdido pela erosão hídrica, o N solúvel pode ser mais prontamente disponível do que as formas de N ligadas aos sedimentos (McIsaac et al., 1995). Justifica-se, assim, a necessidade de estudar mais detalhadamente a influência dos diferentes fatores que influem na erosão hídrica e nas perdas deste elemento pela erosão, especialmente o efeito da cobertura e manejo em sistemas conservacionistas de manejo do solo.

O presente trabalho objetivou quantificar as perdas de solo, água e N na água e no sedimento transportados pela erosão hídrica, em diferentes sistemas de manejo de solo e culturas, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre novembro de 1999 e outubro de 2001, na região do Planalto Sul Catarinense, situada a $27^{\circ} 49'$ de latitude Sul e $50^{\circ} 20'$ de longitude Oeste, a 937 m de altitude

média. O clima é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.600 mm. O solo no local do experimento é um Cambissolo Húmico aluminico léptico, argiloso, horizonte A moderado, com substrato composto de siltitos e argilitos e declividade média de $0,102 \text{ m m}^{-1}$, descrito em Bertol (1994). Essa área experimental vem sendo utilizada desde novembro de 1988 para estudos de erosão hídrica sob chuva natural.

A unidade experimental constituiu-se de uma parcela com dimensões de $22,1 \times 3,5 \text{ m}$. Ela foi delimitada na extremidade superior e nas laterais por chapas galvanizadas cravadas $0,1 \text{ m}$ no solo e, na extremidade inferior, por um sistema coletor de enxurrada, composto de uma calha para receber o material erodido conectada por um cano de PVC ao primeiro tanque, de sedimentação, situado 6 m abaixo da parcela. O primeiro tanque estava ligado, por meio de um divisor de enxurrada do tipo "Geib", com nove janelas, ao segundo tanque de armazenagem.

Os tratamentos de preparo do solo, distribuídos ao acaso e sem repetição, consistiram em: (a) duas parcelas com uma aração + duas gradagens, sendo uma com rotação e outra com sucessão de culturas durante nove anos (A+2G₉); (b) duas parcelas com uma escarificação + uma gradagem, sendo uma com rotação e outra com sucessão de culturas durante nove anos (E+G₉); (c) duas parcelas com semeadura direta, sendo uma com rotação e outra com sucessão de culturas durante nove anos (SD₉); (d) duas parcelas com semeadura direta, sendo uma parcela com rotação e outra com sucessão de culturas durante seis anos (SD₆); (e) duas parcelas com uma aração + duas gradagens em solo sem cultivo durante nove anos (SSC₉), onde o solo foi mantido livre de vegetação e de crosta superficial, semelhante à parcela-padrão da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). O preparo do solo foi executado morro abaixo, conforme o método proposto por Wischmeier & Smith (1978). A seqüência de culturas em rotação foi constituída de feijão, ervilhaca, milho e aveia e, em sucessão, de soja, trigo, soja e trigo.

Desde 1988, a área experimental foi adubada com 525 kg ha^{-1} de N, 1.302 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 1.075 kg ha^{-1} de K_2O , cujos adubos foram distribuídos nos diversos cultivos realizados desde então. Além disso, o solo foi corrigido com calcário dolomítico em outubro de 1988, com 12 Mg ha^{-1} , e, em outubro de 1992, com mais $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ do mesmo calcário. O SSC₉ não recebeu calcário nem adubos nesse período.

No período de tempo referente a este trabalho, durante o primeiro cultivo (feijão e soja), foram aplicados ao solo, em cada uma das culturas, 31 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 48 kg ha^{-1} de K_2O , enquanto, no segundo cultivo (ervilhaca e trigo), foram aplicados 19 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 30 kg ha^{-1} de K_2O em cada uma das culturas. No terceiro cultivo (milho e soja), foram aplicados, para o caso do milho, 20 kg ha^{-1}

de N, 65 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 95 kg ha⁻¹ de K₂O e, para a soja, 65 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 95 kg ha⁻¹ de K₂O. No quarto cultivo (aveia e trigo), não foram aplicados adubos por ocasião da semeadura das culturas, tendo sido aplicados 45 kg ha⁻¹ de N em cobertura em ambas. Os adubos foram aplicados em cobertura e a lanço na SD₆ e SD₉, a lanço e semincorporados na E+G₉ e a lanço e incorporados ao solo na A+2G₉.

Durante os quatro cultivos, foram coletadas e analisadas amostras de enxurradas produzidas por 51 chuvas erosivas, a saber: 13 chuvas no primeiro cultivo, 17 no segundo, 12 no terceiro e nove no quarto cultivo. A seleção das enxurradas para a coleta das amostras foi feita de acordo com o volume de chuva precipitado, adotando-se, empiricamente, o critério de coletar amostras de enxurradas produzidas por chuvas com volume superior a 20 mm. Essas chuvas, que totalizaram 1.924 mm nos quatro cultivos, representaram, em volume, 73 % do total precipitado nos referidos cultivos (2.639 mm), com a seguinte distribuição em relação ao total precipitado por cultivo: 69 % do total precipitado no primeiro cultivo, 83 % no segundo, 61 % no terceiro e 77 % no quarto cultivo.

As coletas das amostras de enxurrada no campo e o seu processamento no laboratório, para quantificar as perdas de solo e água, foram feitos seguindo o método proposto por Cogo (1978). As perdas de solo observadas no campo foram ajustadas para o declive de 0,09 m m⁻¹ (parcela-padrão da EUPS), conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), utilizando a equação:

$$S = 0,065 + 4,56 \text{ sen } \theta + 65,41 (\text{sen } \theta)^2 \quad (1)$$

em que S = fator grau do declive e θ = ângulo do declive.

No caso em questão, o ajuste dos dados foi feito utilizando a equação indicada por Bertol (1994).

O fator de erosividade (EI₃₀) foi calculado conforme Wischmeier (1959) e Wischmeier & Smith (1978), utilizando o método proposto por Foster et al. (1981).

Após a coleta das amostras de enxurrada nos tanques para a determinação das perdas de solo e água, eram coletadas, nos mesmos tanques, duas amostras da suspensão da enxurrada em cada tanque (tratamento), em vidros de 300 mL cada um. Destas amostras, era retirada, imediatamente após a coleta, uma alíquota da água sobrenadante, na qual, após decantação do sedimento, era efetuada análise do N (NO₃⁻ e NH₄⁺) por destilação, pelo método de MicroKjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1995). O restante da amostra de suspensão era acondicionado em geladeira na temperatura de 4 °C, para posterior processamento e realização da análise química de outros elementos.

Para cada parcela experimental, as amostras do sedimento coletado nas enxurradas das chuvas erosivas durante um cultivo eram misturadas umas às outras (para compor uma amostra única por parcela e por cultivo) e armazenadas em potes plásticos até o final dos cultivos, após terem sido secas a 60 °C. Nesse momento (final do cultivo), o solo das amostras do sedimento que constituía a amostra única era analisado para determinar o teor de N mineral pelo método do MicroKjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1995).

Foram determinadas as concentrações de NO₃⁻ e NH₄⁺ na água da enxurrada e a concentração de N mineral no sedimento seco, possibilitando o cálculo das perdas totais de N na água e no sedimento da enxurrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perdas de solo e água

As perdas de solo foram maiores no tratamento SSC₉, conforme esperado (Quadro 1), pelo fato de o preparo ter possibilitado desagregação e transporte do solo por salpicamento das partículas provocado pelo impacto das gotas de chuva, bem como pela desagregação e transporte do solo pela enxurrada, principalmente em sulcos, sobre o solo descoberto, concordando com os resultados obtidos por Bertol et al. (1987), Schick et al. (2000a) e Guadagnin (2003).

Dentre os tratamentos com cultivo, as maiores perdas de solo ocorreram na A+2G₉, ou seja, 3,4 e 7,5 vezes maiores do que aquelas ocorridas na E+G₉ e na média da SD₆ e SD₉, respectivamente (Quadro 1), o que também foi verificado por Bertol et al. (1987), Schick et al. (2000a) e Guadagnin (2003). Isto pode ser explicado pela quase que completa ausência de cobertura por resíduos vegetais, baixa rugosidade superficial e alta quantidade de partículas desagregadas e prontamente disponíveis para o transporte, decorrentes do preparo no tratamento com aração e gradagens, o que proporcionou diminuição da infiltração da água no solo e aumento da enxurrada, em relação aos demais tratamentos com cultivo. O maior sulcamento do solo pela enxurrada no preparo convencional, observado neste trabalho em decorrência das operações de aração e gradagens, em relação aos sistemas conservacionistas de preparo do solo, foi constatado também por Cogo (1981) e Bertol (1995).

O tratamento A+2G₉ reduziu as perdas de solo em 94 % em relação ao SSC₉ (Quadro 1), confirmando a influência do cultivo do solo na redução da erosão em relação à ausência de cultivo, nesse tipo de preparo de solo, conforme verificado

Quadro 1. Perdas de solo e água nos diferentes sistemas de manejo e cultivo de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, ajustadas para o declive de 0,09 m m⁻¹ (média da rotação e sucessão de culturas)

Cultivo	SD ₆	SD ₉	E+G ₉	A+2G ₉	SSC ₉	EI ₃₀
Perdas de solo, Mg ha ⁻¹						MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹
Feijão/soja ⁽¹⁾	0,04	0,02	0,05	0,11	10,94	1.567
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	0,31	0,34	1,04	3,98	56,85	2.950
Milho/soja ⁽³⁾	0,07	0,06	0,23	0,94	15,77	1.504
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	0,44	0,29	0,40	0,81	10,11	890
Média	0,21	0,18	0,43	1,46	23,42	1.728
Perdas de água, m ³ ha ⁻¹						Chuva mm
Feijão/soja ⁽¹⁾	38	38	90	150	407	390
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	139	428	257	538	414	697
Milho/soja ⁽³⁾	46	77	200	582	916	432
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	1.143	1.161	1.434	2.380	2.005	405
Média	342	426	495	912	935	481

SD₆: semeadura direta com seis anos; SD₉: semeadura direta com nove anos; E+G₉: escarificação+gradagem com nove anos; A+2G₉: aração + duas gradagens com nove anos; SSC₉: solo sem cultura com nove anos.

⁽¹⁾ Feijão na rotação e soja na sucessão. ⁽²⁾ Ervilhaca na rotação e trigo na sucessão. ⁽³⁾ Milho na rotação e soja na sucessão. ⁽⁴⁾ Aveia na rotação e trigo na sucessão.

também por Bertol & Miquelluti (1993). A redução da erosão na A+2G₉ foi ocasionada pelo efeito dos resíduos das culturas (parte aérea e raízes) incorporados ao solo pelo preparo, provavelmente no teor de matéria orgânica e na estruturação do solo, além do efeito da cobertura pela copa das plantas durante o ciclo das culturas na dissipação da energia cinética das gotas das chuvas, refletindo-se na menor enxurrada.

Os tratamentos de semeadura direta foram os mais eficazes no controle da erosão, reduzindo as perdas de solo (na média de SD₆ e SD₉) em aproximadamente 55, 87 e 99 % em relação aos tratamentos E+G₉, A+2G₉ e SSC₉, respectivamente (Quadro 1), concordando com os resultados de Bertol (1994), Schick et al. (2000a) e Guadagnin (2003). Tal comportamento pode ser atribuído ao efeito dos resíduos vegetais na superfície do solo, os quais dissiparam a energia cinética das gotas da chuva, praticamente eliminando a desagregação do solo pelo salpico, além de terem ocasionado aumento da infiltração de água e diminuição da enxurrada e, conseqüentemente, sua capacidade de desagregação e transporte de sedimentos na semeadura direta. Além disso, a ausência do preparo nesse sistema de manejo provavelmente permitiu a formação e a estabilização de galerias (decorrentes da fauna do solo e das raízes das plantas) e de agregados mais estáveis, o que também favoreceu a infiltração da água, além de provavelmente ter aumentado a consolidação do solo e, conseqüentemente, sua resistência ao sulcamento pela enxurrada.

As perdas de água em geral seguiram a mesma tendência das perdas de solo (Quadro 1). Nos tratamentos A+2G₉, E+G₉ e na média dos tratamentos de semeadura direta (SD₆ e SD₉), a redução das perdas de água foi de 2, 47 e 59 %, respectivamente, em relação ao SSC₉. Tais reduções foram menores do que as observadas nas perdas de solo, o que também foi verificado por Cogo (1981), Bertol (1994) e Schick et al. (2000a). A menor diferença nas perdas de água do que de solo é explicada pelo fato de o solo apresentar um limite de infiltração de água, a partir do qual a taxa de enxurrada tende a se igualar em distintos preparos (Bertol, 1994). O menor volume de água perdido nos tratamentos SD₆, SD₉ e E+G₉ é explicado, ainda, pela maior cobertura do solo, especialmente na semeadura direta e, no caso da E+G₉, também pela elevada rugosidade superficial, conforme observaram Schick et al. (2000a) no mesmo experimento.

Concentrações de NH₄⁺ e NO₃⁻ na água da enxurrada

A concentração de NH₄⁺ na água da enxurrada foi maior no tratamento E+G₉ do que nos demais (Quadro 2). Isto é explicado principalmente pela incorporação parcial dos resíduos vegetais no solo pelo preparo reduzido (E+G₉), o que favoreceu a decomposição dos resíduos e a mineralização do N, disponibilizando-o, na superfície do solo e próximo dela, para o transporte pela enxurrada. No caso dos tratamentos de semeadura direta, a concentração de NH₄⁺ na água da enxurrada apresentou valores

intermediários aos dos demais tratamentos. A ausência de preparo do solo na semeadura direta contribuiu para que a decomposição dos resíduos fosse mais lenta do que no E+G₉, e, ao mesmo tempo, mais intensa, especialmente na superfície do solo do que nos tratamentos de preparo convencional (SSC₉ e A+2G₉), facilitando a mineralização do N. Assim, na média dos tratamentos, a concentração de NH₄⁺, para os sistemas conservacionistas de preparo (SD₆, SD₉ e E+G₉), foi 92 % maior do que a dos tratamentos A+2G₉ e SSC₉, concordando com os dados de Beke & Lindwall (1990).

A presença dos resíduos vegetais na superfície do solo e próximo dela, nos tratamentos de semeadura direta e no E+G₉, respectivamente, provavelmente contribuiu para a maior concentração de NH₄⁺ na camada superficial nestes tratamentos, considerando a provável atividade biológica que deve ter ocorrido continuamente. Além disso, as adubações foram feitas a lanço na superfície do solo, sem incorporação alguma na semeadura direta, tendo sido semi-incorporados na E+G₉. As menores concentrações dessa substância, por outro lado, foram observadas nos preparos A+2G₉ e SSC₉ (Quadro 2), especialmente no SSC₉, decorrentes da incorporação dos resíduos vegetais e dos adubos no caso da A+2G₉ e, no caso do SSC₉, pela falta de resíduos vegetais e de adubação. Assim, de modo geral, a cobertura do solo por resíduos vegetais e as adubações realizadas em superfície e sem incorporação, nos preparos conservacionistas, tenderam a elevar a concentração de NH₄⁺ na água da enxurrada nesses tratamentos.

Comparando os cultivos, verificou-se que as concentrações de NH₄⁺ foram 47 % menores nos cultivos de outono-inverno do que naqueles de primavera-verão, na média dos sistemas de manejo e dos cultivos (Quadro 2). Tal comportamento,

provavelmente, deveu-se ao clima predominante em cada cultivo, ou seja, menor temperatura e maior umidade do solo no outono-inverno, o que é normal nessa região e deve ter influenciado fortemente a atividade biológica e, portanto, a mineralização do N nesse período.

Na média dos sistemas de manejo do solo, a concentração de NO₃⁻ na água da enxurrada foi 38 % menor nos tratamentos de semeadura direta do que naqueles com E+G₉ e A+2G₉ (Quadro 2). Isto pode ser explicado pelo fato de a semeadura direta propiciar melhor estrutura do solo, com canais mais bem definidos e contínuos, resultando em maior infiltração de água e menor enxurrada do que os demais tratamentos. Assim, como o NO₃⁻ é solúvel na água, o seu transporte através do perfil do solo foi facilitado nos sistemas de manejo sem preparo, acarretando menores perdas do elemento na água da enxurrada, o que concorda com Zhu et al. (1989).

Comparando os períodos de cultivo, constatou-se que as concentrações de NO₃⁻ foram 12 % menores nos cultivos de outono-inverno do que naqueles de primavera-verão, na média dos sistemas de manejo e dos cultivos (Quadro 2). Este comportamento, semelhante ao do NH₄⁺, deveu-se, provavelmente, ao clima predominante em cada período de cultivo, ou seja, menor temperatura e maior umidade do solo no outono-inverno, o que, como referido anteriormente, é normal nessa região e deve ter influenciado fortemente a atividade biológica e, portanto, a mineralização do N nesse período.

Concentrações de nitrogênio no sedimento da enxurrada

Os dados de concentração de N mineral no sedimento da enxurrada (Quadro 3) foram semelhantes aos encontrados por Zhu et al. (1989),

Quadro 2. Concentrações de NH₄⁺ e NO₃⁻ na água da enxurrada, nos diferentes sistemas de manejo e cultivo de um Cambissolo Húmico aluminico léptico (média da rotação e sucessão de culturas)

Cultivo	SD ₆		SD ₉		E+G ₉		A+2G ₉		SSC ₉	
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻								
	mg L ⁻¹									
Feijão/soja ⁽¹⁾	5,00	3,41	7,87	2,90	8,00	7,91	2,53	6,18	1,88	6,71
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	1,98	4,70	2,62	4,91	4,33	8,13	2,81	7,02	2,52	5,03
Milho/soja ⁽³⁾	2,86	2,90	3,88	3,55	3,47	3,28	1,88	3,35	0,94	3,18
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	2,56	1,88	1,73	1,16	0,99	1,58	0,32	1,33	0,39	2,39
Média	3,10	3,22	4,03	3,13	4,20	5,23	1,89	4,47	1,43	4,33

SD₆: semeadura direta com seis anos; SD₉: semeadura direta com nove anos; E+G₉: escarificação+gradagem com nove anos; A+2G₉: aração + duas gradagens com nove anos; SSC₉: solo sem cultura com nove anos.

⁽¹⁾ Feijão na rotação e soja na sucessão. ⁽²⁾ Ervilhaca na rotação e trigo na sucessão. ⁽³⁾ Milho na rotação e soja na sucessão. ⁽⁴⁾ Aveia na rotação e trigo na sucessão.

Gascho et al. (1998) e Smith et al. (2001), revelando a importância do controle das perdas de sedimentos pela erosão hídrica com o objetivo de diminuir os prejuízos financeiros e ambientais decorrentes das perdas de N das lavouras. Comparando com a média das concentrações de NH_4^+ e NO_3^- na água da enxurrada (Quadro 2), as concentrações de N no sedimento foram cerca de dez vezes maiores do que na água da enxurrada, concordando com Schick et al. (2000b) e Guadagnin (2003). Assim, quantidades relativamente pequenas de sedimentos podem contribuir tanto quanto quantidades relativamente grandes de água para as perdas de N pela erosão hídrica, decorrendo daí a necessidade de controlar tanto as perdas de solo quanto de água pela erosão hídrica para, assim, controlar também as perdas de N.

A concentração de N mineral no sedimento da enxurrada foi 67 % maior no tratamento A+2G₉ do que nos preparos de solo conservacionistas (SD₆, SD₉ e E+G₉), na média dos sistemas de preparo (Quadro 3). Isto pode ser explicado pelo revolvimento constante a que foi submetido o solo no preparo convencional, facilitando a decomposição dos resíduos vegetais e a conseqüente liberação de N, em relação aos preparos conservacionistas, nos quais a ausência quase que completa de preparo no caso da semeadura direta e sua redução no tratamento E+G₉ diminuíram tal processo. Em relação ao tratamento SSC₉, a concentração média de N mineral foi cerca de três vezes maior no A+2G, decorrente da ausência de cultivos e de adubações no SSC₉, o que contribuiu para certamente diminuir o teor de matéria orgânica e a conseqüente atividade biológica neste tratamento.

Perdas totais de nitrogênio na água da enxurrada

Os valores de perda total de N na água da enxurrada (Quadro 4) podem ser explicados pela

melhoria da fertilidade do solo proporcionada pelas adubações realizadas por ocasião do plantio da maioria das culturas, as quais ocasionaram concentrações do elemento relativamente altas na água da enxurrada (Quadro 2), e, principalmente, pelas elevadas perdas de água ocorridas (Quadro 1), concordando com os dados obtidos por Gascho et al. (1998) e Favaretto (2002). Na média dos tratamentos, as perdas de N foram 2,3 vezes maiores na A+2G₉ e SSC₉ do que no SD₆, SD₉ e E+G₉. Isto se deve às elevadas perdas de água ocorridas no A+2G₉ e SSC₉, as quais foram 1,9 vez superior a dos preparos conservacionistas (SD₆, SD₉ e E+G₉ - Quadro 1), embora as concentrações de NH_4^+ e NO_3^- terem sido, em geral, maiores nos preparos conservacionistas (Quadro 2). Assim, as perdas totais de N pela água da erosão hídrica foram mais influenciadas pelos maiores volumes de água perdidos dos preparos A+2G₉ e SSC₉ do que pelas maiores concentrações do elemento na água da enxurrada perdida dos preparos conservacionistas, concordando com Richardson & King (1995).

Os tratamentos de semeadura direta apresentaram grande eficácia (especialmente o SD₆) na redução das perdas de N mineral na água da enxurrada (Quadro 4), reduzindo-as em 52 %, em relação ao E+G₉, e em 68 %, em relação ao A+2G₉, o que pode ser explicado principalmente pelas menores perdas de água ocorridas na semeadura direta (Quadro 1) e pelas menores concentrações do elemento, especialmente de NO_3^- (Quadro 2) na água da enxurrada.

Comparando os cultivos, verificou-se que as perdas totais de N variaram entre eles (Quadro 4), em geral de acordo com as perdas de água, influenciadas basicamente pelos volumes de precipitação ocorridos em cada período e, provavelmente, pela umidade do solo antecedente a cada chuva que influiu no volume de enxurrada.

Quadro 3. Concentrações de nitrogênio mineral no sedimento da enxurrada, nos diferentes sistemas de manejo e cultivo de um Cambissolo Húmico aluminico léptico (média da rotação e sucessão de culturas)

Cultivo	SD ₆	SD ₉	E+G ₉	A+2G ₉	SSC ₉
	mg dm ⁻³				
Feijão/soja ⁽¹⁾	7,81	10,81	17,63	8,44	17,81
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	31,36	13,44	42,00	19,32	20,44
Milho/soja ⁽³⁾	43,75	109,37	18,75	30,62	36,88
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	-	25,70	-	167,05	2,00
Média	27,64	39,83	26,13	56,36	19,28

SD₆: semeadura direta com seis anos; SD₉: semeadura direta com nove anos; E+G₉: escarificação+gradagem com nove anos; A+2G₉: aração + duas gradagens com nove anos; SSC₉: solo sem cultura com nove anos.

⁽¹⁾ Feijão na rotação e soja na sucessão. ⁽²⁾ Ervilhaca na rotação e trigo na sucessão. ⁽³⁾ Milho na rotação e soja na sucessão. ⁽⁴⁾ Aveia na rotação e trigo na sucessão. (-) Dado não-disponível.

Perdas totais de nitrogênio no sedimento da enxurrada

Os valores de perda total de N no sedimento da enxurrada (Quadro 5) são explicados pelas quantidades de sedimento perdido, especialmente nos tratamentos que envolveram cultivo do solo (Quadro 1), bem como pelas concentrações do elemento no sedimento da enxurrada. Assim, as baixas quantidades de sedimento perdido por erosão hídrica, especialmente nos tratamentos com cultivo do solo, influenciaram mais expressivamente as perdas totais de N no sedimento da enxurrada do que as concentrações do elemento nessa fração da erosão. Baixas quantidades de N perdidas no sedimento da erosão hídrica foram verificadas por Gascho et al. (1998), Smith et al. (2001) e Favaretto (2002).

A perda de N no sedimento da enxurrada foi cerca de nove vezes maior no preparo de solo convencional (A+2G₉) do que nos preparos conservacionistas (SD₆,

SD₉ e E+G₉) (Quadro 5), na média dos sistemas de manejo do solo, concordando com Richardson & King (1995). Isto pode ser explicado pela maior perda de sedimento ocorrida no preparo convencional (Quadro 1), bem como pela maior concentração do elemento no sedimento da enxurrada nesse tratamento (Quadro 3). O preparo convencional com cultivo do solo (A+2G₉), por outro lado, apresentou eficácia de 90 % na redução da perda de N no sedimento da enxurrada, em relação ao mesmo sistema de manejo do solo sem cultivo (SSC₉), comportamento este de acordo com as perdas de solo nos dois sistemas de manejo, bem como com as respectivas concentrações do elemento no sedimento da erosão.

Entre os cultivos, as perdas totais de N no sedimento da enxurrada (Quadro 5) variaram de acordo com as perdas totais de sedimento (Quadro 1) e com as concentrações do referido elemento no sedimento (Quadro 3).

Quadro 4. Perdas totais de nitrogênio mineral na água da enxurrada, nos diferentes sistemas de manejo e cultivo de um Cambissolo Húmico aluminico léptico (média da rotação e sucessão de culturas)

Cultivo	SD ₆	SD ₉	E+G ₉	A+2G ₉	SSC ₉	Chuva
	g ha ⁻¹					mm
Feijão/soja ⁽¹⁾	662	596	1.910	4.535	4.386	390
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	3.012	6.208	9.128	5.659	10.163	697
Milho/soja ⁽³⁾	292	351	998	2.375	3.271	432
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	970	948	1.528	2.545	3.314	405
Média	1.234	2.026	3.391	3.779	5.284	481

SD₆: semeadura direta com seis anos; SD₉: semeadura direta com nove anos; E+G₉: escarificação+gradagem com nove anos; A+2G₉: aração + duas gradagens com nove anos; SSC₉: solo sem cultura com nove anos.

⁽¹⁾ Feijão na rotação e soja na sucessão. ⁽²⁾ Ervilhaca na rotação e trigo na sucessão. ⁽³⁾ Milho na rotação e soja na sucessão. ⁽⁴⁾ Aveia na rotação e trigo na sucessão. (-) Dado não-disponível.

Quadro 5. Perdas totais de nitrogênio mineral no sedimento da enxurrada, nos diferentes sistemas de manejo e cultivo de um Cambissolo Húmico aluminico léptico (média da rotação e sucessão de culturas)

Cultivo	SD ₆	SD ₉	E+G ₉	A+2G ₉	SSC ₉
	g ha ⁻¹				
Feijão/soja ⁽¹⁾	0,7	0,4	1,8	1,9	346,6
Ervilhaca/trigo ⁽²⁾	9,5	4,9	42,2	78,6	1.478,7
Milho/soja ⁽³⁾	3,1	6,5	4,5	28,4	526,0
Aveia/trigo ⁽⁴⁾	-	11,2	-	137,0	23,7
Média	4,4	5,8	12,1	61,5	593,8

SD₆: semeadura direta com seis anos; SD₉: semeadura direta com nove anos; E+G₉: escarificação+gradagem com nove anos; A+2G₉: aração + duas gradagens com nove anos; SSC₉: solo sem cultura com nove anos.

⁽¹⁾ Feijão na rotação e soja na sucessão. ⁽²⁾ Ervilhaca na rotação e trigo na sucessão. ⁽³⁾ Milho na rotação e soja na sucessão. ⁽⁴⁾ Aveia na rotação e trigo na sucessão. (-) Dado não-disponível.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas conservacionistas de manejo do solo mostraram-se mais eficazes do que o preparo convencional na redução das perdas de solo e água, em relação ao solo sem cultivo; em relação ao preparo convencional, a semeadura direta foi mais eficaz do que o cultivo mínimo na redução das perdas de solo e água; as perdas de solo foram mais influenciadas do que as perdas de água pelos sistemas de manejo do solo.

2. As concentrações de NH_4^+ e NO_3^- na água da enxurrada foram, em geral, inferiores no preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas de manejo do solo; no sedimento transportado pela enxurrada, as concentrações de N foram maiores do que as da água, sendo, por outro lado, menores nos sistemas conservacionistas de manejo do solo do que no preparo convencional.

3. As perdas totais de NH_4^+ e NO_3^- na água e no sedimento da enxurrada foram menores nos sistemas conservacionistas de manejo do solo do que no preparo convencional.

LITERATURA CITADA

- BEKE, G.J. & LINDWALL, C.W. Nutrient losses due to water erosion. Leth Bridge Research Center, Canada, 1990. 1p. <<http://www.Weekly Letters.com>>, acesso em 20 de outubro de 2001.
- BERG, W.A.; SMITH, S.J. & COLEMAN, G.A. Management effects on runoff, soil, and nutrient losses from highly erodible soils in the Southern plains. *J. Soil Water Conserv.*, 37:407-410, 1988.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:267-271, 1994.
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:187-192, 1987.
- BERTOL, I. & MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1205-1213, 1993.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Nutrients losses by water erosion. *Sci. Agric.*, 3:581-586, 2003.
- CHICHESTER, F.W. Effects of increased fertilizer rates on nitrogen content of runoff and percolate from monolith lysimeters. *J. Environ. Quality*, 6:211-217, 1977.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado)
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e qualificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1978. p.75-98.
- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4:60-64, 1939.
- EGHBALL, B. & GILLEY, J.E. Phosphorus and nitrogen in runoff beef cattle manure or compost application. *J. Environ. Quality*, 28:1201-1210, 1999.
- ELKINS, D.M.; GEORGE, J.D. & BIRCHETT, G.E. No-till soybeans in forage grass sod. *Agron. J.*, 74:359-363, 1982.
- FAVARETTO, N. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition. West Lafayette, Purdue University, 2002. 150p.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.E. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Soil Water Conserv.*, 36:355-359, 1981.
- GASCHO, G.J.; WAUCHOPE, R.D. & DAVIS, J.G. Nitrate-nitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1711-1718, 1998.
- GUADAGNIN, J.C. Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico Aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003, 150p. (Tese de Mestrado)
- JONES, O.R.; ECK, H.V.; SMITH, S.J.; COLEMAN G.A. & HAUSER, V.L. Runoff, soil, and nutrient losses from rangeland and dry farmed cropland in the Southern High Plains. *J. Soil Water Conserv.*, 40:161-167, 1985.
- McDOWELL, L.L. & MCGREGOR, K.C. Nitrogen and phosphorus losses in runoff from no-till soybeans. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 23:643-648, 1980.
- McISAAC, G.F.; MITCHELL, J.K. & HIRSCHI, M.C. Dissolved phosphorus concentrations in runoff from simulated rainfall on corn and soybean tillage systems. *J. Soil Water Conserv.*, 50:383-387, 1995.
- REICHERT, J.M. & CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:389-396, 1992.
- RICHARDSON, C.W. & KING, K.W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. *J. Agric. Eng. Res.*, 61:81-86, 1995.
- SCHICK, J. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p. (Tese de Mestrado)

- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT Jr., A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:427-436, 2000a.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JUNIOR, A.A. & BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:437-447, 2000b.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:287-291, 1997.
- SMITH, K.A.; JACKSON, D.R. & PEPPER, T.J. Nutrient losses by surface runoff following the application of organic manure to arable land. *Environ. Pollution*, 112:41-51, 2001.
- SOILEAU, J.M.; TOUCHTON, J.T.; HAJEK, B.F. & YOO K.H. Sediment, nitrogen, and phosphorus runoff with conventional and conservation tillage cotton in a small watershed. *J. Soil Water Conserv.*, 49:82-89, 1994.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)
- ZHU, J.C.; GANTZER, C.J.; ANDERSON, S.H.; ALBERTS, E.E. & BEUSELINCK, P.R. Runoff, soil, and dissolved nutrient losses from no-till soybean with winter cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1210-1214, 1989.