

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## PERDAS DE ÁGUA, SOLO, MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTE POR EROSÃO HÍDRICA NA CULTURA DO MILHO IMPLANTADA EM ÁREA DE CAMPO NATIVO, INFLUENCIADAS POR MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E TIPOS DE ADUBAÇÃO<sup>(1)</sup>

Luciléia Gilles<sup>(2)</sup>, Neroli Pedro Cogo<sup>(3)(6)</sup>, Carlos Alberto Bissani<sup>(3)</sup>, Tatiane Bagatini<sup>(4)</sup> & Jeane Cruz Portela<sup>(5)</sup>

### RESUMO

Apesar do conhecimento existente sobre a erosão das terras cultivadas, há situações de uso e manejo do solo que necessitam de estudos mais aprimorados. Apoiado nisso, realizou-se esta pesquisa com o objetivo de avaliar a erosão hídrica pluvial do solo na cultura do milho (*Zea mays* L.), implantada em área de campo nativo, nos métodos de preparo escarificação e semeadura direta e nos tipos de adubação mineral (fertilizante contendo N e P) e orgânica (cama seca de aviário). O estudo foi desenvolvido a campo, na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), no verão de 2006/2007, aplicando-se chuva simulada sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico com textura francoarenosa na camada superficial e declividade média de 0,13 m m<sup>-1</sup>. Foram realizados dois testes de erosão na pesquisa, cada um deles na intensidade constante de chuva de 64 mm h<sup>-1</sup> e com duração de 1,5 h, usando-se o aparelho simulador de chuva de braços rotativos. O primeiro teste foi realizado logo após a implantação dos tratamentos, na semeadura do milho, e o segundo 75 dias mais tarde, no florescimento da cultura. Avaliaram-se atributos de solo e planta nas parcelas experimentais e de erosão hídrica no escoamento superficial. Observou-se que o crescimento da cultura e as perdas pela erosão

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada ao PPG Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Apresentada na XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Rio de Janeiro, RJ, 2008, trabalho apresentado com recursos financeiros do Projeto PRONEX CNPq/FAPERGS/Solos e do Auxílio “grant”/CNPq, contando ainda com o apoio de bolsistas de iniciação científica dos Programas PIBIC-CNPq/UFRGS, FAPERGS e CNPq. Recebido para publicação em fevereiro de 2009 e aprovado em julho de 2009.

<sup>(2)</sup> Bióloga, Professora da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Emílio Oscar Hülle. Marechal Floriano (ES); E-mail: leiagilles@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Associados do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). E-mails: neroli@ufrgs.br; carlos.bissani@ufrgs.br

<sup>(4)</sup> Engenheira-Agrônoma, Mestranda em Ciência do Solo, PPGCS/UFRGS. E-mail: tatibagatini@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Doutora em Ciência do Solo, PPGCS, UFRGS. E-mail: jeanecportela@yahoo.com.br

<sup>(6)</sup> Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

foram influenciados pelos tratamentos estudados. O milho cresceu melhor na escarificação, independentemente da adubação. A perda de solo ocorreu somente na escarificação e no primeiro teste de erosão, em quantidade muito pequena, independentemente da adubação. A perda de água, de matéria orgânica e de nutrientes ocorreu em todos os tratamentos e testes de erosão, em quantidades variadas, na maior parte das vezes tendo sido maiores na semeadura direta, independentemente da adubação e do teste de erosão, e muito maiores no primeiro teste, em qualquer um dos tratamentos. O pH da enxurrada variou pouco e não mostrou tendência entre os tratamentos e testes de erosão, enquanto a condutividade elétrica e as concentrações médias de matéria orgânica e de nutrientes variaram amplamente e mostraram tendências claras. Este último aspecto repetiu com as quantidades totais acumuladas de matéria orgânica e nutrientes perdidas pela erosão. As maiores quantidades totais acumuladas de nutrientes perdidas pela erosão foram observadas para o K tanto na adubação mineral quanto na adubação orgânica, para o P na adubação mineral e para o N tanto na adubação mineral quanto na adubação orgânica, nesta ordem de valores decrescentes e todos na semeadura direta. Quantidades totais acumuladas de nutrientes perdidas pela erosão menores do que as recém-mencionadas, porém ainda expressivas, foram observadas para o K praticamente no restante dos tratamentos e para o N na escarificação com adubação orgânica.

**Termos de indexação:** chuva simulada, preparo reduzido do solo, semeadura direta, adubação mineral, adubação orgânica.

**SUMMARY: WATER, SOIL, ORGANIC MATTER, AND NUTRIENT LOSSES BY RAINFALL EROSION FROM AN AREA OF NATIVE PASTURE CROPPED WITH CORN, INFLUENCED BY TILLAGE METHODS AND FERTILIZATION TYPES**

*Despite the available knowledge on erosion of cultivated lands, there are situations of soil use and management that need more detailed studies. Based on that, this research work was accomplished with the objective of evaluating soil erosion by rainfall from an area of native pasture cropped with corn (*Zea mays* L.), under reduced-tillage and no-tillage, and mineral (chemical fertilizer containing N and P) and organic (poultry litter) fertilization. The study was developed in the field, at the Agriculture Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), RS, Brazil, in the summer of 2006/2007, by applying simulated rainfall on an Ultisol having sandy loam texture in the surface layer and 0.13 m m<sup>-1</sup> average slope steepness. Two erosion tests in the research, were performed, each one of them at the constant 64.0 mm h<sup>-1</sup> rainfall intensity and for 1.5 h duration, by using the rotating boom rainfall simulator. The first test was performed soon after treatments establishment, at corn seeding, and the second one 75 days later, at corn tasseling. Soil and plant attributes were evaluated in the experimental plots and those of water erosion in the surface runoff. It was observed that the crop growth and the erosion losses were influenced by the studied treatments. Corn grew better in reduced-tillage, regardless of fertilization type. Soil loss occurred only in reduced-tillage and in the first erosion test, in very small amount, regardless of the fertilization type. Water, organic matter, and nutrients losses occurred in all treatments and erosion tests, in variable amounts, generally being higher in no-tillage and in the first erosion test. The pH of the runoff varied little and no trends in treatments and erosion tests were observed, whereas electric conductivity and mean concentrations of organic matter and nutrients varied widely and clear trends could be observed. This latter aspect repeated with the accumulated total amounts of organic matter and nutrients lost by erosion. The highest accumulated total amounts of nutrients lost by erosion were observed for K in both organic and mineral fertilization, for P in mineral fertilization, and for N in both organic and mineral fertilization, in this decreasing order of values and all under no-tillage. Accumulated total amounts of nutrients lost by erosion lower than the ones just mentioned, but still significant, were observed for K in practically all other treatments and for N under reduced-tillage with organic fertilization.*

*Index terms:* simulated rainfall, reduced-tillage, no-tillage, mineral fertilization, organic fertilization.

## INTRODUÇÃO

Os métodos de preparo do solo variam em extensão de superfície do terreno trabalhada, em profundidade de preparo e em grau de fragmentação da massa de solo mobilizada. Decorrente disso, eles variam quanto à percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais e aos graus de rugosidade (como consequência também de porosidade total da camada preparada) e consolidação superficiais do solo (Burwell et al., 1963, 1966; Burwell & Larson, 1969; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983).

O método convencional de preparo, caracterizado por resultar em toda a extensão da superfície do solo trabalhada, em considerável profundidade de preparo e em elevado grau de fragmentação do volume de solo mobilizado, deixa a superfície do solo praticamente toda descoberta e solta, com grau de rugosidade superficial e valor de porosidade total da camada preparada que variam de médio a baixo, condição que, com o tempo, desfavorece tanto a conservação do solo quanto da água. Por sua vez, o método reduzido de preparo, tendo a escarificação como uma das mais comuns e conhecidas dentre os seus integrantes, resulta em média a baixa extensão de superfície do solo trabalhada, em profundidade de preparo igual ou, até, superior à do preparo convencional, e em médio a baixo grau de fragmentação do volume de solo mobilizado. Isso faz com que esse método ainda apresente boa quantidade de resíduos culturais na superfície do solo e esta fique rugosa, com porosidade total da camada preparada que varia de média a alta, exibindo uma superfície de solo parcialmente solta e parcialmente consolidada (não mobilizada), condições que, com o tempo, favorecem tanto a conservação do solo quanto da água. Por fim, com o mais baixo grau de mobilização do solo, em todos os seus aspectos (extensão de superfície do terreno trabalhada, profundidade de preparo e grau de fragmentação do volume de solo mobilizado), situa-se o método sem preparo do solo ou técnica de semeadura direta/plantio direto. Nesse método, o solo é rompido apenas para se colocar nele as sementes ou mudas/partes vegetativas das plantas, ficando os resíduos culturais remanescentes quase todos na superfície. Esse método é o que apresenta o menor grau de rugosidade superficial e nenhum valor adicional de porosidade total da camada arável, dentre todos, além de resultar em uma superfície de solo geralmente consolidada, condição que, com o tempo, favorece a conservação do solo (ocorre diminuição da sua perda física por erosão), mas, em considerável parte dos casos, desfavorece a conservação da água (ocorre aumento do escoamento superficial ou enxurrada), conforme observado por Bertol (1986), Levien (1999), Streck & Cogo (2003), Cogo & Streck (2003), Volk (2002), Volk et al. (2004) e Castro et al. (2006). Depreende-se dos fatos comentados a necessidade de, às vezes, ter que mobilizar o solo para melhorar as suas condições físicas (externas e internas) para infiltrar água da chuva e, assim, diminuir a sua saída da lavoura na forma de enxurrada.

No que se refere aos nutrientes que se encontram no solo, podem ser removidos pelo processo de erosão hídrica essencialmente de dois modos: adsorvidos às partículas sólidas (minerais e orgânicas) do solo e dissolvidos na água do escoamento superficial. As suas concentrações no material integral da erosão (partículas de solo + água de escoamento superficial), entretanto, variam com o regime de chuva, com o tipo de solo e com os seus teores atuais neste último. Estes teores, para um mesmo local e tipo de solo, variam com as práticas de manejo agrícola empregadas, como os diferentes sistemas de cultivo, métodos de preparo do solo e semeadura das culturas e tipos, quantidades, frequências e formas de aplicação de adubos e corretivos (Barrows & Kilmer, 1963).

De modo destacado, a perda de nutrientes por erosão hídrica é afetada pelo método de preparo do solo empregado no processo de cultivo (Johnson et al., 1979a; Alberts & Moldenhauer, 1981; Schwarz, 1997; Bertol et al., 2007) e pelos seus teores no solo, estes últimos sendo muito dependentes das aplicações de adubos e corretivos, como já abordado, e, especialmente, do emprego de métodos de preparo em que há pouco ou nenhum revolvimento de solo (Eltz et al., 1989; Bertol, 2005). Agrava a situação a ausência, na lavoura, de práticas de controle da erosão de caráter mecânico ou práticas conservacionistas de suporte (práticas complementares de controle da erosão), como os terraços, o preparo do solo e a semeadura das culturas em contorno e as culturas em faixas em contorno, os quais têm a função básica de reduzir o volume e a velocidade da enxurrada e, desse modo, as perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica (Bartz, 2007).

Devido à não mobilização da camada arável, a técnica de semeadura direta normalmente resulta em acúmulo de nutrientes na superfície do solo (Schick et al., 2000), causado pela aplicação superficial de fertilizantes e corretivos ou pela pequena profundidade no solo (Johnson et al., 1979b; Alberts & Moldenhauer, 1981; Schwarz, 1997; Cogo et al., 2003; Muniz Júnior, 2006), e também pela decomposição dos restos culturais que se encontram em superfície (Bertol, 2005). Esses fatos favorecem a concentração de nutrientes na enxurrada. Já o método convencional de preparo, por mobilizar a superfície do solo em toda sua extensão e em considerável profundidade, instantaneamente cria elevada rugosidade superficial ou acentuado micro-relevo e, decorrente disso, elevada porosidade total da camada preparada do solo (Cogo, 1981), podendo substancialmente reduzir o escoamento superficial e as perdas por erosão no curto prazo. Nesse método de preparo, a superfície do solo fica totalmente pré-disposta à formação de selos (Duley, 1939), restringindo muito a infiltração de água e, assim, favorecendo a formação de grandes volumes de enxurrada e ocasionando perdas de solo e de nutrientes por erosão hídrica também em quantidades muito grandes (Macedo et al., 1998). Comparando os métodos de preparo do solo convencional e sem preparo ou

semeadura direta, Hernani et al. (1999) constataram que as concentrações de Ca, P e matéria orgânica foram superiores no sedimento da erosão do primeiro método, enquanto as concentrações de K foram superiores na água da enxurrada do segundo método, confirmando a forte influência do preparo do solo na remoção dos nutrientes das plantas que se encontram no solo, por meio do processo de erosão hídrica pluvial.

Em relação ao tipo de adubação (mineral ou orgânica), Barrows & Kilmer (1963) mencionaram que a utilização de adubos orgânicos, como dejetos de animais, favorece a perda de nutrientes por erosão hídrica, mais do que a utilização de adubos minerais, em virtude da maior facilidade de transporte dos constituintes orgânicos pela enxurrada, motivada pela sua menor densidade e maior concentração em superfície. Assim, Kleinman & Sharpley (2003) observaram que, por pouco tempo após a aplicação de altas doses de esterco, este serviu de proteção física ao impacto das gotas da chuva, impedindo que ele diretamente se manifestasse na superfície do solo, o que diminuiu a desagregação inicial de suas partículas, enquanto, no médio ou longo prazo, a aplicação do referido material proporcionou aumento no teor de matéria orgânica do solo, positivamente influenciando suas propriedades físicas de porosidade, estabilidade de agregados e capacidade de infiltração de água e, assim, reduzindo as perdas por erosão hídrica. Quanto à influência do intervalo das aplicações de esterco e a ocorrência de eventos de chuva, e especificamente no que se refere à concentração de P na água do escoamento superficial, os autores referidos relataram que, pouco tempo após a aplicação do mencionado dejetos, ocorreu um declínio no que se relaciona à facilidade de perda do nutriente em pauta, tendo como causas principais o aumento da sua interatividade com as partículas do solo e a conversão para formas recalcitrantes ou persistentes.

O modo de aplicação e o local e profundidade no solo onde os adubos vão ser colocados também irão influenciar a concentração de nutrientes na enxurrada, dependendo da forma como o solo vai ser manejado, em conjunto com o manejo dos próprios fertilizantes, sendo minerais ou orgânicos. Esse último aspecto é fundamental do ponto de vista de que os nutrientes aplicados por meio das adubações ficam concentrados na superfície do solo, o que facilita suas perdas com material integral da erosão (partículas de solo+água de escoamento superficial), porque a aplicação de corretivos e fertilizantes em superfície irá favorecer a dissolução dos mesmos na água que se encontra retida nas microdepressões de armazenamento superficial e nos resíduos culturais, bem como o seu transporte subsequente via escoamento superficial, o que, sobremaneira, favorece a perda de nutrientes por erosão, mais do que se eles tivessem sido incorporados ao solo (Bertol, 2005). Esse autor, estudando tratamentos de adubação com esterco bovino e com fertilizante NPK, comparou a perda de nutrientes na água do deflúvio superficial, encontrando maior

quantidade, especialmente de P no tratamento com esterco bovino, em função da sua maior concentração neste tipo de adubo e da menor densidade da matéria orgânica. Este fato pode ser explicado pela seletividade do processo erosivo do solo pela água da chuva, o qual, preferencialmente, transporta os sedimentos mais finos (de menor diâmetro) e mais leves (de menor densidade), constituídos, sobretudo, de coloides minerais e orgânicos, os quais, normalmente, são enriquecidos de nutrientes (Bertol et al., 2007).

Decorrente do exposto, claramente percebe-se a necessidade de utilizar práticas de manejo do solo que visem minimizar a sua perda física por erosão e também a perda de água da chuva na forma de enxurrada e, junto com ela, os nutrientes, reduzindo os custos de sua reposição por meio das adubações, o que irá refletir em maior lucratividade da lavoura. De fato, o conhecimento da perda de solo, de água e de nutrientes por erosão constitui uma necessidade básica e permanente na agricultura, uma vez que ele possibilitará a elaboração de planejamentos de uso do solo na propriedade agrícola de forma quantitativa e mais bem sustentada, em base verdadeiramente conservacionista, propiciando melhorias na capacidade produtiva do solo para as culturas e resultando em melhor preservação do ambiente. Resultarão desses fatos, inquestionavelmente, melhor qualidade de vida para todos, mas principalmente do agricultor e sua família, o que justifica a realização de pesquisas como esta, cujo objetivo principal foi quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial e, junto com elas, de matéria orgânica e de nutrientes, em área de campo nativo pela sua primeira vez submetido ao cultivo de milho, empregando-se os métodos de preparo do solo escarificação e semeadura direta e os tipos de adubação mineral e orgânica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento que serviu de base para a elaboração deste trabalho de pesquisa foi instalado na Área Experimental de Erosão com Chuva Simulada IV, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), município de Eldorado do Sul (RS), no verão de 2006/2007. O solo da área experimental encontra-se classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Brasil, 1973; Embrapa, 2006; Streck et al., 2008), contendo 545 g kg<sup>-1</sup> de areia, 305 g kg<sup>-1</sup> de silte e 150 g kg<sup>-1</sup> de argila na camada superficial (textura francoarenosa) e apresentando horizontes diagnósticos A moderado e B textural, profundidade e drenagem moderadas, declividade média de 0,13 m m<sup>-1</sup> e profundidade efetiva inferior a 0,80 m (Lopes, 1984; Streck, 1999).

O terreno escolhido para sediar a referida área experimental se encontrava em campo nativo, predominantemente constituído por gramíneas,

sobressaindo-se a grama forquilha (*Paspalum notatum*). Uma vez escolhida e demarcada a área experimental, a pastagem nativa foi dessecada quimicamente, por meio da aplicação do herbicida glifosato, na dose de 3,5 L ha<sup>-1</sup>, por duas vezes. Transcorrido em torno de 1,5 mês da última dessecação da pastagem nativa, deu-se início à pesquisa propriamente dita.

Os seis tratamentos estudados foram constituídos de métodos de preparo do solo e tipos de adubação, sendo assim caracterizados: (1) escarificação, sem adubação - tratamento testemunha 1 – ESC sem ad. ou T1; (2) escarificação, adubação mineral - ESC ad. min.; (3) escarificação, adubação orgânica - ESC. ad. org.; (4) semeadura direta, sem adubação - tratamento testemunha 2 - SD sem ad. ou T2; (5) semeadura direta, adubação mineral - SD ad. min., e (6) semeadura direta, adubação orgânica - SD ad. org.. Esses tratamentos foram implantados sem repetição, justificado pela falta de espaço físico adequado na área experimental e pelo custo e pela dificuldade de instalação de experimentos dessa natureza, além de razões de caráter operacional no momento. Assim, optou-se, no lugar das repetições, por maior número de tratamentos para aumentar a quantidade de informações no assunto, tendo em vista a escassez das mesmas.

A operação de escarificação foi executada com escarificador de hastes parabólicas, providas de cinco ponteiros estreitas (0,06 m de largura), as quais se encontravam espaçadas uma da outra de 0,45 m e operaram no solo na profundidade de 0,15 m. Este equipamento em sua parte traseira portava rolo-destorroador, com o propósito de dar melhor acabamento à preparação do leito de semeadura da cultura. A semeadura, nos dois tratamentos de preparo do solo, foi executada com máquina semeadora-adubadora de semeadura direta, com discos (duplos) desencontrados, para as funções de corte da palha e colocação das sementes no solo na profundidade de 0,04/0,06 m, seguidos de hastes sulcadoras (0,02 m de largura), as quais operaram no solo na profundidade de 0,06/0,08 m. Essas hastes sulcadoras (também denominadas “facões”) normalmente são usadas com o propósito de colocar o adubo em profundidade no solo; podem variar de 0,06 m a 0,12 m. Neste trabalho, entretanto, tendo em vista que o adubo nos dois tratamentos de preparo do solo foi aplicado manual e superficialmente, a lança, antes do preparo do solo e de semeadura da cultura, os facões serviram apenas para causar alguma mobilização no solo nos tratamentos de semeadura direta, em função de o solo encontrar-se na sua condição original de campo nativo, com a superfície consolidada, e uma mobilização adicional (circunstancial) nos tratamentos de escarificação. O preparo do solo e a semeadura da cultura foram realizados no sentido do declive do terreno, conforme filosofia de obtenção do fator C – cobertura e manejo do solo dos modelos “USLE – Universal Soil Loss Equation” e “RUSLE – Revised

Universal Soil Loss Equation” de predição da erosão hídrica (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).

A planta teste usada no estudo foi o milho (*Zea mays* L.), cultivar AGN 2012, tendo sido utilizadas sementes da safra 2005/2006, com 98 % de pureza, previamente tratadas com produto adequado (imidacropil), semeadas no espaçamento de 0,45 m entre fileiras, o que correspondeu à população aproximada de 71.500 plantas ha<sup>-1</sup>.

A quantidade de adubo usada nos tratamentos foi definida segundo o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2004). Os adubos, tanto mineral quanto orgânico, foram distribuídos manual e superficialmente, a lança, antes do preparo do solo e da semeadura da cultura. Nos tratamentos com adubação mineral, aplicou-se uréia como fonte de N e superfosfato triplo como fonte de P. Não foi usado K nos tratamentos com adubação mineral pois já se encontrava com teor original alto no solo (material de origem constituído de rocha granítica). A dose de N (90 kg ha<sup>-1</sup>) foi dividida em duas aplicações, a primeira por ocasião da implantação da cultura, de 30 kg ha<sup>-1</sup>, e a segunda em cobertura, 40 dias após a semeadura, de 60 kg ha<sup>-1</sup>. Nos tratamentos com adubação orgânica, a dose da cama-de-aviário foi calculada com base no teor total de P contido nela e na dose desse elemento recomendada para a cultura do milho (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A composição química e as quantidades totais de nutrientes aplicadas ao solo por meio dos adubos usados na pesquisa estão no quadro 1.

Antes da instalação dos tratamentos da pesquisa, o solo da área experimental foi caracterizado química e fisicamente. No que se refere às determinações físicas, para a análise da composição granulométrica e do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo, foram coletadas amostras compostas de cada parcela experimental, cada uma constituída de três subamostras, retiradas das camadas de solo de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; e 0,10 a 0,15 m, enquanto para a análise da densidade, da macroporosidade, da microporosidade e da porosidade total do solo coletaram-se duas amostras individuais de cada parcela experimental, retiradas das camadas de solo de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. A composição granulométrica do solo foi determinada pelo método da pipeta, conforme descrito em Embrapa (1997). O diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo foi determinado utilizando-se amostras formadas ainda no campo, com a umidade atual, constituídas de partículas com diâmetro entre 7,93 e 4,76 mm, porém, após terem sido secas ao ar, em laboratório, por cerca de duas semanas. O teor de água no solo nas amostras secas ao ar, para posterior correção da massa de solo utilizada na análise em base de massa seca em estufa, foi determinado pelo método gravimétrico, secando-se porções a 105 °C, durante 24 h. A seguir, utilizou-se a técnica de peneiramento em água para separar os

**Quadro 1. Composição química (base seca) e quantidade total de nutrientes aplicada ao solo por meio dos adubos usados na pesquisa, nos tratamentos estudados**

Nutriente	Cama-de-aviário		Superfosfato triplo		Uréia	
	Teor no material <sup>(1)</sup>	Quantidade aplicada	Teor no material <sup>(2)</sup>	Quantidade aplicada	Teor no material <sup>(2)</sup>	Quantidade aplicada
	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>
N	2,5	102,0	-(3)	-	45,0	90,0
P	1,6	65,1	19,7	70,2	-	-(3)
K	2,2	89,5	-	-	-	-(3)
Ca	1,7	69,1	12	45	-	-(3)
Mg	0,8	32,1	-	-	-	-(3)

<sup>(1)</sup> Valor determinado, com o teor gravimétrico de água do material (seco em estufa a 60 °C) igual a 0,24 kg kg<sup>-1</sup> e valor de neutralização igual a 6 %. <sup>(2)</sup> Valor estimado. <sup>(3)</sup> Valor não determinado.

agregados de solo nas classes de tamanho de 7,93 a 4,76 mm, 4,76 a 2,00 mm, 2,00 a 1,00 mm, 1,00 a 0,50 mm, 0,50 a 0,25 mm e menor do que 0,25 mm, conforme descrita em Yoder (1936) e em Kemper & Chepil (1965). A densidade, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo de cada uma foram determinadas utilizando-se amostras com estrutura não deformada, coletadas em cilindros metálicos com 5,0 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro. A densidade do solo foi determinada seguindo a metodologia descrita em Forsythe (1975), a porosidade total a metodologia descrita em Danielson & Sutherland (1986) e a macroporosidade e a microporosidade por sucção, utilizando-se funil e coluna de água com 0,60 m de altura, conforme descrito em Bouma (1973). No que se refere à caracterização química do solo, foram considerados os atributos usualmente empregados na avaliação do seu estado geral de fertilidade, quais sejam: valor de pH em água e teores de matéria orgânica, P extraível e K, Ca, Mg e Al trocáveis. Para isso, foi coletada uma amostra composta de solo de cada parcela experimental, constituída de seis subamostras, retiradas com trado calador da camada de solo de 0 a 0,10 m. As amostras foram analisadas seguindo o método descrito em Tedesco et al. (1995).

O aparelho simulador de chuva empregado na pesquisa foi o de braços rotativos (Swanson, 1965), o qual possui no seu topo dez braços horizontais giratórios, construídos com ferro galvanizado, com três bicos de aspersão de água (tipo Vee-jet 80/100) em cada braço. Este aparelho distribui uniforme e simultaneamente gotas de água em forma de chuva (jato em leque ou V-invertido) sobre duas unidades experimentais ou parcelas de erosão, com 3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento cada uma, sendo a maior dimensão disposta no sentido da pendente do terreno. Foram realizados dois testes de erosão com chuva simulada no estudo, ambos com a intensidade de 64,0 mm h<sup>-1</sup> e com duração de 1,5 h. O primeiro teste foi realizado logo após a implantação dos

tratamentos e da semeadura do milho, em janeiro de 2007, e o segundo 75 dias mais tarde, no estágio de florescimento da cultura, em abril de 2007.

Cinco dias antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada, foi feita nova amostragem de solo nas parcelas experimentais. Dessa vez, foram determinadas a densidade, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo na sua camada de 0 a 0,10 m, bem como o pH em água, o P extraível, o K, o Ca, o Mg e o Al trocáveis, a capacidade de troca de cátions e a saturação por bases, além do teor de matéria, nas camadas de solo de 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, empregando-se as mesmas metodologias referidas anteriormente. Nessa mesma época, foram também avaliados alguns atributos de planta, como altura média, biomassa aérea (dossel) e biomassa subterrânea (raízes). A altura média de plantas foi determinada com fita métrica, medindo-se dez plantas representativas da cultura em cada parcela experimental, e posteriormente usando-se a média aritmética das leituras como valor de referência. A medição da biomassa aérea foi efetuada por meio da coleta de plantas representativas da cultura de uma área de 1,0 m<sup>2</sup>, dentro de cada parcela experimental, desconsiderando-se o peso das espigas, as quais foram pesadas separadamente. As amostras de planta foram secas em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. A medição da biomassa subterrânea (raízes) foi efetuada por meio da coleta de amostras compostas de solo, cada uma constituída de seis subamostras, utilizando-se trado de aço com 4,1 cm de diâmetro, retiradas das camadas de solo de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. As subamostras foram coletadas próximas às plantas de milho, sendo duas subamostras na linha das plantas (entre plantas) e quatro na região da entrelinhas (duas de cada lado da planta). No momento da coleta dessas amostras, observou-se grande quantidade de raízes (mortas) das gramíneas que constituíam a pastagem nativa da área experimental, junto às raízes de milho, notadamente nos tratamentos de semeadura direta. As amostras

de solo contendo raízes foram levadas ao laboratório e secas ao ar. Após secagem, foram destorroadas manualmente, sob jato de água de torneira sobre peneira com malha de 0,5 cm, lavando-se e separando-se as raízes de milho da massa de solo que as envolvia. Em seguida, as raízes de milho foram secas em estufa com ventilação forçada, a 60 °C, por 24 a 48 h.

A perda total de água da chuva na forma de enxurrada foi obtida integrando-se os valores observados da taxa de descarga da enxurrada, obtidos no campo, com proveta graduada e cronômetro, a cada três minutos, conforme se encontra descrito em Cogo (1981), com os cálculos tendo sido efetuados por meio do uso do programa PEDEROSÃO, desenvolvido (e gentilmente cedido) pelo professor Elemar Antonino Cassol, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. A perda total de solo por erosão (base de massa seca em estufa a 60°C) foi obtida integrando-se os valores do resultado da multiplicação dos valores observados da taxa de descarga da enxurrada pelos da concentração de sedimentos nela (também avaliados a cada três minutos, em amostras coletadas em potes plásticos com capacidade de armazenamento de 1 L cada um, tendo sido usado alúmen de K comercial a 2 % para precipitar os sedimentos), obtidos ao longo das chuvas simuladas, também conforme se encontra descrito em Cogo (1981) e utilizando-se o mesmo programa há pouco mencionado (PEDEROSÃO). Para a caracterização química do material integral da erosão (partículas de solo + água de escoamento superficial), foram coletadas, a partir do início da enxurrada, a cada 15 min, amostras de 1 L, constituídas de cinco subamostras de 200 mL cada uma, coletadas a cada três minutos durante 1 h (obtiveram-se quatro amostras deste tipo em cada evento de chuva). Imediatamente após a coleta, foram determinados o pH e a condutividade elétrica da enxurrada e, mais tarde, em laboratório, os teores totais de matéria

orgânica, N, P, K, Ca e Mg, usando-se as metodologias descritas em Tedesco et al. (1995). As perdas totais finais de matéria orgânica e de nutrientes por erosão foram calculadas multiplicando-se as suas concentrações médias na enxurrada (obtidas com base nas quatro amostras coletadas em cada simulação de chuva) pelo volume total desta última.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando as características físicas originais do solo (condição de campo nativo), avaliadas em cada local, onde um pouco mais tarde foram instaladas as parcelas experimentais designadas aos tratamentos da pesquisa, com as de 75 dias após a implantação destes últimos (Quadro 2), verifica-se que foram influenciadas mais pelos tratamentos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura do que pelos de adubação, como esperado. Assim, observou-se que a densidade do solo se encontrava com valor menor nos tratamentos com escarificação do que naqueles com semeadura direta, o que refletiu em valores maiores de macroporosidade e de porosidade total, explicado pelo fato de terem sofrido maior mobilização do solo por ocasião da implantação do milho na área experimental (Figura 1). Observou-se ainda que, de modo geral, a densidade do solo se encontrava com valor maior, e a macroporosidade e a porosidade total com valores menores quando se efetuou a primeira caracterização física do solo, pouco antes do início do experimento propriamente dito. Essa alteração (positiva) nos valores das variáveis mencionadas pode ser creditada à mudança no tipo de uso do solo da área experimental (de campo nativo para cultura anual em fileira), por meio tanto do cultivo em si quanto dos métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura e, também, em algum grau, dos tipos de

**Quadro 2. Características físicas do solo na sua camada superficial (0 a 0,10 m) em dois momentos da pesquisa**

Tratamento	DMP <sup>(1)</sup>	DS <sup>(2)</sup>	Porosidade do solo		
			Macro	Micro	Total
	mm	kg dm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
		Condição original de campo nativo (semeadura do milho)			
Campo nativo	4,88	1,52	0,10	0,32	0,42
		75 dias após a semeadura do milho (pendoamento da cultura)			
ESC. sem ad.	-( <sup>3</sup> )	1,21	0,16	0,33	0,49
ESC. ad. min.	-	1,36	0,11	0,33	0,44
ESC. ad. org.	-	1,24	0,17	0,34	0,51
SD sem ad.	-	1,41	0,08	0,36	0,44
SD ad. min.	-	1,46	0,11	0,31	0,41
SD ad. org.	-	1,54	0,11	0,32	0,43

<sup>(1)</sup> Diâmetro médio ponderado dos agregados. <sup>(2)</sup> Densidade do solo. <sup>(3)</sup> Não determinado.



**Figura 1. Vista detalhada da superfície do solo nos tratamentos de preparo, imediatamente após sua implantação, antes da realização do primeiro teste de erosão com chuva simulada (obs.: a imagem da esquerda corresponde à semeadura direta e a da direita à escarificação).**

adubação empregados na pesquisa, causando melhoria na estrutura do solo, comparada à que ele tinha quando se encontrava na sua condição original de campo nativo, o que pode ser denominado efeito combinado de variáveis, conforme também observado por Santos et al. (2008). Essas novas características físicas do solo afetaram na mesma direção os valores dos atributos de planta e erosão hídrica medidos no estudo, como será visto adiante. Os dados apresentados no quadro 2 constituem importante base de apoio para explicar diferenças nos valores dos atributos de planta e erosão hídrica associados ao segundo teste de erosão com chuva simulada.

Comparando as características químicas originais do solo com as de 75 dias mais tarde, no estágio de pendoamento do milho (Quadro 3), verifica-se que, em geral, os valores do pH e os teores da matéria orgânica, do P extraível e do Ca e do Mg trocáveis tenderam a aumentar com o cultivo do solo. Já o teor do K diminuiu, o que pode ser atribuído à sua absorção pelas plantas em quantidades relativamente grandes. O

aumento do pH e dos teores dos demais nutrientes, motivados pelo cultivo, pode ser considerado consequência, ao menos temporariamente, da decomposição dos restos vegetais da pastagem nativa que havia na área experimental, conforme também observado por Silva et al. (2006) em seu estudo, além do efeito da adubação. Como geralmente encontrado na literatura, as alterações mais evidentes nas características químicas do solo se dão na sua camada mais próxima da superfície (0 a 0,10 m), na qual também se constatou tendência de aumento do teor da matéria orgânica com a introdução do milho na área experimental (Quadro 3).

Os atributos de planta (altura média, biomassa aérea, biomassa subterrânea), avaliados 75 dias após a implantação dos tratamentos (estádio de pendoamento do milho), correspondendo a cinco dias antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada, são apresentados no quadro 4. Analisando os resultados, verifica-se que também foram influenciados pelos tratamentos estudados, no que diz respeito tanto aos métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura, quanto aos tipos de adubação, como será discutido a seguir.

A altura média das plantas de milho foi a mais baixa nos tratamentos testemunhas (sem adubação) e a mais alta nos tratamentos com adubação mineral, independente do método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura, com superioridade, entretanto, da escarificação sobre a semeadura direta (Figura 2). A maior altura média das plantas nos tratamentos com escarificação pode ser explicada pelo fato de que, quando o solo é mobilizado, a infiltração de água é aumentada, elevando o seu teor no solo para posterior aproveitamento pelas plantas, o que favorece seu crescimento (Trouse, 1971). Além disso, a mobilização do solo aumenta a sua capacidade de aeração, pela criação de maior volume de macroporos, e diminui a

**Quadro 3. Características químicas do solo na sua camada superficial (0 a 0,10 m) em dois momentos da pesquisa**

Tratamento	pH <sup>(1)</sup>	MO <sup>(2)</sup>	P <sup>(3)</sup>	K <sup>(3)</sup>	Ca <sup>2+</sup> (4)	Mg <sup>2+</sup> (4)
		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
		Condição inicial de campo nativo (semeadura do milho)				
Campo nativo	5,2	29	1,7	139	1,9	1,2
		75 dias após a semeadura do milho (pendoamento da cultura)				
ESC. sem ad.	5,6	42	4,2	159	2,9	1,7
ESC. ad. min.	5,3	34	10,7	111	2,3	1,3
ESC. ad. org.	5,4	35	3,7	161	2,3	1,3
SD sem ad.	5,3	47	3,7	167	2,7	1,7
SD ad. min.	5,1	32	5,3	113	1,9	1,3
SD ad. org.	5,7	31	4,5	189	2,5	1,5

<sup>(1)</sup> Determinado em água. <sup>(2)</sup> Matéria orgânica do solo. <sup>(3)</sup> Fósforo e potássio disponíveis (Mehlich-1). <sup>(4)</sup> Cálcio e magnésio trocáveis.



**Figura 2. Vista geral dos tratamentos na área experimental aos 75 dias de sua implantação, antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada (obs.: da esquerda para a direita, são os seguintes os tratamentos em visualização: semeadura direta com adubação orgânica, escarificação com adubação orgânica, semeadura direta com adubação mineral, escarificação com adubação mineral, semeadura direta sem adubação – tratamento testemunha 2 – e escarificação sem adubação – tratamento testemunha 1).**

sua densidade global, o que reflete em menor limitação física ao crescimento das raízes das plantas (Beltrame & Taylor, 1980), além de parcialmente incorporar os adubos que lhe são adicionados, fatos que, em conjunto, favorecem o desenvolvimento das culturas. A maior altura média das plantas de milho nos tratamentos com adubação mineral pode ser explicada pela sua maior facilidade em dispor dos nutrientes que são fornecidos via este tipo de adubação, principalmente o N e o P, uma vez que são prontamente disponibilizados (Primavesi & Heller, 1982).

A biomassa aérea ou dossel apresentou comportamento similar ao da altura média das plantas, sendo a menor nos tratamentos sem adubação e a maior nos tratamentos com adubação mineral, em ambos os métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura, e, também, maior na escarificação do que na semeadura direta (Quadro 4). Esses fatos podem ser explicados pelas mesmas razões usadas antes na explicação das diferenças entre as alturas médias das plantas, tendo em vista que a quantidade de massa da parte aérea é proporcional à sua altura.

No que se refere à biomassa subterrânea (raízes), é preciso esclarecer que os valores apresentados no quadro 4 sofreram influência, em grau não sabido e, provavelmente, variado, da massa de raízes mortas das espécies vegetais que compunham a pastagem nativa que havia na área experimental e que havia sido dessecada há, aproximadamente, três meses, especialmente nos tratamentos testemunha e na primeira camada avaliada do solo (0 a 0,10 m), em ambos os métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura. Esse efeito mascarou os valores da variável em questão no que diz respeito à quantidade de massa de somente raízes de milho, fazendo com que os mesmos, de certa forma, resultassem discrepantes e não uniformes na referida camada do solo (0 a 0,10 m), de modo geral em todos os tratamentos estudados. Na segunda camada de solo avaliada (0,10 a 0,20 m), entretanto, onde a influência das raízes mortas da pastagem nativa dessecada foi menor, verificou-se que, exceto os tratamentos testemunhas (sem adubação), que apresentaram valores discrepantes (próximos e, mesmo, superiores aos tratamentos com adubação), a biomassa subterrânea do milho apresentou o mesmo comportamento da altura média das plantas e da biomassa aérea, com a maior quantidade das raízes estando associada aos tratamentos com escarificação e com adubação mineral, comparada à dos tratamentos com semeadura direta e com adubação orgânica. Esse comportamento também pode ser justificado pelas mesmas razões que explicaram as diferenças entre as alturas médias das plantas.

No que diz respeito aos valores da razão entre as massas das raízes de milho nas camadas de solo de 0,10 a 0,20 m e 0 a 0,10 m (Quadro 4), podem, em geral, ser considerados normais, com 65 a 70 % dos seus totais encontrados na camada mais superficial do solo (0 a 0,10 m), proporções que estão de acordo com as encontradas por Cogo & Streck (2003) e Volk et al. (2004), respectivamente para raízes de pastagem nativa dessecada e de milho (exatamente as mesmas culturas envolvidas nesta pesquisa). Observou-se também que os maiores valores da razão estiveram

**Quadro 4. Atributos de planta avaliados aos 75 dias da semeadura do milho, nos tratamentos estudados**

Tratamento	Altura média de planta	Biomassa aérea ou dossel (seca a 60 °C)	Biomassa subterrânea ou raízes (seca a 60 °C)			Razão 0,10-0,20 m/0-0,10 m
			0-0,10 m	0,10-0,20 m	0-0,20 m	
	m		kg ha <sup>-1</sup>			
ESC. sem ad.	1,65	3.704	12.767	4.190	16.957	0,33
ESC. ad. min.	2,31	10.839	9.421	4.480	13.901	0,48
ESC. ad. org.	2,19	9.395	12.262	2.294	14.556	0,19
SD sem ad.	1,43	3.244	10.265	2.765	13.030	0,27
SD ad. min.	2,26	8.344	9.130	3.352	12.482	0,37
SD ad. org.	1,89	8.069	9.075	2.548	11.623	0,28

associados aos tratamentos que receberam adubação mineral, com certa superioridade, mais uma vez, da escarificação (razão igual a 0,48) sobre a semeadura direta (razão igual a 0,37).

Quanto à perda total da água da chuva na forma de enxurrada (PTA - Quadro 5), em geral foi bem maior no primeiro teste de erosão do que no segundo em todos os tratamentos, e, em qualquer um dos testes de erosão, maior na semeadura direta do que na escarificação, independente do tipo de adubação. Em relação à influência desse último, observa-se que, na escarificação, a perda total de água foi maior nos tratamentos com adubação orgânica em relação aos com adubação mineral, mas não em relação aos tratamentos sem adubação, tanto no primeiro quanto no segundo teste de erosão. Porém, o inverso ocorreu na semeadura direta, mas também somente em relação aos tratamentos com adubação, já que nos tratamentos sem adubação também ocorreu a maior perda total de água. As explicações prováveis para esses fatos estão associadas à rugosidade superficial do solo e, em decorrência, à porosidade total da sua camada preparada, ambas maiores na escarificação do que na semeadura direta, bem como à consolidação da superfície do solo, presente na semeadura direta e ausente na escarificação, diferenças que determinaram maior infiltração de água nesta última, mesmo que a sua cobertura superficial do solo tivesse sido menor do que a da semeadura direta. Permanece

sem uma explicação lógica, contudo, o comportamento inverso dos tratamentos de preparo do solo no que se refere aos tratamentos com adubação, em que a perda de água da chuva na forma de enxurrada na escarificação foi maior naqueles com adubação orgânica e na semeadura direta naqueles com adubação mineral nos dois testes de erosão.

A perda total de solo pela erosão (PTS - Quadro 5), como esperado, ocorreu somente nos tratamentos com escarificação e na primeira aplicação de chuva simulada, porém em quantidade muito pequena, praticamente sem significado do ponto de vista de redução da capacidade produtiva do solo para as culturas. A ausência de perda de solo nos tratamentos com semeadura direta, nos dois testes de erosão, foi devida à cobertura integral do solo (100 %, desde o início do experimento), constituída do resíduo cultural da pastagem nativa dessecada, adicionada da cobertura viva fornecida pelo dossel das plantas de milho (influyente somente no segundo teste de chuva, entretanto), mais o efeito da consolidação da superfície do solo, fatos esses que, em conjunto, fizeram com que a semeadura direta praticamente resistisse totalmente ao processo erosivo em si. Por sua vez, a ausência de perda de solo nos tratamentos com escarificação no segundo teste de erosão foi devida a ambos, aumento da cobertura superficial do solo em relação à do início do experimento, em função do surgimento de vegetação espontânea nas parcelas

**Quadro 5. Perdas totais de água, solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica pluvial, nos tratamentos estudados**

Tratamento	PTA <sup>(1)</sup>	PTS <sup>(2)</sup>	MO	N <sup>(3)</sup>	P <sup>(3)</sup>	K <sup>(3)</sup>	Ca <sup>(3)</sup>	Mg <sup>(3)</sup>
	% chuva		kg ha <sup>-1</sup>					
	Teste 1 – início da pesquisa (semeadura do milho)							
ESC. sem ad.	49	97	20,39	2,01	0,16	5,95	0,96	0,67
ESC. ad. min.	16	54	8,17	0,98	1,39	1,96	0,52	0,30
ESC. ad. org.	26	94	21,05	4,32	0,60	7,74	1,20	0,79
SD sem ad.	71	- <sup>(4)</sup>	33,32	2,25	0,18	6,33	0,73	0,56
SD ad. min.	43	-	26,45	5,06	8,59	7,05	1,94	1,10
SD ad. org.	34	-	37,45	6,17	1,89	13,19	1,14	0,86
	Teste 2 – 75 dias após a semeadura do milho (estádio de pendoamento)							
ESC. sem ad.	18	-	1,31	0,27	0,03	0,4	0,22	0,12
ESC. ad. min.	8	-	1,06	0,17	0,03	0,52	0,11	0,06
ESC. ad. org.	19	-	2,41	0,30	0,04	0,78	0,28	0,17
SD sem ad.	46	-	4,01	0,85	0,07	1,40	0,63	0,36
SD ad. min.	23	-	3,38	0,47	0,11	1,69	0,36	0,21
SD ad. org.	14	-	1,53	0,23	0,06	0,87	0,22	0,14
	Somatório dos testes de chuva (Teste 1+Teste 2)							
ESC. sem ad.	33	97	21,69	2,28	0,19	6,35	1,18	0,79
ESC. ad. min.	12	54	9,23	1,15	1,42	2,48	0,63	0,36
ESC. ad. org.	23	94	23,46	4,62	0,64	8,52	1,48	0,96
SD sem ad.	59	-	37,33	3,10	0,25	7,73	1,36	0,92
SD ad. min.	33	-	29,83	5,53	8,70	8,74	2,30	1,31
SD ad. org.	24	-	38,98	6,40	1,95	14,06	1,36	1,00

<sup>(1)</sup> Perda total de água. <sup>(2)</sup> Perda total de solo. <sup>(3)</sup> Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais. <sup>(4)</sup> A perda de solo foi tão pequena que não pôde ser mensurada.

experimentais (isso também ocorreu nos tratamentos com semeadura direta, entretanto), e formação de cobertura viva pelo dossel das plantas de milho, integralmente protegendo o solo da ação erosiva no aludido teste.

A pequena perda de solo ocorrida nos tratamentos com escarificação no primeiro teste de erosão, em que pese o valor médio da sua cobertura superficial (40 %) ter ficado bem abaixo do da semeadura direta (100 %), deveu-se às melhores condições físicas para reter e infiltrar água da chuva superficialmente, em função da sua relativamente alta rugosidade superficial (também alta porosidade total da camada preparada), causada pela mobilização parcial do solo (em faixas), quando da passagem das hastes do equipamento escarificador. Esse fato compensou a perda de cobertura superficial nos tratamentos em consideração, causada pela mobilização do solo, no que se refere à ocorrência do processo erosivo, com as partículas desagregadas do solo sendo retidas nas microdepressões de armazenamento superficial, determinadas pela rugosidade superficial do solo.

Em relação às perdas totais acumuladas de matéria orgânica e de nutrientes pela erosão (Quadro 5), verificou-se que foram bastante afetadas pelos tratamentos estudados, nos dois testes de erosão, com diferenças expressivas também entre esses últimos. Basicamente, isso se deveu ao fato de os tratamentos afetaram tanto as concentrações médias dos referidos constituintes na enxurrada quanto o volume total desta (Gilles, 2008). Verificou-se também que as perdas totais acumuladas da matéria orgânica, do N, do P, do K, do Ca e do Mg foram maiores nos tratamentos com semeadura direta, nos dois testes de erosão, mas com as do Ca e do Mg, em geral, menores do que as dos demais nutrientes. Comparando os resultados entre os dois testes de erosão, verifica-se que as maiores perdas totais acumuladas da matéria orgânica e dos nutrientes ocorreram no primeiro deles, efetuado logo após a implantação dos tratamentos e da semeadura do milho, provavelmente devido às suas maiores concentrações em superfície nessa época (Gilles, 2008), bem como às menores percentagens da cobertura superficial do solo e às maiores perdas totais da água da chuva, comparado ao segundo teste de erosão, além da ausência de plantas em crescimento no primeiro teste. Ainda no quadro 5 observa-se que, no primeiro teste de erosão, as maiores perdas da matéria orgânica e dos nutrientes ocorreram nos tratamentos com semeadura direta, independente do tipo de adubação, e, no que se refere à influência deste último, as maiores perdas ocorreram com a matéria orgânica, o N, o Ca e o Mg nos tratamentos com adubação orgânica e com o P e o K nos tratamentos com adubação mineral. No segundo teste de erosão, as maiores perdas da matéria orgânica e dos nutrientes também ocorreram nos tratamentos com semeadura direta, porém, ao se comparar a influência dos tipos de adubação, percebeu-se que, nos tratamentos com escarificação, houve maior perda dos nutrientes na adubação orgânica,

enquanto nos tratamentos com semeadura direta nos sem adubação (testemunhas). Isso pode ser atribuído à maior consolidação da superfície do solo na semeadura direta, verificada antes mesmo da semeadura do milho, e, por conseguinte, maior perda total da água da chuva na forma de enxurrada.

Para finalizar, merece destaque as altas quantidades totais acumuladas perdidas pela erosão do K, tanto na adubação mineral (8,74 kg ha<sup>-1</sup>) quanto na adubação orgânica (14,06 kg ha<sup>-1</sup>), do P, na adubação mineral (8,70 kg ha<sup>-1</sup>), e do N tanto na adubação mineral (5,53 kg ha<sup>-1</sup>) quanto na adubação orgânica (6,40 kg ha<sup>-1</sup>), e todos eles na semeadura direta (Quadro 5). Em relação à matéria orgânica, percebeu-se que a sua perda foi variada e, possivelmente, influenciada pelo seu conteúdo também variado no solo, concordando com Schaefer et al. (2002), que observaram variações de 17,5 kg ha<sup>-1</sup> a 64,2 kg ha<sup>-1</sup> na quantidade total de matéria orgânica perdida pela erosão, em diferentes situações de cobertura do solo.

Os resultados apresentados e discutidos denotam bem o potencial da perda da matéria orgânica e dos nutrientes que se encontram no solo pelo processo de erosão hídrica pluvial, tendo em vista que foram originados de apenas dois eventos isolados, e distanciados de chuva quando, na situação real de tempo, no longo prazo e nas condições reais de lavoura, eles podem ocorrer em magnitudes ainda maiores, devido à frequência e à severidade das chuvas naturais. Nessa mesma direção, devido às peculiaridades do local (tipo de solo) e da região (tipo de clima) onde foi realizada a pesquisa, e tendo em vista que os resultados apresentados são do seu primeiro ano de condução, recomenda-se pensar, com cautela nas conclusões a seguir, porquanto é necessário prosseguir o estudo, especialmente aprofundando-se no que se refere à avaliação da perda da matéria orgânica e dos nutrientes que se encontram no solo, via erosão hídrica pluvial.

## CONCLUSÕES

1. Os métodos de preparo do solo e os tipos de adubação usados na implantação do milho sobre campo nativo influenciaram o crescimento da cultura e as perdas pela erosão.

2. O milho cresceu melhor na escarificação, a qual também foi eficaz no controle da perda de água, de matéria orgânica e de nutrientes pela erosão, ficando a semeadura direta como a mais eficaz no controle da perda de solo, de modo geral em todos os casos independentemente da adubação.

3. O pH da enxurrada variou pouco e não mostrou tendência entre os tratamentos e testes de chuva, enquanto a condutividade elétrica e as concentrações médias de matéria orgânica e de nutrientes variaram amplamente e mostraram tendências claras, este

último aspecto repetindo-se com as quantidades totais acumuladas dos referidos constituintes perdidas pela erosão.

4. As maiores quantidades totais acumuladas de nutrientes perdidas pela erosão foram observadas para o K tanto na adubação orgânica quanto na adubação mineral, para o P na adubação mineral e para o N tanto na adubação orgânica quanto na adubação mineral, nesta ordem de valores decrescentes e todos na semeadura direta.

5. Quantidades totais acumuladas de nutrientes perdidas pela erosão menores do que as mencionadas acima, porém ainda expressivas, foram observadas para o K praticamente no restante dos tratamentos e para o N na escarificação com adubação orgânica.

### LITERATURA CITADA

- ALBERTS, E.E. & MOLDANHAUER, W.C. Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:391-396, 1981.
- BARTZ, H.R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. Unid. de Educacion Permanente, Universidad de la Republica. Disponível em: <<http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra6.htm>>. Acesso em: 2 de out. de 2007.
- BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soils by water erosion. *Adv. Agron.*, 15:303-316, 1963.
- BELTRAME, L.F.S. & TAYLOR, P.L. Causas e efeitos da compactação do solo. *Lav. Arroz.*, 33:59-62, 1980.
- BERTOL, I. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduos culturais de trigo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 148p. (Tese de Mestrado)
- BERTOL, O.J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 208p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A.P. & VÁZQUEZ, E.V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:103-110, 2007.
- BOUMA, J. Guide to the study of water movement in soil pedons above the water table. Madison, University of Wisconsin, 1973. 194p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico)
- BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R. & AMEMIYA, M. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27:696-700, 1963.
- BURWELL, R.E.; ALEMARAS, R.R. & SLONEKER, L.L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. *J. Soil Water Conserv.*, 21:61-64, 1966.
- BURWELL, R.E. & LARSON, W.E. Infiltration as influenced by tillage - induced random roughness and pore space. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:449-452, 1969.
- CASTRO, L.G.; COGO, N.P. & VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:339-352, 2006.
- 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.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1005-1008, 1983.
- COGO, N.P. & STRECK, E.V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:153-164, 2003.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.
- COMISSAO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem dos estados do RS e SC. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. Part I. p.443-461.
- DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R. Estimating the cover-management factor (C) in the soil loss equation for forest conditions. *J. Soil Water Conserv.*, 36:235-240, 1981.
- DULEY, F.L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 4:60-64, 1939.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13-02:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FORSYTHE, W. Física de solos: Manual de laboratório. San José, IICA, 1975. 212p.

- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.A. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. R. Bras. Ci. Solo, 23:145-154, 1999.
- GILLES, L. Perdas por erosão na cultura do milho implantada sobre campo nativo, relacionadas com métodos de preparo do solo e tipos de adubação. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 88p. (Tese de Mestrado)
- JOHNSON, C.B.; MANNERING, J.V. & MOLDENHAUER, W.C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. Soil Sci. Soc. Am. J., 43:772-777, 1979a.
- JOHNSON, H.P.; BAKER, J.L.; SHRADER, W.D. & LAFLEN, J.M. Tillage system effects on sediment and nutrients in runoff from small watersheds. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 22:1110-1114, 1979b.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics, measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLEINMAN, P.J.A. & SHARPLEY, A.N. Effect of broadcast manure on runoff phosphorus concentrations over successive rainfall events. J. Environ. Quality, 32:1072-1081, 2003.
- LEVIEN, R. Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.). Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 1999. 305p. (Tese de Doutorado)
- LOPES, P.R.C. Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. 116p. (Tese de Mestrado)
- MUNIZ JUNIOR, A.S. Formas de aplicação e eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados acidulados. São Paulo, Serrana Fertilizantes, 2006. Não paginado. (Boletim Informativo)
- MACEDO, A.; CRESTANA, S. & VAZ, C.M.P. X ray microtomography to investigate thin layers of soil clod. Soil Tillage Res., 49:249-253, 1998.
- PRIMAVESI, O. & HELLER, E.A. Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto. São Paulo, BASF Brasileira, 1982 (Boletim Técnico)
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K. & YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, U.S. Department of Agriculture, 1997. 384p. (Agriculture Handbook, 703)
- SANTOS, D.T.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C.; CARASSAI, I.J. & GOMES, L.H. Eficiência bioeconômica da adubação de pastagem natural no sul do Brasil. Ci. Rural, 38:437-444, 2008.
- SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. & ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, material orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Pesq. Agropec. Bras., 37:669-678, 2002.
- 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, 2000.
- 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 do Rio Grande do Sul, 1997.131p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. & CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2006. p.63-90.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N. & KLAMT, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Inf. Emater/RS/Série: Solos, 16:1-5, 1999.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. & SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Emater/RS/UFGRS, 2008.
- STRECK, E.V. & COGO, N.P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. R. Bras. Ci. Solo, 27:141-152, 2003.
- SWANSON, N.P. A rotating – boom Rainfall Simulador. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 26:1738-1743, 1965.
- 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.
- TROUSE, A.C. Soil condition as they affect plant establishment, root development, and yield. In: BARNES, K.K. Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. p.225-306.
- VOLK, L.B.S. Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 68p. (Tese de Mestrado)
- VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. R. Bras. Ci. Solo, 28:763-774, 2004.

- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28:337-357, 1936.