

Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural

Antonio Marcos da Silva⁽¹⁾, Marx Leandro Naves Silva⁽²⁾, Nilton Curí⁽²⁾, José Maria de Lima⁽²⁾, Junior Cesar Avanzi⁽²⁾ e Mozart Martins Ferreira⁽²⁾

⁽¹⁾Usina Moema Açúcar e Álcool, CEP 15480-000 Orindiúva, SP. E-mail: antonio.marcos@usmoema.com.br ⁽²⁾Universidade Federal de Lavras, Dep. de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: marx@ufla.br, niltcuri@ufla.br, jmlima@ufla.br, mozartmf@ufla.br, javanzi@yahoo.com.br.

Resumo – A erosão hídrica é responsável por perdas de nutrientes e carbono dos solos agrícolas. A minimização das perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico constitui importante aspecto do planejamento conservacionista. Os objetivos deste trabalho foram avaliar as perdas, por erosão hídrica, de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf). As coletas foram realizadas depois de cada evento de chuva considerada erosiva. As perdas médias anuais de solo foram de 205,65 Mg ha⁻¹ para o CXbd e de 14,90 Mg ha⁻¹ para o LVdf. As perdas médias anuais de água foram 369 mm para o CXbd e 113 mm para o LVdf, representando, respectivamente, 28,67% e 8,78% do total precipitado. Os atributos mineralógicos, químicos e físicos e o relevo de ocorrência desses solos explicam satisfatoriamente os resultados obtidos. O CXbd apresentou as maiores perdas de nutrientes e carbono orgânico. O carbono orgânico foi encontrado em maior quantidade no sedimento erodido, evidenciado pelo caráter seletivo da erosão.

Termos para indexação: erosão hídrica, enxurrada, solos rasos, solos intemperizados.

Soil, water, nutrients and organic carbon losses from Inceptisol and Oxisol under natural rainfall

Abstract – Water erosion is responsible for considerable losses of nutrients and organic carbon from agricultural soils. The reduction of soil, water, nutrients and organic carbon losses constitutes an important aspect of the conservation planning. The objectives of this work were to evaluate the soil, water, nutrients and organic carbon losses from a Typic Dystrochept (TD) and a Rhodic Hapludox (RH). The samplings were performed after each considered erosive rain event. The mean annual soil losses were 205.65 Mg ha⁻¹ for the TD and 14.90 Mg ha⁻¹ for the RH. The mean annual water losses were 369 mm for the TD and 113 mm for the RH, representing 28.67% and 8.78% of the total precipitation, respectively. The mineralogical, chemical and physical attributes and the relief where these soils occur satisfactorily explain the obtained results. The TD presents higher nutrients and organic carbon losses than the RH. The organic carbon was the main component of the eroded sediment, evidenced by the selective character of erosion.

Index terms: water erosion, runoff, shallow soils, weathered soils.

Introdução

A erosão hídrica é um dos principais problemas relacionados ao manejo dos solos no país. Ela tem contribuído para o empobrecimento e redução ou perda de sustentabilidade dos agroecossistemas, decorrentes do arraste de solo, água, nutrientes e carbono orgânico a ela associada.

A erosão hídrica, fundamentalmente, é a ação erosiva da chuva sobre o solo. A degradação do solo ocorre em

geral a partir da interferência antrópica sobre esse recurso natural. A erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica são exemplos de processos degradativos em sistemas agrícolas (Bezdicke et al., 1996).

De acordo com Bertol (1994) e Bertol et al. (2002), a erosão dos solos brasileiros apresenta grande variabilidade espacial e temporal, explicada pela diversidade climática, que influi no potencial erosivo das chuvas, e pela variabilidade de solos, que tem influência na sua

suscetibilidade à erosão. Assim, ocorrem solos mais ou menos suscetíveis à erosão, tanto do ponto de vista de sua pedogênese (fatores intrínsecos) quanto do ponto de vista do manejo adotado (fatores extrínsecos).

Trabalhos têm demonstrado que, em algumas classes de solo, as perdas têm sido consideradas críticas. Quanto ao Latossolo Vermelho distroférico e Cambissolo Húmico alumínico, destacam-se os estudos de Hernani et al. (1999) e Schick et al. (2000), respectivamente, cujo objetivo foi avaliar as perdas de nutrientes e carbono orgânico no sedimento e na enxurrada. Segundo os autores, existem mecanismos preferenciais de perdas em razão da proteção do solo oferecida pela cultura, sistema de preparo e cultivo. Os Cambissolos, por apresentarem geralmente pequena espessura de solum, pobreza química acentuada e quando localizados em relevo movimentado, têm-se constituído em sistemas muito instáveis (Resende et al., 1988; Oliveira et al., 1992).

Entre os estudos realizados em Minas Gerais, quase todos com chuva simulada, destacam-se o de Resck et al. (1981), conduzido em Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, em Viçosa, o de Lima (1991) e o de Silva et al. (1994), ambos em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, do Município de Lavras, MG, todos com objetivo de determinar a erodibilidade. Bono et al. (1996) e Santos et al. (1998) desenvolveram estudos em pastagens, utilizando o método de alteração da superfície do solo e estimaram as perdas de solo em diferentes sistemas de preparo e gramíneas, obtendo perdas que variaram de 3,4 a 151,2 Mg ha⁻¹ para Latossolo e Cambissolo. Nesses dois trabalhos não foi utilizada a parcela padrão como referencial. Considerando a carência de dados de perdas de solo no estado de Minas Gerais, notadamente quanto a Cambissolos, sob parcela padrão e com chuva natural, trabalhos sobre o conhecimento das perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico são fundamentais ao planejamento de uso da terra de forma sustentada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas, por erosão hídrica, de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo Háptico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), sob chuva natural.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em área experimental da Universidade Federal de Lavras, MG (21°14' S, 45°0' O, altitude de 919 m). O clima é definido, de acordo com a

classificação de Köppen, como Cwa, com precipitação média anual histórica de 1.529,7 mm. A temperatura média anual é de 19,4°C (Ometto, 1981; Brasil, 1992).

Para fins de caracterização química e mineralógica dos solos estudados, determinaram-se os teores de carbono orgânico total (Walkey & Black, 1934), complexo sortivo, P disponível (Mehlich-1), cátions trocáveis (K, Ca e Mg) e óxidos (SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃) extraídos pelo ataque sulfúrico (Embrapa, 1997), caulinita e gibbsita por análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferificada (Tan & Hajek, 1977), depois do tratamento com ditionito – citrato – bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960) (Tabela 1).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965) modificado, depois da dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos. A densidade do solo foi determinada segundo Blake & Hartge (1986a) e a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico segundo Blake & Hartge (1986b). Determinou-se o volume total de poros segundo Danielson & Sutherland (1986).

Tabela 1. Atributos mineralógicos, químicos e físicos do Cambissolo Háptico Tb distrófico típico (CXbd) e do Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) na profundidade de 0–20 cm, em Lavras, MG

Atributo ⁽¹⁾	CXbd	LVdf
Ct (g kg ⁻¹)	330	160
Gb (g kg ⁻¹)	180	310
Gb/(Gb+Ct)	0,36	0,66
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	223	126
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	239	274
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	33	292
P (Mehlich-1) (mg dm ⁻³)	5	2
K (mg dm ⁻³)	89	44
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,4	1,3
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,7	0,3
CO (g kg ⁻¹)	22	60
Areia total (g kg ⁻¹)	478	259
Areia muito grossa (g kg ⁻¹)	48	33
Areia grossa (g kg ⁻¹)	96	53
Areia média (g kg ⁻¹)	125	57
Areia fina (g kg ⁻¹)	173	72
Areia muito fina (g kg ⁻¹)	36	44
Silte (g kg ⁻¹)	158	124
Argila (g kg ⁻¹)	364	617
Índice de floculação (%)	46	66
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,40	1,20
Densidade de partículas (Mg m ⁻³)	2,47	2,69
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,46	0,51
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,40	0,41
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,06	0,10
Permeabilidade (mm h ⁻¹)	14	74

⁽¹⁾Ct: caulinita; Gb: gibbsita; CO: carbono orgânico total.

A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura não deformada, previamente saturada, utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Grohmann, 1960) (Tabela 1). A permeabilidade do solo à água foi determinada por permeâmetro de carga constante com modificações de McNeal & Roland (1964) e Lima et al. (1990).

Os solos foram classificados, conforme Embrapa (1999), como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, textura argilosa (CXbd) e o Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa (LVdf). O CXbd apresenta espessura do solum (horizontes A + B) de 36 cm, enquadrado como raso, ao passo que o LVdf é enquadrado como profundo (>200 cm), conforme observações e medições de campo.

Anteriormente à montagem do experimento, o uso do solo era com pastagem nativa. Por ocasião da implantação do experimento, foram realizadas uma aração com arado de discos e duas gradagens leves, todas no sentido do declive; as parcelas foram mantidas descobertas e, quando necessário, a vegetação estabelecida espontaneamente era retirada com o uso de capina manual. O experimento foi conduzido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2002.

As perdas de solo foram determinadas em parcelas instaladas no campo com dimensões de 3x9 m em solo sem cobertura. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,40 m de largura, que foram enterradas 0,20 m. O comprimento maior obedeceu ao sentido do declive, sendo de 0,15 m m⁻¹ no CXbd e de 0,12 m m⁻¹ no LVdf. Na parte inferior das parcelas, foram colocadas calhas coletoras, com cano de chapa galvanizado, para conduzir a enxurrada até os tanques coletores. O sistema foi constituído de dois tanques coletores de água e sedimento, com capacidade individual de 225 L, munido de sistema divisor do tipo Geib, de nove janelas. Do sistema divisor, por meio de uma canaleta, a água e os sedimentos são conduzidos para o segundo tanque coletor. Assim, depois do enchimento do primeiro tanque de água e sedimentos, 1/9 de água da enxurrada é conduzida para o segundo tanque. As coletas foram realizadas a cada evento de chuva considerada erosiva, segundo método de Cogo (1978a, 1978b).

Quanto ao cálculo da erosividade, foram utilizados registros contínuos de dados pluviométricos de Lavras, MG, coletados entre janeiro de 1998 e dezembro de 2002,

na Estação Climatológica Principal de Lavras, do 5º Distrito de Meteorologia, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (Ufla). A amplitude de registro desses dados foi de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,2 mm, tempo de registro de 24 horas, com unidade de dois minutos. Depois de terem sido cotadas, manualmente, em segmentos de intensidades mais uniformes de chuva, determinaram-se as energias cinéticas totais das chuvas para cada evento, com o auxílio de programa computacional específico desenvolvido por Cataneo et al. (1982), que calcula a energia cinética segundo Wischmeier & Smith (1958), adaptado por De Maria (1994), que acrescentou o cálculo da energia cinética desenvolvido por Wagner & Massambani (1988).

De acordo com o programa, são consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de 6 horas com precipitação menor que 1 mm. As chuvas menores que 10 mm, ou com intensidade máxima em 15 minutos menor que 24 mm h⁻¹, ou energia cinética menor que 3,6 MJ, são consideradas não erosivas (De Maria, 1994). A equação de energia cinética utilizada conforme Wagner & Massambani (1988) foi $E = 0,153 + 0,0645 \log I$, em que E é a energia da chuva (MJ ha⁻¹ mm⁻¹); I é a intensidade da chuva (mm h⁻¹).

O índice EI₃₀ foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (somatório dos segmentos erosivos da chuva) pela máxima intensidade verificada em um período de 30 minutos consecutivos (I₃₀), segundo Wischmeier & Smith (1958). Pelo somatório de cada chuva, obteve-se o valor mensal, e pelo somatório dos valores mensais, obtiveram-se os valores anuais. O potencial de arraste de sedimentos (PAS) foi calculado pela razão entre as perdas de solo (Mg ha⁻¹) e as perdas de água (mm).

Determinou-se também a concentração de nutrientes e de carbono orgânico no sedimento de erosão. Para tal, amostras do sedimento de cada evento erosivo foram coletadas nos tanques, constituindo uma amostra composta referente ao ano de estudo, tendo sido determinados os teores de P disponível, K, Ca e Mg trocáveis. As perdas de nutrientes, o carbono orgânico total e a taxa de enriquecimento do sedimento (TES) foram determinadas como descrito por Hernani et al. (1999).

Resultados e Discussão

Quanto às perdas mensais de solo, os altos valores dos coeficientes de variação entre os meses eram

esperados, e são atribuídos à irregularidade da distribuição das chuvas ao longo do ano, afetando diretamente as taxas de perdas de solo (Tabela 2). O período crítico para erosão foi verificado entre os meses de novembro e março, quando ocorrem as maiores precipitações e valores elevados de erosividade (Tabela 3). As perdas corresponderam a 87,12% e 97,58% das perdas totais no CXbd e no LVdf, respectivamente.

As perdas anuais de solo corresponderam a 205,65 e 14,90 Mg ha⁻¹ em média para o CXbd e o LVdf, respectivamente (Tabela 2). Os resultados do CXbd estão acima dos obtidos por Schick et al. (2000) que observaram perdas de 11,83 Mg ha⁻¹, para um Cambissolo Húmico em Lages, SC, que apresentava teores bem mais elevados de matéria orgânica (subordem Húmico) e menor declividade (0,12 m m⁻¹). Em Cambissolos da zona fisiográfica Campos das Vertentes, Santos et al. (1998) estimaram perdas de 151 Mg ha⁻¹ por ano, em que o encrostamento (impermeabilização superficial) contribuiu para explicação desses valores elevados, próximos aos deste trabalho. Para Latossolo Vermelho distroférrico na região de Dourados, MS, Hernani et al. (1999) encontraram valores de 6,9 Mg ha⁻¹ por ano, sob condição de solo descoberto, aproximadamente a metade do encontrado para o LVdf analisado. Essa diferença deve estar relacionada ao declive, que é quatro vezes inferior ao deste estudo.

Quanto aos valores médios mensais de perdas de água em relação ao total precipitado (Tabela 3), altos valores dos coeficientes de variação também foram observados,

Tabela 2. Perdas médias mensais de Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e de Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf), no período de 1998 a 2002, sob chuva natural, em Lavras, MG

Mês	CXbd		LVdf	
	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%
Janeiro	41,74	20,31	2,54	17,05
Fevereiro	29,52	14,35	0,20	1,34
Março	25,81	12,55	0,32	2,15
Abril	3,48	1,69	0,01	0,07
Mai	1,25	0,61	0,05	0,34
Junho	0,02	0,01	0,00	0,00
Julho	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,71	0,34	0,01	0,07
Setembro	1,65	0,80	0,12	0,80
Outubro	19,39	9,43	0,17	1,14
Novembro	35,19	17,11	6,47	43,42
Dezembro	46,88	22,80	5,01	33,62
Total	205,65	100,00	14,90	100,00
Desvio-padrão	18,05	-	2,24	-
CV (%)	105,34	-	180,25	-

pelo mesmo motivo mencionado em relação às perdas de solo (Tabela 2). As perdas de água para o CXbd foram três vezes maiores em relação ao LVdf. Esses resultados estão relacionados com a baixa permeabilidade do Cambissolo à água (Tabela 1) e com a pequena profundidade do solum, além de um encrostamento pronunciado. Por se tratar de um solo raso, tais aspectos devem ser considerados no uso e no manejo deste sistema. Esses resultados ficaram mais evidentes quando a relação entre a precipitação e as perdas de água, nos solos estudados, apresentaram coeficientes de correlação (r) de 0,98 e 0,91, para o CXbd e o LVdf, respectivamente.

Em relação às perdas totais anuais de solo e água, a distribuição irregular de chuvas nos anos de estudo pode explicar os altos valores de coeficientes de variação encontrados (Tabela 4). Possivelmente com a continuidade do estudo, este coeficiente tenderá a diminuir. A amplitude de perdas de solo ocorrida foi de 98,47 a 374,10 Mg ha⁻¹ por ano e 2,20 a 55,74 Mg ha⁻¹ por ano, para o CXbd e o LVdf, respectivamente. O alto valor de perdas de solo observado no ano de 2001 em relação aos outros anos, do LVdf, está relacionado à ocorrência de um evento de 78 mm de precipitação, gerando erosividade de 2.231 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. A alta erosividade dessa chuva suplantou os atributos de solo que conferem resistência a erosão hídrica, causando altas perdas de solo (Tabela 1).

Os altos valores de perdas de solo observados nos anos de 1998 e 1999 no CXbd devem-se à desagregação propiciada pelo preparo inicial (uma aração e duas gradagens) e ao fato de que a pequena profundidade

Tabela 3. Precipitação, erosividade e perdas de água por enxurrada em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf) entre 1998 e 2002, sob chuva natural, em Lavras, MG.

Mês	Precipitação (mm)	Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Enxurrada			
			CXbd		LVdf	
			mm	%	mm	%
Janeiro	230	1.255	53	4,12	27	2,10
Fevereiro	205	259	67	5,21	9	0,70
Março	175	634	54	4,20	13	1,01
Abril	20	10	10	0,78	1	0,08
Mai	30	99	7	0,54	1	0,08
Junho	5	1	0	0,00	0	0,00
Julho	6	6	0	0,00	0	0,00
Agosto	27	27	2	0,16	0	0,00
Setembro	47	93	6	0,47	1	0,08
Outubro	87	233	26	2,02	3	0,23
Novembro	184	1.008	51	3,96	27	2,10
Dezembro	271	1.240	93	7,23	31	2,41
Total	1.287	4.865	369	28,67	113	8,78

deste solo causa rápida saturação, favorecendo maior escoamento superficial e maior arraste de partículas, quando comparado com o LVdf.

Os valores discrepantes de perdas de solo total, observados entre os dois solos, podem ser explicados pelo comportamento diferencial dos atributos mineralógicos, físicos e químicos dos deles em relação ao processo erosivo (Tabela 1). O LVdf apresenta mineralogia gibbsítica que, aliada aos maiores teores de óxidos de ferro e matéria orgânica, contribui para uma estrutura granular, maior floculação, maior porosidade total e maior permeabilidade, propiciando menores valores de perdas de solo. Por sua vez, o CXbd, mais caulínico, com baixos teores de óxidos de ferro, apresenta estrutura em blocos e baixa permeabilidade, justificando maiores valores de perdas de solo.

O potencial de arraste de sedimentos (PAS), correspondente às perdas de solo por mm de água da enxurrada, revelou valores médios de 0,57 e 0,10 Mg ha⁻¹ mm⁻¹ para o CXbd e para o LVdf, respectivamente (Figura 1). Nas condições experimentais, o CXbd apresentou um PAS, em média, cinco vezes maior do que o LVdf, concordando com a permeabilidade, cinco vezes menor do que a do LVdf. Esses resultados confirmam a maior suscetibilidade do CXbd à erosão hídrica.

Os valores médios anuais de perdas de solo ficaram acima dos limites de tolerância, que são de 12,70 e 5,60 Mg ha⁻¹ por ano, para o LVdf e CXbd, respectivamente; no CXbd, o valor de perda é muito mais crítico (Tabela 4). Quanto ao LVdf, o valor médio de perdas de solo foi influenciado pelas perdas de 2001, considerado um ano atípico devido à alta erosividade, e

para os demais anos, os valores permaneceram abaixo do limite de tolerância. O limite de tolerância para o LVdf foi mais que o dobro do limite do CXbd, em razão da sua maior profundidade (>200 cm), permeabilidade e teor de matéria orgânica (Tabela 1).

Na discussão dos dados de perdas de nutrientes e carbono orgânico, admitiu-se que o sedimento removido das parcelas pela erosão foi o da camada de 0–20 cm de profundidade e comparou-se a composição química do sedimento erodido (Tabela 5) com a do solo original (condição de solo anterior à instalação do experimento) na mesma profundidade (Tabela 1). Para todos os nutrientes e o carbono orgânico, de modo geral, a concen-

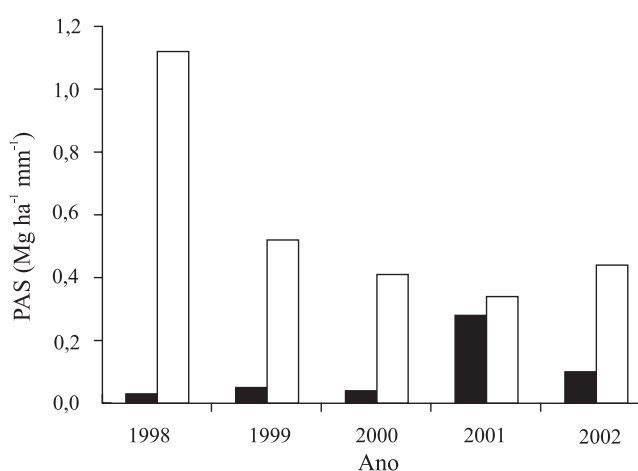


Figura 1. Potencial de arraste de sedimentos (PAS) em Latossolo Vermelho distroférico típico (■) e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (□).

Tabela 4. Valores médios anuais de erosividade, perdas de solo e água em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), sob chuva natural, em Lavras, MG.

Ano	Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Perdas de solo (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Perdas de água (mm)
CXbd			
1998	3.467	374,10	335,04
1999	5.566	280,40	535,56
2000	6.949	115,20	283,10
2001	6.171	160,08	475,83
2002	2.173	98,47	225,67
Média	4.865	205,65	371,04
Desvio-padrão	1.984	105,55	130,58
CV (%)	40,77	51,33	35,19
LVdf			
1998	3.467	2,20	65,37
1999	5.566	6,19	133,53
2000	6.949	5,05	117,15
2001	6.171	55,74	201,52
2002	2.173	5,34	52,83
Média	4.865	14,90	114,08
Desvio-padrão	1.984	20,46	59,49
CV (%)	40,77	137,29	52,15

Tabela 5. Concentração de nutrientes e carbono orgânico total (CO) no sedimento de erosão do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e do Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), sob chuva natural, em Lavras, MG.

Ano	Ca ²⁺ ---- (cmol _c dm ⁻³) ----	Mg ²⁺ ---- (mg dm ⁻³) ----	P (mg dm ⁻³)	K ⁺ ---- (g kg ⁻¹) ----	CO ---- (g kg ⁻¹) ----
CXbd					
1998	1,5	0,2	5,0	37	16
1999	1,1	0,3	3,0	22	14
2000	1,4	0,6	2,6	22	12
2001	0,6	0,2	3,1	11	10
2002	0,7	0,2	2,8	17	10
Média	1,1	0,3	3,3	22	12
Desvio-padrão	0,4	0,2	0,9	8,6	0,2
CV (%)	34,1	56,2	26,5	39,5	18,6
LVdf					
1998	3,1	1,2	4,0	41	22
1999	3,3	0,8	4,0	58	36
2000	2,8	0,9	2,6	38	23
2001	2,5	0,5	3,1	28	27
2002	2,4	0,6	3,1	27	24
Média	2,8	0,8	3,4	38	26
Desvio-padrão	0,3	0,2	0,6	11,2	0,5
CV (%)	12,2	30,6	16,3	29,2	18,9

tração no sedimento erodido foi maior para o LVdf (Tabela 5). Esses resultados podem ser explicados pela alta afinidade existente entre a fração argila (Tabela 1), o carbono orgânico e os nutrientes, propiciando uma erosão com caráter seletivo (Resck et al., 1980; Távora et al., 1985). Esses resultados corroboram os de Barrows & Kilmer (1963) e Bertol et al. (2004). A fração coloidal e a matéria orgânica são os primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica, tendo em vista a sua baixa densidade (Seganfredo et al., 1997; Schick et al., 2000).

Entre o Ca e o Mg, as maiores concentrações no sedimento foram observadas para o Ca (Tabela 5), em ambos os solos, devido aos maiores teores desse nutriente no solo (Tabela 1). Em relação ao K e P, as maiores concentrações no sedimento foram observadas para o potássio, o que está relacionado aos teores mais elevados deste nutriente no solo (Tabela 1) e a menor capacidade de sua fixação pelos minerais argilosos destes solos (caulinita, gibbsita e óxidos de Fe), o que facilita o seu transporte pela água da enxurrada, corroborando os resultados de Segnanfredo et al. (1997) e Schick et al. (2000). A maior concentração de carbono orgânico no sedimento foi observada para o LVdf, possivelmente em razão do seu maior teor neste solo (Tabela 5).

As taxas de enriquecimento maiores do que 1,0 indicam que a concentração no sedimento erodido foi sempre maior do que no solo original, caracterizando a seletividade de arraste de material no processo da erosão hídrica, que transporta principalmente as partículas mais finas, as frações mais reativas do solo e, conseqüentemente, com maior capacidade de carrear nutrientes e carbono orgânico (Tabela 6). De modo ge-

Tabela 6. Taxa de enriquecimento no sedimento de erosão do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distrófico típico (LVdf), sob chuva natural, em Lavras, MG.

Ano	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K ⁺	CO ⁽¹⁾
CXbd					
1998	0,4	0,3	1,0	0,4	0,7
1999	0,3	0,4	0,6	0,2	0,6
2000	0,4	0,9	0,5	0,2	0,5
2001	0,2	0,3	0,6	0,1	0,4
2002	0,2	0,3	0,6	0,2	0,4
LVdf					
1998	2,4	4,00	2,0	0,9	0,4
1999	2,5	2,67	2,0	1,3	0,6
2000	2,1	3,00	1,3	0,9	0,4
2001	1,9	1,67	1,5	0,6	0,4
2002	1,8	2,00	1,5	0,6	0,4

⁽¹⁾CO: carbono orgânico total.

ral, houve tendência de redução da taxa de enriquecimento de nutrientes com o passar dos anos, indicando o esgotamento das reservas naturais de nutrientes do solo, notadamente para o solo CXbd.

No CXbd, não foi observado enriquecimento no sedimento, enquanto para o LVdf houve enriquecimento de todos os nutrientes, exceto do K e carbono orgânico. Esses resultados possivelmente estão relacionados à via preferencial de transporte de K ser pela água da enxurrada (Tabela 3). Os maiores teores desses nutrientes no sedimento em relação ao solo original podem ser atribuídos ao fato de que a amostragem do solo na condição original para análise dos nutrientes e carbono orgânico foi feita na profundidade de 0–20 cm, diluindo este efeito no solo, com maior evidência no LVdf, concordando com Eltz (1977).

Conforme Munn (1973) e Schuman et al. (1973), as perdas de nutrientes e matéria orgânica são decorrentes das perdas de solo, de fato, as maiores perdas desses componentes, encontrados no sedimento de erosão, foram do CXbd (Tabela 7), e estão de acordo com as perdas médias anuais de água e de solo (Tabela 4).

As perdas de nutrientes no sedimento de erosão para o LVdf apresentaram a seguinte tendência: Ca > K > Mg > P, que concorda com os dados de Hernani et al. (1999), que avaliaram perdas de nutrientes em um Latossolo Vermelho distrófico de Dourados, MS. Já no CXbd, a tendência de perdas de nutrientes foi a seguinte: K > Ca > P > Mg. De modo geral, as maiores

Tabela 7. Perdas anuais e totais de nutrientes e carbono orgânico total no sedimento de erosão, em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho distrófico típico (LVdf), em Lavras, MG.

Ano	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K ⁺	CO ⁽¹⁾
----- (kg ha ⁻¹) -----					
CXbd					
1998	11,22	0,90	1,87	13,84	5,98
1999	6,17	1,01	0,84	6,17	3,93
2000	4,34	1,21	0,40	3,41	1,94
2001	1,92	0,38	0,50	1,76	1,60
2002	1,38	0,24	0,28	1,67	0,98
Total	25,03	3,74	3,89	26,85	14,43
LVdf					
1998	0,14	0,03	0,01	0,09	0,05
1999	0,41	0,06	0,02	0,36	0,22
2000	0,28	0,05	0,01	0,19	0,12
2001	2,79	0,33	0,17	1,56	1,51
2002	0,26	0,04	0,02	0,14	0,13
Total	3,88	0,51	0,23	2,34	2,03

⁽¹⁾CO: carbono orgânico total.

perdas de P acompanharam as maiores perdas de carbono orgânico e as maiores taxas de perdas de solo (Tabela 4), o que se deve ao fato de este nutriente ser preferencialmente perdido por erosão, e transportado adsorvido à fração coloidal mineral, concordando com Castro et al. (1986), Dedecek et al. (1986) e Schick et al. (2000) e em parte ao P orgânico, concordando com Schick et al. (2000).

O carbono orgânico foi o constituinte encontrado em maior quantidade no sedimento erodido, sendo importante enfatizar a necessidade de práticas conservacionistas que reduzam a ação erosiva da chuva, mantendo esta fração orgânica no solo, uma vez que ela é importante na manutenção da sua estrutura, retenção de umidade e CTC, entre outros atributos.

Conclusões

1. As maiores perdas de solo e de água são observadas no CXbd e estão muito acima do limite de tolerância de perdas.

2. O CXbd apresenta as maiores perdas de nutrientes e carbono orgânico.

Agradecimentos

À Fapemig e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D Café), pelo auxílio financeiro ao projeto; à Capes, pelas bolsas concedidas a Antônio Marcos da Silva e Junior César Avanzi; ao CNPq, pelas bolsas concedidas a Marx Leandro Naves Silva, Nilton Curi, José Maria de Lima e Mozart Martins Ferreira.

Referências

BARROWS, H.L.; KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soils by erosion. *Advance Agronomy*, v.15, p.303-317, 1963.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.29, p.1453-1458, 1994.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.485-494, 2004.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.465-471, 2002.

BEZDICEK, D.F.; PAPENDICK, R.I.; LAL, R. Introduction:

importance of soil quality to health and sustainable land management. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.1-8. (SSSA. Special publication, 49).

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.

BONO, J.A.M.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CARVALHO, M.M.; SILVA, M.L.N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. *Pasturas Tropicais*, v.18, p.2-8, 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação; Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEM, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.145-154, 1986.

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C.; ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índice de erosividade de chuvas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, p.236-239, 1982.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1^a aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. *Anais*. Passo Fundo: Embrapa-CNPQ, 1978a. p.75-97.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. II. Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1^a aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. *Anais*. Passo Fundo: Embrapa-CNPQ, 1978b. p.99-107.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.443-461.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.

DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S.; FREITAS, J.E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.265-272, 1986.

DE MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: MANUAL de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas: IAC/SCS, 1994. Não paginado.

ELTZ, F.L.P. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais**. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo – primeira etapa experimental. 1977. 97p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.19, p.319-328, 1960.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.85-90, 1990.
- LIMA, P.M. de P. Índices de erodibilidade diretos e indiretos para dois latossolos do município de Lavras - Minas Gerais. **Ciência e Prática**, v.15, p.186-193, 1991.
- McNEAL, L.; ROLAND, C. Estimations of boundary flow errors in laboratory hydraulic conductivity measurements. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.28, p.713-714, 1964.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERALS, 7., 1958, Washington. **Proceedings**. New York: Pergamon, 1960. p.317-327.
- MUNN, D.A.; McLEAN, E.D.; RAMIREZ, A.; LOGAN, T.J. Effect of soil cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, p.428-431, 1973.
- OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: Funep, 1992. 210p.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- RESCK, D.V.S.; FIGUEIREDO, M. de S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. da. Erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico distrófico fase terraço, localizado na Zona da Mata (MG), determinada com simulador de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.7-14, 1981.
- RESCK, D.V.S.; FIGUEIREDO, M. de S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. da. Intensidade de perdas de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo utilizando-se simulador de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.188-192, 1980.
- RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: MEC: Esal: Potafos, 1988. 83p.
- SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CRUZ FILHO, A.B.; TEIXEIRA, W.G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas e melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.183-189, 1998.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.437-447, 2000.
- SCHUMAN, G.E.; SPOMER, R.G.; PIEST, R.F. Phosphorus losses from four agricultural watersheds on Missouri Valley loess. **Soil Science Society America Proceedings**, v.37, p.424-427, 1973.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.287-291, 1997.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1751-1761, 1994.
- TAN, K.H.; HAJEK, B.F. Thermal analysis of soils. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Mineral in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.865-884.
- TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.C.R.; HERNÁNDES, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, E.G.S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.63-66, 1985.
- WAGNER, C.S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.197-203, 1988.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29-38, 1934.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, v.39, p.285-291, 1958.

Recebido em 8 de dezembro de 2004 e aprovado em 4 de maio de 2005