

# **EROSÃO HÍDRICA EM UM NITOSSOLO HÁPLICO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO SOB CHUVA SIMULADA. II - PERDAS DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO<sup>(1)</sup>**

**I. BERTOL<sup>(2)</sup>, D. LEITE<sup>(3)</sup>, J. C. GUADAGNIN<sup>(4)</sup> & S. R. RITTER<sup>(5)</sup>**

## **RESUMO**

**Com a erosão hídrica, há o transporte de nutrientes para fora das lavouras e, com isso, pode ocorrer o empobrecimento dos solos e a contaminação do ambiente fora do local da erosão. Utilizando um simulador de chuvas de braços rotativos, foram aplicadas, no campo, três chuvas simuladas no cultivo do milho e três no de feijão, com intensidade constante de 64 mm h<sup>-1</sup> e energia cinética de 0,2083 MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, no Planalto Sul Catarinense, entre março de 2001 e abril de 2003, para avaliar as perdas de nutrientes e carbono orgânico (CO) pela erosão hídrica sobre os seguintes tratamentos de manejo do solo, em duas repetições: solo sem cultivo com uma aração + duas gradagens (SSC); cultivos de milho e feijão com uma aração + duas gradagens sobre resíduos dessecados (PCO); cultivos de milho e feijão em semeadura direta sobre resíduos dessecados em solo previamente preparado (SDI); cultivos de milho e feijão em semeadura direta sobre resíduos dessecados em solo nunca preparado (SDD), cultivos de milho e feijão em semeadura direta sobre resíduos queimados em solo nunca preparado (SDQ); e solo sem cultivo com campo nativo melhorado (CNM). Utilizou-se um Nitossolo Háplico aluminico argiloso, com inclinação média do terreno de 0,165 m m<sup>-1</sup>. As concentrações dos nutrientes e do CO nos sedimentos transportados por erosão foram maiores nos preparos conservacionistas do que nos convencionais, enquanto as perdas totais comportaram-se de maneira inversa. Na água da enxurrada, as concentrações e as perdas de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> diminuíram do cultivo do milho para o do feijão, enquanto as de P aumentaram.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, apresentada à Faculdade de Agronomia do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Conduzido com recursos parciais do CNPq/UDESC. Recebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em setembro de 2004.

<sup>(2)</sup> Professor do Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

<sup>(3)</sup> Pós-Graduando em Agronomia, CAV/UDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: leiteagro@ig.com.br

<sup>(4)</sup> Engenheiro-Agrônomo, M.Sc. em Ciência do Solo, CAV/UDESC. E-mail: a6jcg@cav.udesc.br

<sup>(5)</sup> Graduando do Curso de Agronomia do CAV/UDESC. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq. E-mail: a6srri@cav.udesc.br

**No caso do K, ocorreu redução da concentração e aumento das perdas. As taxas de empobrecimento do solo situaram-se, em geral, próximas de um para os nutrientes e para o CO. As concentrações dos nutrientes e do CO nos sedimentos transportados correlacionaram-se, linear e positivamente, com a composição química da camada de 0-0,025 m de profundidade do solo de onde o sedimento foi removido.**

**Termos de indexação: nutrientes na enxurrada, nutrientes na água, nutrientes nos sedimentos.**

**SUMMARY: WATER EROSION ON AN HAPLUDOX SUBMITTED TO DIFFERENT SOIL MANAGERMENTS UNDER SIMULATED RAINFALL. II - NUTRIENT AND ORGANIC CARBON LOSSES**

*Water erosion extracts nutrients from farming areas and causes soil impoverishment and environmental contamination outside the erosion site. A rotating-boom rainfall simulator operated at a constant rainfall intensity of 64 mm h<sup>-1</sup> and 0.2083 MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> kinetic energy was used to investigate nutrient and organic carbon losses by water erosion and related parameters in six management systems in corn and bean crops. The experiments were carried out on a clayey loam structured soil (Hapludox) with 0.165 m m<sup>-1</sup> average slope on the Southern Plateau of Santa Catarina State, Brazil, from March 2001 to April 2003. Three rainfall simulations were applied to the corn and three to the bean crop according to the following treatments: plowing + disking (bare soil) (SSC), corn and bean crop under plowing + disking on desiccated residue (PCO), corn and bean crop under no-tillage on desiccated residue on previously prepared soil (SDI), corn and bean crop under no-tillage on desiccated residue on never prepared soil (SDD), corn and bean crop under no-tillage on burned residue on never prepared soil (SDQ), and improved native pasture (CNM). Results showed that nutrients and organic carbon concentrations in runoff sediments were higher under conservation tillage than conventional tillage, while the total losses presented inverse behavior. In the water of the runoff, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations and losses were higher in the corn than in bean while P was lower. K concentrations were higher in corn and losses lower. Soil impoverishment rates were generally close to the unit for nutrients and organic carbon. Nutrients and organic carbon concentrations in erosion sediments were linearly and positively correlated with the chemical composition of the 0-0.025 m soil layer.*

*Index terms: runoff nutrient, water nutrient, sediment nutrient.*

## INTRODUÇÃO

As perdas de solo e água provocadas pela erosão hídrica constituem fatores de grande importância na diminuição da capacidade produtiva do solo, em virtude da remoção de nutrientes e CO adsorvidos aos sedimentos minerais e orgânicos e solubilizados na água da enxurrada. Além disso, a erosão do solo promove o assoreamento e a eutrofização das águas onde o material transportado é depositado (Pote et al., 1996), comprometendo a qualidade das águas superficiais.

A aplicação de adubos e corretivos durante longo tempo nas lavouras tende a elevar as concentrações de nutrientes no solo, especialmente na camada superficial e, conseqüentemente, elevar suas concentrações na enxurrada (Pote et al., 1996; Schick et al., 2000b; Bertol et al., 2003; Leite, 2003). O modo

e a forma de aplicação de adubos e corretivos também afetam a concentração de nutrientes na enxurrada (Cassol et al., 2002). Além disso, na maioria dos sistemas de manejo do solo, os adubos são aplicados por ocasião do estabelecimento das culturas, razão por que podem ocorrer maiores concentrações de nutrientes na enxurrada no início do ciclo das culturas do que no seu final (Leite, 2003).

As concentrações de nutrientes na água da enxurrada são, em geral, semelhantes ou superiores nos preparos de solo conservacionistas do que nos convencionais (Barisas et al., 1978; Schick et al., 2000b), em virtude do transporte de camadas de solo mais ricas em nutrientes nos preparos conservacionistas, já que a quase ausência de preparo de solo nesses sistemas promove a concentração da maioria dos nutrientes na camada superficial do solo. Nos sistemas convencionais, há

a incorporação dos adubos aplicados, o que deixa os nutrientes menos propensos à remoção pela enxurrada. Além disso, a erosão que ocorre nos preparos conservacionistas caracteriza-se por apresentar elevada carga de sedimentos coloidais, os quais têm alta capacidade de adsorção de elementos químicos (Gascho et al., 1998).

Assim, os sedimentos transportados pela enxurrada nestes sistemas de manejo podem apresentar maior concentração de nutrientes e CO do que o próprio solo de onde foram removidos (Schick et al., 2000b; Bertol et al., 2003). Isto tem sido atribuído à textura do material transportado pela enxurrada, o qual é mais rico em silte e argila do que o solo de onde foi removido, uma vez que essas frações do solo são mais facilmente transportadas pela erosão hídrica do que as frações grosseiras (Langdale et al., 1985). A alta concentração de matéria orgânica na superfície do solo, especialmente nos sistemas conservacionistas de manejo de solo, associada à sua baixa densidade, justifica, por outro lado, a maior concentração de CO nos sedimentos transportados em decorrência da erosão em tais sistemas do que na camada superficial do solo de onde foram removidos (Barrows & Kilmer, 1963; Schick et al., 2000b).

A perda total de nutrientes na água e de nutrientes e CO nos sedimentos carregados do solo em decorrência da erosão hídrica depende do volume total de água e da quantidade total de sedimentos transportados, além da concentração dos referidos nutrientes e CO na água e nos sedimentos (Schick et al., 2000b). Assim, as concentrações de nutrientes no material transportado, mesmo que relativamente pequenas para alguns nutrientes, podem representar grandes quantidades de adubos perdidos em decorrência da erosão e que devem ser adicionados ao solo para que a sua capacidade produtiva se mantenha em níveis adequados (Cassol et al., 2002).

Os preparos conservacionistas de solo caracterizam-se pela presença de maior cobertura e, ou, rugosidade superficial do que os preparos convencionais (Cogo, 1981; Bertol et al., 1997; Schick et al., 2000a); portanto, as perdas de solo e água são reduzidas, o que pode diminuir as perdas totais de nutrientes em decorrência da erosão hídrica (Bertol, 1994; King et al., 1996; Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000b).

O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P e K na água e de P, K, Ca, Mg e CO nos sedimentos transportados por erosão hídrica, durante os cultivos de milho e feijão, sob diferentes sistemas de manejo do solo e chuva simulada. Ainda, procurou-se relacionar as concentrações dos nutrientes e do CO perdidos com os sedimentos da erosão com as suas concentrações presentes na camada de 0–0,025 m do solo de onde foram removidos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Detalhes sobre a localização da área experimental, tipo de solo, período de execução do trabalho, descrição dos tratamentos, forma de instalação das culturas, épocas, número e energia cinética das chuvas simuladas aplicadas e método de coleta da enxurrada para determinação das perdas de solo e água, estão descritos em Leite et al. (2004). No quadro 1, encontram-se apresentados alguns atributos químicos do solo no local do experimento.

A amostragem da enxurrada para determinação das perdas de nutrientes nela transportados foi feita, em todos os testes de chuva simulada, em ambos os cultivos, com a utilização de frascos de vidro, com capacidade de 300 mL, de modo semelhante ao do método descrito em Bertol et al. (2003). Foram usados dois frascos no início da enxurrada e outros dois no momento que o escoamento atingiu taxa constante. No laboratório, as amostras de enxurrada contidas nos frascos eram mantidas em repouso, sob temperatura de 4 °C, durante 24 a 48 h, com a finalidade de permitir a decantação dos sedimentos em suspensão. Após este período, uma alíquota da água sobrenadante contida no vidro era coletada para posterior análise química de nutrientes.

No segundo teste de chuva simulada no cultivo do milho e em todos os testes de chuva simulada no feijão, foi feita a amostragem da enxurrada para determinação dos nutrientes e CO no sedimento transportado pela enxurrada. Assim, durante todo o período de duração do escoamento, uma peneira de malha 1 mm foi colocada sob a enxurrada, para retenção dos sedimentos transportados. O sedimento assim coletado (retido sobre a malha da peneira) foi seco no laboratório a 50 °C e, depois, armazenado em potes plásticos, para posterior análise química de nutrientes e CO.

**Quadro 1. Atributos químicos na camada de 0–0,2 m de profundidade do Nitossolo Háplico aluminico, submetido a diferentes sistemas de manejo do solo**

Tratamento	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	K	CO	pH H <sub>2</sub> O (1:1)
	- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -		- mg dm <sup>-3</sup> -		g kg <sup>-1</sup>	
SSC	3,6	2,2	1,8	109	22,5	4,82
PCO	8,1	5,9	6,3	162	25,5	6,33
SDQ	4,9	4,2	15,9	141	29,5	5,71
SDI	9,2	6,4	32,1	363	24,7	6,45
SDD	6,5	4,4	10,5	156	27,9	5,61
CNM	4,0	3,1	4,9	138	32,7	5,31

SSC: solo sem cultivo; PCO: preparo convencional; SDI: semeadura direta; SDQ: semeadura direta queimada; SDD: semeadura direta dessecada; CNM: campo natural melhorado.

Nas amostras da água da enxurrada, foram determinados os teores de P e K solúveis e  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  e, nas amostras do sedimento, os teores de K, Ca e Mg trocáveis, P extraível e CO, segundo os métodos descritos por Tedesco et al. (1995). Durante o cultivo do feijão, foram coletadas amostras do solo após cada teste de chuva simulada, na profundidade de 0–0,025 m, em um local em cada parcela, nas quais foram determinados os teores de K, Ca e Mg trocáveis, P extraível e CO, segundo os métodos descritos por Tedesco et al. (1995).

Com os dados de concentração de P, K, Ca, Mg e CO, na camada de 0–0,025 m do solo e nos sedimentos transportados pela enxurrada, foram calculadas as taxas de empobrecimento do solo nas parcelas experimentais, dividindo-se a concentração de determinado elemento no sedimento da enxurrada pela sua concentração na camada de 0–0,025 m do solo.

Os dados de concentração de nutrientes e CO no material transportado pela enxurrada e de perdas totais de nutrientes e CO foram interpretados utilizando-se análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5 %, em cada cultivo. As concentrações de K, Ca e Mg trocáveis, P extraível e CO na camada de 0–0,025 m do solo foram relacionadas linearmente com as concentrações dos respectivos nutrientes e CO transportados pelos sedimentos da enxurrada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Concentrações de nutrientes na água da enxurrada

A semeadura direta dessecada apresentou tendência de maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  na água da enxurrada, no cultivo do milho (Quadro 2). Estatisticamente, no entanto, ela foi diferente apenas do campo nativo melhorado que não recebeu adubos, o que, em parte, explica essa diferença. A aceleração de decomposição dos resíduos culturais na semeadura direta dessecada em virtude do dessecamento químico dos resíduos pode ter sido outra razão para o ocorrido. A elevada concentração de  $\text{NH}_4^+$  na água da enxurrada no solo sem cultivo foi decorrente, provavelmente, da mineralização da matéria orgânica ainda presente no solo neste tratamento, pela atividade microbiana, a qual deve ter sido facilitada pela aeração do solo ocasionada pelo preparo mecânico. Durante o cultivo do feijão, a maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  na água da enxurrada ocorreu no preparo convencional, explicada pela maior decomposição dos resíduos vegetais incorporados ao solo quando do seu preparo.

No cultivo do milho, a maior concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água da enxurrada ocorreu nos tratamentos solo sem cultivo, preparo convencional, semeadura direta

**Quadro 2. Concentrações de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P e K na água da enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico cultivado com milho e feijão (média dos três testes de chuva simulada)**

Tratamento	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	P		K
			mg dm <sup>-3</sup>		
Cultivo do milho					
SSC	2,1 AB	10,5 A	0,01 B		1,4 D
PCO	1,2 AB	14,2 A	0,01 B		4,1 C
SDQ	1,8 AB	7,8 B	0,26 A		6,9 B
SDI	1,7 AB	10,9 A	0,06 B		6,9 B
SDD	2,6 A	10,4 A	0,07 B		8,8 A
CNM	0,5 B	0,2 B	0,01 B		2,2 D
C.V. (%)	76	77	157		19
Cultivo do feijão					
SSC	0,3 C	1,9 C	0,03 D		0,7 D
PCO	1,4 A	5,8 A	0,15 CD		3,3 C
SDQ	0,8 B	4,3 B	0,63 AB		5,7 A
SDI	0,6 B	3,8 B	0,22 BCD		5,6 A
SDD	0,5 BC	3,4 B	0,87 A		4,8 B
CNM	0,3 C	0,2 D	0,53 ABC		3,4 C
C.V. (%)	38	24	88		16

SSC: solo sem cultivo; PCO: preparo convencional; SDQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; SDI: semeadura direta; SDD: semeadura direta sobre resíduos dessecados; CNM: campo nativo melhorado. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

e semeadura direta dessecada, enquanto no feijão ela foi maior no preparo convencional (Quadro 2). A maior concentração de  $\text{NO}_3^-$ , no caso do preparo convencional, pode ser explicada pela maior decomposição dos resíduos culturais, os quais eram fracionados e incorporados ao solo. Nos demais tratamentos com cultivo do solo, no entanto, estes resíduos permaneciam inteiros e na superfície do solo (semeadura direta e semeadura direta dessecada), ou eram eliminados com a queima (semeadura direta queimada). Além disso, a alta infiltração de água no solo, na semeadura direta, semeadura direta dessecada e semeadura direta queimada (dados constantes em Leite et al., 2004), pode ter aumentado as perdas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviação, uma vez que este elemento é solúvel e móvel no solo.

A concentração de P na água da enxurrada foi baixa, em todos os tratamentos e em ambos os cultivos (Quadro 2), concordando com Schick et al. (2000b) e Bertol et al. (2003). No cultivo do milho, a maior concentração ocorreu na semeadura direta queimada, sendo 3,7 vezes maior do que na média da semeadura direta e semeadura direta dessecada e 26 vezes maior do que na média dos demais tratamentos. Isto pode ser explicado pela queima dos resíduos vegetais antes da aplicação da primeira chuva simulada, a qual mineralizou parte do



material orgânico, disponibilizando P para o transporte pela enxurrada. No cultivo do feijão, a maior concentração de P na água tendeu a ocorrer na semeadura direta dessecada, estatisticamente não-diferente, no entanto, à da semeadura direta queimada e campo nativo melhorado. Isto pode ser explicado, no caso da semeadura direta dessecada e semeadura direta queimada, pela aplicação do adubo na superfície do solo, enquanto, no campo nativo, pela decomposição dos resíduos vegetais do campo. A maior concentração de P na água da enxurrada dos sistemas de semeadura direta (SDI, SDD e SDQ), em relação ao preparo convencional, concorda com os trabalhos de Schick et al. (2000b) e Bertol et al. (2003).

No caso do K, sua concentração na água da enxurrada foi relativamente alta, em todos os tratamentos e em ambos os cultivos (Quadro 2), concordando com Schick et al. (2000b). É possível distinguir dois grupos de tratamentos: um formado pela semeadura direta dessecada, semeadura direta e semeadura direta queimada e outro formado pelos demais tratamentos. A concentração de K foi maior no primeiro grupo de tratamentos do que no segundo. A maior concentração de K na água da enxurrada nos tratamentos do primeiro grupo (tratamentos de semeadura direta), os quais não sofreram preparo do solo, pode ser explicada pela deposição desse nutriente na superfície do solo pelas culturas que o retiraram da subsuperfície, pela decomposição do material orgânico e pela aplicação dos adubos na superfície do solo. No outro grupo de tratamentos, no entanto, o preparo convencional que sofreu preparo do solo apresentou a menor concentração de K na água da enxurrada. A explicação para isso é que a incorporação ao solo dos adubos e dos restos culturais promoveu sua homogeneização, baixando, assim, sua concentração na camada preparada. No caso do campo nativo e solo sem cultivo, a ausência de adubação foi o principal fator responsável, o que concorda com Schick et al. (2000b).

### Perdas de nutrientes na água da enxurrada

As perdas de  $\text{NH}_4^+$  na água da enxurrada na semeadura direta equivaleram a 50 % daquelas ocorridas no preparo convencional, enquanto, para o  $\text{NO}_3^-$ , embora sem diferença estatística, a referida equivalência foi de 27 %, durante o cultivo do milho (Quadro 3), explicada principalmente pelas maiores perdas de água no preparo convencional (Leite et al., 2004). As maiores perdas de  $\text{NH}_4^+$ , na semeadura direta dessecada, e de  $\text{NO}_3^-$ , no solo sem cultivo, são explicadas pelas maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na água da enxurrada (Quadro 2) e, no caso do  $\text{NO}_3^-$ , também pelo maior volume de água perdido no solo sem cultivo (Leite et al., 2004). Durante o cultivo do feijão, a semeadura direta também foi mais eficaz do que o preparo convencional na redução das perdas dessas substâncias na água da

enxurrada, com redução de 12 % para o  $\text{NH}_4^+$  e de 27 % para o  $\text{NO}_3^-$ , atribuídas também à maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na água da enxurrada no preparo convencional (Quadro 2) e ao volume total de água perdida neste sistema de manejo em relação à semeadura direta (Leite et al., 2004). Comparando os tratamentos de semeadura direta queimada (SDQ) e não queimada (SDD), verificou-se que, no cultivo do milho, tanto as perdas de  $\text{NH}_4^+$  quanto de  $\text{NO}_3^-$  não foram influenciadas pela queima, enquanto, no cultivo do feijão, tanto as perdas de  $\text{NH}_4^+$  como de  $\text{NO}_3^-$  foram expressivamente maiores no tratamento queimado, em decorrência, principalmente, das maiores perdas de água ocorridas neste tratamento (Leite et al., 2004).

No caso do P, as maiores perdas na água de enxurrada ocorreram na semeadura direta queimada no cultivo do milho e, no feijão, na semeadura direta dessecada, semeadura direta queimada e campo nativo (Quadro 3), explicadas tanto pelas altas concentrações do elemento na água (Quadro 2), quanto pela altas perdas de água (Leite et al., 2004). As perdas de P aumentaram do cultivo do milho para o do feijão, em todos os tratamentos, pois o adubo foi parcialmente incorporado ao solo pela semeadora-adubadora no cultivo do milho e, no caso do feijão, aplicado a lanço na superfície do solo

**Quadro 3. Perdas de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P e K na água da enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico cultivado com milho e feijão (média dos três testes de chuva simulada)**

Tratamento	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	P		K
			g ha <sup>-1</sup>		
Cultivo do milho					
SSC	484 AB	2.470 A	2,3 C		328 B
PCO	200 BC	2.391 AB	1,3 C		652 B
SDQ	489 AB	2.210 AB	69,6 A		1.794 A
SDI	99 C	637 AB	3,1 C		399 B
SDD	584 A	2.282 AB	12,5 B		1.894 A
CNM	64 C	29 B	1,5 C		315 B
C.V. (%)	83	96	64,		42
Cultivo do feijão					
SSC	141 CB	870 C	11,8 B		337 C
PCO	519 A	2.154 A	61,6 B		1.247 B
SDQ	215 B	1.417 B	189,2 A		1.878 A
SDI	64 C	580 D	23,8 B		589 C
SDD	121 C	832 C	220,7 A		1.153 B
CNM	82 C	70 E	198,3 A		1.334 B
C.V. (%)	34	31	58		32

SSC: solo sem cultivo; PCO: preparo convencional; SDQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; SDI: semeadura direta; SDD: semeadura direta sobre resíduos dessecados; CNM: campo nativo melhorado. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

(exceção no preparo convencional). Contribuiu, para isso, o maior volume de água perdida, 65 % maior no cultivo do feijão do que no do milho (Leite et al., 2004).

As perdas de K na água da enxurrada (Quadro 3) foram expressivamente maiores do que as de P, em ambos os cultivos, explicadas pelas grandes quantidades aplicadas ao solo na forma de adubo, pelo fato de ser facilmente reciclado pelas culturas e, ainda, pela ocorrência natural no solo em elevadas concentrações, concordando com Schick et al. (2000b), Cassol et al. (2002) e Bertol et al. (2003). No milho, as perdas de K foram 4,4 vezes maiores na semeadura direta dessecada e semeadura direta queimada do que nos demais tratamentos, na média dos tratamentos (Quadro 3), em decorrência dos resíduos vegetais que, em ambos os sistemas, liberaram o elemento, de modo semelhante ao P, aumentando sua concentração na água da enxurrada (Quadro 2). Além disto, ocorreram maiores perdas de água em decorrência da erosão na semeadura direta dessecada e semeadura direta queimada (Leite et al., 2004). No feijão, a maior perda de K também ocorreu na semeadura direta queimada, explicada do mesmo modo como para o milho, ou seja, pela queima dos resíduos vegetais, aplicação de adubos na superfície e maior volume total de água perdida pela enxurrada.

Enquanto as concentrações de K na água da enxurrada tenderam a diminuir do cultivo do milho para o do feijão (Quadro 2), as perdas do elemento tiveram comportamento inverso (Quadro 3), explicadas pelo maior volume de água perdida, a qual aumentou cerca de 65 % do cultivo do milho para o do feijão (Leite et al., 2004).

### **Concentrações de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos transportados pela enxurrada**

As concentrações de P, K, Ca, Mg e CO nos sedimentos transportados pela enxurrada foram determinadas no material coletado no segundo teste de chuva simulada no cultivo do milho e nos três testes no cultivo do feijão. No entanto, apenas os dados obtidos no cultivo do feijão serão aproveitados para esta discussão. Os dados relativos ao cultivo do milho serão utilizados para a discussão da taxa de empobrecimento do solo.

As concentrações de P e K nos sedimentos transportados foram maiores do que na água da enxurrada, influenciadas pelas respectivas concentrações na camada superficial do solo (Quadro 4), o que concorda com os trabalhos de Gascho et al. (1998) e Schick et al. (2000b). No caso dos sistemas de semeadura direta (SDI, SDD e SDQ), as referidas concentrações foram, em média, respectivamente, 4,5 e 1,6 vezes maiores do que no preparo convencional, mantendo o mesmo comportamento das concentrações na camada superficial do solo, concordando com Schick et al.

(2000b). Isto é explicado não só pela mobilização do solo no preparo convencional, que incorporou ao solo os adubos e os resíduos culturais, mas também pela ausência de preparo nos sistemas de semeadura direta, que, associada à aplicação dos adubos na superfície, ocasionou aumento da concentração destes elementos na camada superficial do solo. As menores concentrações de P e K nos sedimentos transportados no solo sem cultivo deveram-se à ausência de adubações nesse tratamento, refletindo-se em menores concentrações no solo. A queima dos resíduos culturais na semeadura direta queimada aumentou expressivamente a disponibilidade desses elementos para o transporte pela enxurrada, em comparação com o tratamento de semeadura direta não queimado, demonstrando o efeito ambiental danoso dessa prática.

As maiores concentrações de Ca e Mg nos sedimentos da enxurrada na semeadura direta dessecada e semeadura direta queimada podem ser explicadas pelas maiores concentrações desses elementos na superfície do solo (Quadro 4), decorrentes da forma de aplicação do calcário (na superfície do solo). No solo sem cultivo, foi encontrada a menor concentração desses elementos nos sedimentos, em virtude da ausência de calagem e de outros fertilizantes. Estes dados concordam com os obtidos por Bertol et al. (2003).

O teor de CO nos sedimentos transportados pela enxurrada foi 58 % maior na média dos tratamentos de semeadura direta (SDI, SDD e SDQ) do que na média dos preparos convencionais (SSC e PCO), em acordo com as respectivas concentrações desse componente na camada superficial do solo (Quadro 4), concordando com Schick et al. (2000b) e Bertol et al. (2003). A menor concentração de CO nos sedimentos coletados nas parcelas experimentais do preparo convencional pode ser explicada pela maior decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica, uma vez que o preparo, ao incorporar os resíduos culturais ao solo, provavelmente aumentou a atividade microbiana no solo que recebeu esse tratamento. No caso do solo sem cultivo, o menor teor de CO se deve à ausência de vegetação, indicando a importância dos resíduos vegetais para a manutenção e, ou, aumento do teor de CO no solo.

### **Perdas de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos transportados pela enxurrada**

As perdas de nutrientes e CO nos sedimentos transportados pela enxurrada foram influenciadas pelas suas concentrações nos sedimentos produzidos (Quadro 4) e pela perda de solo por erosão (Leite et al., 2004). Deste modo, as referidas perdas em geral foram baixas, explicadas pela baixa quantidade de solo perdido, especialmente nos tratamentos semeadura direta, semeadura direta dessecada e campo nativo melhorado.

No caso do P e K, as perdas associadas aos sedimentos foram baixas, concordando com Bertol

**Quadro 4. Concentrações de P extraível, K, Ca e Mg trocáveis e CO na camada de 0–0,025 m de profundidade do solo e nos sedimentos transportados, e perdas dos referidos elementos nos sedimentos, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico cultivado com milho e feijão (média dos três testes de chuva simulada)**

Tratamento	P	K	Ca	Mg	CO
	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>
	Camada de 0–0,025 m do solo				
SSC	1,69	107	3,40	2,45	24,1
PCO	4,98	184	7,60	5,77	24,5
SDQ	62,52	338	11,70	8,18	49,1
SDI	41,03	457	10,30	6,73	30,0
SDD	23,86	348	13,00	8,04	47,8
	Sedimentos transportados				
SSC	2,40 D	112 D	3,86 D	2,46 C	26,9 D
PCO	5,80 CD	208 C	8,02 C	6,28 B	25,8 D
SDQ	46,20 A	342 A	10,66 A	7,46 A	52,2 A
SDI	19,60 B	342 A	8,44 B	5,77 B	30,6 C
SDD	13,00 BC	301 B	10,48 A	6,70 B	41,9 B
C.V. (%)	46	22	6	8	10
	Perdas nos sedimentos transportados				
	g ha <sup>-1</sup>				kg ha <sup>-1</sup>
SSC	61 A	2.871 A	19.840 A	7.601 A	688 A
PCO	15 C	519 B	4.097 B	1.937 B	68 B
SDQ	34 B	233 C	1.572 C	660 C	39 C
SDI	0,6 C	13 D	60 C	25 C	1 D
SDD	0,2 C	6 D	37 C	14 C	0,8 D
C.V. (%)	61	82	79	94	71

SSC: solo sem cultivo; PCO: preparo convencional; SDQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; SDI: semeadura direta; SDD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

(1994) e Schick et al. (2000b), explicadas pela baixa perda de solo nos tratamentos de semeadura direta (Leite et al., 2004) e, no caso dos preparos convencionais, pela baixa concentração dos elementos nos sedimentos (Quadro 4). As referidas perdas foram, respectivamente, 61 e 40 vezes maiores na semeadura direta queimada e preparo convencional do que na semeadura direta dessecada e semeadura direta, na média dos tratamentos, explicadas pela maior perda de solo na semeadura direta queimada e preparo convencional (Leite et al., 2004), apesar das menores concentrações desses elementos nos sedimentos produzidos nas parcelas experimentais submetidas a esses tratamentos. No caso do solo sem cultivo, as perdas de P e K, relativamente altas, são explicadas pela alta perda de solo ocorrida nesse tratamento, ainda que fosse baixa a concentração de P nos sedimentos.

As perdas de Ca e Mg (Quadro 4) foram influenciadas pelas perdas de solo (Leite et al., 2004) e pelas concentrações dos elementos nos sedimentos (Quadro 4) em virtude da calagem e por serem elementos pouco sujeitos à lixiviação e fortemente adsorvidos ao solo. As referidas perdas tiveram comportamento semelhante às de P e K, sendo, no entanto, superiores, o que pode ser explicado pelas maiores concentrações destes elementos, em relação

ao P e K, nos sedimentos. As perdas de Ca e Mg foram, respectivamente, 58 e 67 vezes maiores no preparo convencional e semeadura direta queimada do que na semeadura direta e semeadura direta dessecada, na média dos tratamentos, concordando com Schick et al. (2000b) e Bertol et al. (2003). As perdas de solo no preparo convencional e semeadura direta queimada foram 63 vezes superiores às da semeadura direta e semeadura direta dessecada (Leite et al., 2004), enquanto as concentrações dos referidos elementos nos sedimentos foram semelhantes nos diversos tratamentos.

O CO foi perdido em grandes quantidades no solo sem cultivo, sendo, respectivamente, 13 e 764 vezes maiores do que no preparo convencional e semeadura direta queimada e na semeadura direta e semeadura direta dessecada, na média dos tratamentos (Quadro 4), explicada pela alta perda de solo (Leite et al., 2004) e pela concentração relativamente alta de CO nos sedimentos, concordando com Schick et al. (2000b). No preparo convencional e semeadura direta queimada, as perdas de CO foram 59 vezes maiores do que na semeadura direta e semeadura direta dessecada, na média dos tratamentos, o que pode ser explicado pelo efeito da cobertura na proteção da superfície do solo contra a desagregação pelo impacto das gotas de

chuva, na redução da velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, na sua capacidade de transporte de sedimentos ricos em matéria orgânica.

### Taxas de empobrecimento do solo em nutrientes e em carbono orgânico

As taxas de empobrecimento do solo das parcelas experimentais, ocasionadas pelas perdas de P, K, Ca, Mg e CO nos sedimentos transportados, foram calculadas com base nos dados obtidos nos três testes de chuva simulada durante o cultivo do feijão e no segundo teste do milho.

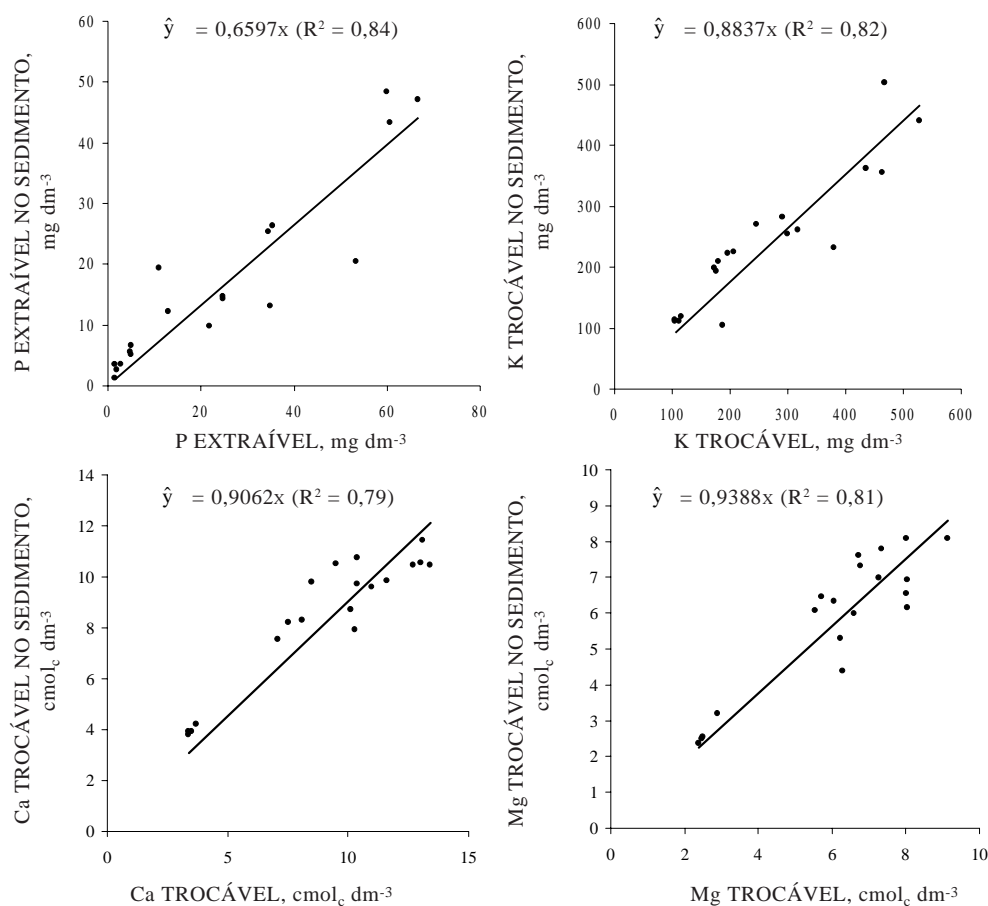
As taxas de empobrecimento situaram-se, em geral, próximas da unidade (Quadro 5), ou seja, as concentrações de nutrientes e CO nos sedimentos foram, em geral, semelhantes às suas concentrações na camada superficial do solo (Quadro 4), o que concorda com Schwarz (1997) e Schick et al. (2000b). Assim, nesse caso, os sedimentos transportados pela erosão hídrica apresentaram, em geral, características químicas semelhantes ao solo coletado na camada de 0–0,025 m do solo das parcelas de onde foram removidos.

**Quadro 5. Taxas de empobrecimento do solo das parcelas experimentais em P extraível, K, Ca e Mg trocáveis e CO, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico cultivado com milho e feijão (média dos três testes de chuva simulada)**

Tratamento	P	K	Ca	Mg	CO
SSC	1,4	1,0	1,1	1,0	1,1
PCO	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
SDQ	0,7	1,0	0,9	0,9	1,1
SDI	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
SDD	0,5	0,9	0,8	0,8	0,9

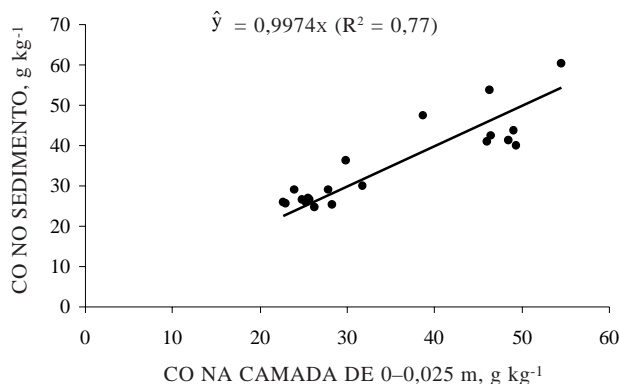
SSC: solo sem cultivo; PCO: preparo convencional; SDQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; SDI: semeadura direta; SDD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.

Os teores de nutrientes e de CO nos sedimentos transportados apresentaram correlação linear e positiva com a composição química da camada de 0–0,025 m do solo de onde foi removido o sedimento (Figuras 1 e 2). Dentre os nutrientes (Figura 1), o



**Figura 1. Regressão linear simples das concentrações de fósforo extraível (P) e potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis na camada de 0–0,025 m do solo com os respectivas concentrações nos sedimentos transportados pela erosão hídrica, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico cultivado com milho e feijão (quatro determinações no cultivo do milho e 15 no feijão).**





**Figura 2. Regressão linear simples da concentração de carbono orgânico (CO) na camada de 0–0,025 m do solo com a respectiva concentração nos sedimentos transportados pela erosão hídrica, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico aluminico (quatro determinações no cultivo do milho e 15 no feijão).**

Mg apresentou a maior taxa de empobrecimento (0,9388), enquanto o P apresentou a menor taxa (0,6597), o que discorda de Schick et al. (2000b) que, trabalhando num Inceptissol sob chuva natural, encontraram maior taxa de empobrecimento para o caso do P e menor para o Mg. A taxa de empobrecimento do CO, de 0,9974 (Figura 2), foi maior do que a obtida para os nutrientes (Figura 1), o que pode ser explicado pelo fato de ser a matéria orgânica o constituinte mais facilmente removido pela erosão hídrica, de sua maior concentração na superfície do solo e, principalmente, de sua baixa densidade, conforme Barrows & Kilmer (1963).

A taxa de empobrecimento do solo em nutrientes (principalmente P) e CO, relativamente baixa nas parcelas experimentais, especialmente no caso dos tratamentos de semeadura direta, pode ser atribuída, em parte, ao método de coleta dos sedimentos. O uso de apenas uma peneira sob a enxurrada, com malha de 1 mm, permitiu que os sedimentos menores do que este tamanho transportados pela enxurrada, principalmente a fração coloidal dos sedimentos, passassem através da peneira, a qual reteve apenas sedimentos maiores do que 1 mm, os quais naturalmente apresentam menor densidade de cargas do que os sedimentos coloidais e, conseqüentemente, menor quantidade de nutrientes químicos e carbono orgânico adsorvidos.

## CONCLUSÕES

1. As concentrações de P e K na água da enxurrada foram maiores nos sistemas de semeadura direta, mesmo quando os resíduos foram queimados, do que nos convencionais, enquanto as de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  não foram, em geral, influenciadas

pelo manejo do solo; comparando os cultivos de milho e feijão, as concentrações e as perdas de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na água da enxurrada diminuíram do milho para o feijão, enquanto as de P aumentaram e, no caso do K, ocorreu redução da concentração e aumento das perdas.

2. As concentrações de P, K, Ca, Mg e CO nos sedimentos produzidos em decorrência da erosão hídrica foram maiores nos preparos de solo conservacionistas do que nos preparos convencionais, enquanto as perdas desses elementos e do CO nos sedimentos comportaram-se de maneira inversa.

3. As taxas de empobrecimento do solo em decorrência da erosão hídrica situaram-se próximas da unidade para o K, Ca, Mg e CO em diversos sistemas de manejo do solo, sendo menores do que um no caso do P nos sistemas de semeadura direta realizados sobre resíduos vegetais; as concentrações de P, K, Ca, Mg e CO nos sedimentos transportados correlacionam-se, linear e positivamente, com a composição química da camada de 0–0,025 m de profundidade do solo de onde o sedimento foi removido.

## LITERATURA CITADA

- BARISAS, S.G.; BAKER, J.L.; JOHNSON, H.P. & LAFLEN, J.M. Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients. A rainfall simulation study. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 21:893-897, 1978.
- BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soil by water erosion. *Adv. Agron.*, 15:303-316, 1963.
- BERTOL, I. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. *Univ. Des.*, 2:174-184, 1994.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & MIQUELLUTI, D.J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 3:199-206, 1997.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. *Sci. Agric.*, 60:581-586, 2003.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I. & BADELUCCI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:705-712, 2002.
- 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)
- GASCHO, G.J.; WAUCHOPE, R.D.; DAVIS, J.G.; TRUMAN, C.C.; DOWLER, C.C.; HOOK, J.E.; SUMNER, H.R. & JOHNSON, A.W. Nitrate-nitrogen soluble and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1711-1718, 1998.

- KING, K.W.; RICHARDSON, C.W. & WILLIAMS, J.R. Simulation of sediment and nitrate loss on a Vertissol with conservation practices. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 39:2139-2145, 1996.
- LANGDALE, G.W.; LEONARD, R.A. & THOMAS, A.W. Conservation practices effects on phosphorus losses from Southern Piedmont watersheds. *J. Soil Water Conserv.*, 40:157-160, 1985.
- LEITE, D. Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos. Lages, Universidade do estado de Santa Catarina, 2003. 100p. (Tese de Mestrado)
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:1033-1044, 2004.
- POTE, D.H.; DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; MOORE JUNIOR, P.A.; EDWARDS, D.R. & NICHOLS, D.J. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:855-859, 1996.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, 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.; BATISTELA, O. & BALBINOT JÚNIOR., A.A. 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.
- SCHWARZ, R.A. Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das Missões - RS. Porto Alegre, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1977. 130p. (Tese de Mestrado)
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas e culturas em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:287-291, 1997.
- 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.