

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**PERDAS POR EROSÃO NA CULTURA DO MILHO IMPLANTADA SOBRE  
CAMPO NATIVO, RELACIONADAS COM MÉTODOS DE PREPARO DO  
SOLO E TIPOS DE ADUBAÇÃO**

Luciléia Gilles  
Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**PERDAS POR EROSÃO NA CULTURA DO MILHO IMPLANTADA SOBRE  
CAMPO NATIVO, RELACIONADAS COM MÉTODOS DE PREPARO DO  
SOLO E TIPOS DE ADUBAÇÃO**

Luciléia Gilles  
Bióloga (UFES)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Março de 2008



Aos que amo;  
que sorriem comigo,  
... e também choram;  
que torcem por tudo que penso ou faço,  
... embora nem sempre concordem;  
que me acolhem e confortam:  
*Família!*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Neroli Pedro Cogo, pela orientação, dedicação, incentivo e, em especial, carinho e amizade.

Ao professor Carlos Alberto Bissani, pela co-orientação, a qual permitiu acrescentar uma visão interdisciplinar na minha formação acadêmica.

Aos profissionais de educação que passaram pela minha vida escolar, os quais, apesar das dificuldades enfrentadas e da falta de incentivo para a formação dos seus alunos, contribuíram muito para a minha formação pessoal e profissional.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Faculdade de Agronomia (FA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela transmissão de conhecimentos, paciência e disponibilidade, bem como pela convivência e amizade.

Ao PPGCS e ao Departamento de Solos da FA/UFRGS, pela oportunidade para a realização do curso e pelas facilidades concedidas.

À Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), especialmente o seu diretor, professor Carlos Ricardo Trein, por disponibilizar toda a sua infra-estrutura e todas as suas facilidades.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Projeto PRONEX-FAPERGS e ao CNPq (Auxílio “grant” do orientador), indistintamente, pela concessão do apoio financeiro.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa em erosão do solo, André Júlio do Amaral e Jeane Cruz Portela, alunos de pós-graduação (doutorado), e Juliana Pardo Chagas, Tatiane Bagatini e Gustavo Portz, alunos de graduação (iniciação científica), pela presença e empenho, constantes, nos trabalhos de campo e laboratório. Nos momentos mais difíceis do trabalho, decorrentes do tipo de pesquisa que desenvolvemos, mesmo quando parecia que tudo ia dar errado, vocês sempre estiveram presentes, e, apesar das nossas diferenças em estilo e personalidade, o espírito de trabalho em equipe e o otimismo sempre prevaleceram.

Aos demais colegas e amigos do PPGCS/UFRGS, por repartirem expectativas, objetivos, anseios, saudades, sonhos e tantas outras coisas mais,

mas, acima de tudo, por compartilharem essa oportunidade única de convivência.

Aos funcionários da EEA/UFRGS, senhores Ozébio, Celso, Paulo Lima e Ronaldo, e dos laboratórios de pesquisa e da casa-de-vegetação do DS/FA/UFRGS, respectivamente, senhores Adão, Antônio (Tonho) e Márcio e José (Zé), pelo incondicional e irrestrito apoio e pela amizade.

Em caráter muito especial, aos meus pais, Albina Pellanda Gilles e Ricardo Gilles, por me propiciarem a oportunidade de estudar, abrindo mão da convivência familiar, mas, mesmo assim, sempre confiando em mim e me apoiando nas horas mais difíceis.

Ainda em caráter especial, aos meus familiares, Luciene, Lucimar, Luiz Édio, Laélcio, Rogério, Maria José, Eliana, Luciana, Rodrigo, Gabriela, Laysa, Camila e Maria Eduarda, pelas suas existências e importâncias em minha vida e pelo apoio incondicional e irrestrito.

Aos meus muitos outros amigos e amigas, do Espírito Santo e de outros estados, da Biologia, da Agronomia, da Geografia e de outros cursos e profissões (não citei seus nomes, mas, saibam que lembrei de vocês neste momento), pelo incentivo na busca dos meus objetivos e pelo ombro amigo, sempre que necessário.

Em particular, aos meus amigos de convívio domiciliar em Porto Alegre, Circe Inês Dietz, Eliane Melara, Jodival Maurício da Costa, Mercedes Antônia Giacomini e, nos finais de semana, Tatiane Bagatini, por constituírem uma segunda família, sempre presentes.

Por fim, a DEUS, sem necessidade alguma de dar qualquer razão.

*Disse o SENHOR a Moisés, no monte Sinai:  
Fala aos filhos de Israel e dize-lhes:  
Quando entrardes na terra, que vos dou, então,  
a terra guardará um sábado ao SENHOR.  
Seis anos semearás o teu campo, e seis anos podarás a tua vinha,  
e colherás os seus frutos.  
Porém, no sétimo ano, haverá sábado de descanso solene para a terra,  
um sábado ao SENHOR ; não semearás o teu campo,  
nem podarás a tua vinha.  
O que nascer de si mesmo na tua seara não segarás  
e as uvas da tua vinha não podada não colherás;  
ano de descanso solene será para a terra.*

*(LEVÍTICO 25,1 a 5)*

# PERDAS POR EROSÃO NA CULTURA DO MILHO IMPLANTADA SOBRE CAMPO NATIVO, RELACIONADAS COM MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E TIPOS DE ADUBAÇÃO<sup>1</sup>

Autora: Luciléia Gilles  
Orientador: Neroli Pedro Cogo  
Co-orientador: Carlos Alberto Bissani

## SINOPSE

Apesar do conhecimento que se tem sobre a erosão nas terras cultivadas brasileiras, existem situações de uso e manejo do solo que precisam ser mais bem estudadas. Com isto em mente, realizou-se este trabalho de pesquisa com o objetivo de investigar a erosão hídrica pluvial do solo, provocada por chuva artificial, em área de campo nativo submetida ao cultivo de milho (*Zea mays*, L), usando os preparos de solo escarificação e semeadura direta e as adubações mineral e orgânica. O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), sobre um Argissolo Vermelho franco-arenoso com 0,13 m m<sup>-1</sup> de declividade. Realizaram-se testes de erosão com chuva simulada logo a seguir a implantação dos tratamentos e a semeadura do milho e 75 dias mais tarde, no estágio de pendoamento da cultura, ambos na intensidade de 64 mm h<sup>-1</sup> e com duração de 1,5 h, usando o aparelho simulador de chuva de braços rotativos. Os resultados evidenciaram que os tratamentos influenciaram o desenvolvimento da cultura e as perdas por erosão. O milho desenvolveu-se melhor na escarificação, independentemente do tipo de adubação. A perda de solo ocorreu somente na escarificação e no primeiro teste de chuva, em quantidade pequena, independentemente do tipo de adubação. A perda de água, de matéria orgânica e de nutrientes ocorreu em todos os tratamentos e testes de chuva, em quantidade variada, em geral sendo maior na semeadura direta e no primeiro teste de chuva. O pH da enxurrada foi pouco afetado por qualquer das situações, enquanto que a condutividade elétrica e as concentrações médias de matéria orgânica e nutrientes foram marcadamente influenciadas tanto pelos tratamentos quanto pelos testes de chuva, diretamente influenciando as quantidades totais dos referidos constituintes removidas pela erosão. As quantidades totais finais de nutrientes perdidas por erosão foram maiores para o potássio na adubação orgânica e na adubação mineral, para o fósforo na adubação mineral e para o nitrogênio na adubação orgânica e na adubação mineral, nesta ordem de valores decrescentes e todos na semeadura direta. A perda de nutrientes determinada no estudo implicou alto valor financeiro estimado necessário para repor ao solo os adubos perdidos pela erosão.

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (88 p.) – Março, 2008.



# EROSION LOSSES IN CORN OVERSEEDDED INTO A NATIVE PASTURE, RELATED TO TILLAGE METHODS AND FERTILIZATION TYPES<sup>1</sup>

Author: Luciléia Gilles

Adviser: Neroli Pedro Cogo

Co-adviser: Carlos Alberto Bissani

## SUMMARY

Despite the knowledge that exists on erosion in Brazilian's cultivated lands, there are situations of soil use and management that need be studied better. With this in mind, it was realized this research work with the objective of investigating soil erosion by rainfall, provoked by artificial rain, in an area of native pasture seeded to corn (*Zea mays*, L.), using reduced- and no-tillage and mineral and organic fertilization. The study was developed at the Agriculture Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS, in Eldorado do Sul (RS), over a sandy loam, 0.13 m m<sup>-1</sup> slope steepness Ultisol. Simulated rainfall, erosion tests were accomplished soon after treatments establishment and corn seeding and 75 days later, at corn tasseling, both at 64 mm h<sup>-1</sup> rainfall intensity and for 1.5-hour duration. The results showed that crop development and erosion losses were influenced by treatments. Corn developed a little better under reduced-tillage, regardless of fertilization type. Soil loss occurred only under reduced-tillage and in the first rainfall test, in small amount, regardless of fertilization type. Water, organic matter, and nutrients losses occurred in all treatments and rainfall tests, in varied amounts, in general being higher under no-tillage and in the first rainfall test. The pH of the runoff was little affected by any of the situations, while the electric conductivity and the average concentrations of organic matter and nutrients were greatly influenced by both treatments and rainfall tests, directly influencing the total amounts of the referred constituents removed by erosion. The total, final amounts of nutrients lost by erosion were higher for potassium in organic and in mineral fertilization, for phosphorous in mineral fertilization, and for nitrogen in organic and in mineral fertilization, in this order of decreasing values and all under no-tillage. The nutrients loss determined in the study implied high estimated monetary value needed for reposing to the soil the fertilizers lost by erosion.

---

<sup>1</sup>Master dissertation in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (88 p.) – March, 2008.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Conceito e categorias de degradação do solo.....	3
2.2. O processo erosivo do solo no contexto ambiental e de vida na Terra.....	3
2.3. Extensão da erosão do solo no planeta Terra e importância do seu controle.....	5
2.4. Tipos de dano causados pela erosão hídrica pluvial do solo....	5
2.5. Fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo.....	7
2.5.1. Uso anterior da terra.....	7
2.5.2. Métodos de preparo do solo.....	8
2.6. Poluição química das águas superficiais pelos produtos da erosão hídrica pluvial do solo em áreas agrícolas.....	13
2.7. Perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo.....	14
2.7.1. Formas do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio encontradas no solo.....	15
2.7.2. Modos de perda do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio do solo por erosão hídrica pluvial.....	18
2.7.3. Fatores que afetam a perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo.....	21
2.7.3.1. Métodos de preparo do solo.....	21
2.7.3.2. Tipos de adubação.....	22
2.7.4. Conseqüências econômicas da perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo.....	23
2.8. Hipóteses.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1. Localização, solo, uso anterior e adequação da área experimental.....	26
3.2. Tratamentos estudados e sua implantação.....	27
3.3. Unidades experimentais.....	29
3.4. Aparelho simulador de chuva e testes de erosão.....	30
3.5. Amostragens e determinações.....	31
3.5.1. No solo da área experimental, antes da implantação dos tratamentos.....	31
3.5.1.1. Caracterização física.....	31
3.5.1.2. Caracterização química.....	33
3.5.1.3. Medição da declividade do terreno.....	33
3.5.2. No solo das parcelas experimentais, logo após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada.....	34
3.5.2.1. Cobertura por resíduo cultural.....	34
3.5.2.2. Rugosidade superficial induzida pelo preparo.....	34
3.5.2.3. Consolidação da camada superficial do solo.....	34
3.5.3. No solo das parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada.....	35

3.5.3.1.	Caracterização física.....	35
3.5.3.2.	Caracterização química.....	35
3.5.3.3.	Medição de parâmetros de planta.....	35
3.5.4	Nos testes de erosão com chuva simulada.....	37
3.5.4.1.	Checagem da intensidade das chuvas.....	37
3.5.4.2.	Teor de água no solo antecedente às chuvas.....	37
3.5.4.3.	Tempos de início e equilíbrio da enxurrada.....	38
3.5.4.4.	Taxa de descarga e coeficiente de enxurrada.....	38
3.5.4.5.	Taxa de infiltração de água no solo.....	38
3.5.4.6.	Concentração de sedimento na enxurrada.....	39
3.5.4.7.	Concentração de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada.....	39
3.5.4.8.	pH e condutividade elétrica da enxurrada.....	40
3.5.4.9.	Perda total de água.....	40
3.5.4.10.	Perda total de solo.....	41
3.5.4.11.	Perda total de matéria orgânica e de nutrientes.....	41
3.6.	Análise e interpretação dos dados.....	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1.	Características do solo na área experimental, antes da implantação dos tratamentos.....	42
4.1.1.	Características físicas: teores de areia, silte e argila, teor de matéria orgânica, densidade de partícula, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade do solo, macro, micro e porosidade total e resistência do solo à penetração mecânica.....	42
4.1.2.	Características químicas: matéria orgânica, pH em água, fósforo extraível, potássio cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação por bases.....	45
4.2.	Condições físicas externas ou de superfície do solo nas parcelas experimentais, logo após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada...	47
4.3.	Características do solo nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada.....	49
4.3.1.	Características físicas: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....	50
4.3.2.	Características químicas: pH em água, teor de matéria orgânica, fósforo extraível, potássio cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação por bases.....	51
4.4.	Parâmetros de planta nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada.....	54
4.5.	Parâmetros de erosão no escoamento superficial das parcelas experimentais, nos testes de chuva simulada.....	58
4.5.1.	Parâmetros físicos.....	58
4.5.1.1.	Tempo de início e de equilíbrio da enxurrada.....	58
4.5.1.2.	Taxa constante de infiltração de água no solo.....	60

4.5.1.3.	Taxa constante de descarga e coeficiente de enxurrada.....	61
4.5.1.4.	Perda total de água.....	63
4.5.1.5.	Perda total de solo.....	64
4.5.2.	Parâmetros químicos.....	65
4.5.2.1.	Valores médios de pH e condutividade elétrica e concentrações médias de matéria orgânica e nutriente na enxurrada.....	65
4.5.2.2.	Perda total de matéria orgânica e de nutriente por erosão .....	71
5.	CONCLUSÕES.....	77
6.	CONSIDERAÇÃO FINAL.....	78
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

## RELAÇÃO DE TABELAS

		Página
TABELA 1	Teores de nutriente nos materiais empregados como adubo e quantidades destes últimos aplicadas ao solo.....	29
TABELA 2	Características físicas do solo em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos (continua...).....	43
TABELA 2	... continuação.....	43
TABELA 3	Características químicas do solo em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos.....	46
TABELA 4	Condições físicas externas ou de superfície do solo nas parcelas experimentais, logo após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada	48
TABELA 5	Características físicas do solo nas parcelas experimentais, na camada de 0 a 10 cm, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada.....	51
TABELA 6	Características químicas do solo nas parcelas experimentais, nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada .....	53
TABELA 7	Parâmetros de planta nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada (continua...).....	55
TABELA 7	...continuação.....	55
TABELA 8	Parâmetros físicos de erosão nos testes de chuva simulada, nos tratamentos estudados.....	62
TABELA 9	Valores médios de pH e condutividade elétrica e concentrações médias de matéria orgânica e nutrientes na enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.....	68
TABELA 10	Quantidades totais de matéria orgânica e nutrientes removidas pela erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.....	72
TABELA 11	Quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de nutrientes perdidas por erosão hídrica e proporções correspondentes às quantidades aplicadas ao solo pelas	

	adubações, nos tratamentos estudados.....	74
TABELA 12	Quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de uréia, superfosfato triplo (SFT), cloreto de potássio (KCl) e calcário perdidas por erosão hídrica, calculadas com base na perda total de nutrientes apresentada na Tabela 11, e valores monetários correspondentes (base atual), nos tratamentos estudados.....	76

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Ilustração da distribuição dos canecos de alumínio, usados como pluviômetros, sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva para checagem da intensidade das chuvas aplicadas.....	37
FIGURA 2 Resistência do solo à penetração mecânica em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos.....	44
FIGURA 3 Vista detalhada das condições físicas externas ou de superfície do solo em dois tratamentos de preparo, logo após a sua implantação, antes da aplicação da primeira chuva simulada .....	48
FIGURA 4 Vista geral dos tratamentos na área experimental, transcorridos 75 dias da sua implantação, antes da aplicação da segunda chuva simulada .....	56

## 1. INTRODUÇÃO

A consideração de que a erosão é uma das principais responsáveis pela remoção dos nutrientes que se encontram no solo, não é dos últimos tempos. O Egito Antigo, situado às margens do Rio Nilo, usufruiu das cheias deste último para aumentar a sua produção de grãos, devido ao enriquecimento do solo pela adição de nutrientes e de matéria orgânica, oriunda da deposição dos sedimentos da erosão carregados na água das enchentes.

A intensificação do uso do solo, com a finalidade de aumentar a produção de alimentos, muitas vezes faz com que o mesmo seja utilizado de forma errônea, causando deterioração da sua capacidade produtiva. A partir desse momento, a erosão do solo passa a receber atenção especial, tanto pela sua contribuição no processo de degradação global do ambiente, quanto pelas perdas relacionadas com o ganho dos que vivem dos frutos da terra.

A erosão é um fenômeno natural, resultante da ação da água e do vento sobre as rochas e os solos da superfície da crosta terrestre. Suas três fases básicas, desagregação, transporte e deposição, resultam em prejuízos ao ambiente. As duas primeiras, por ocasionarem remoção das partículas de solo da área produtiva da lavoura, enquanto a última, por causar sedimentação das partículas removidas em áreas de menor cota no terreno ou em leitos de cursos de água e reservatórios, causando assoreamento e poluição, além de enchentes. Junto às partículas de solo que são desagregadas e transportadas pela erosão, podem estar adsorvidos, ou dissolvidos na água do escoamento superficial, os nutrientes e os pesticidas agrícolas que são comumente utilizados nas zonas rurais, gerando eutrofização e contaminação das águas superficiais.

Com a ênfase atual nas questões ambientais, o conhecimento aprimorado de cada fase do processo erosivo, em construção desde há décadas, é de fundamental importância, para que se possam minimizar os impactos da erosão, tanto no solo, quanto no ambiente. Assim, tornam-se



essenciais o impedimento ou a redução da ação erosiva do impacto das gotas da chuva diretamente sobre o solo, bem como o aumento da infiltração da água da chuva na sua superfície, visando não apenas reduzir a perda de solo por erosão, como também a de água da chuva na forma de enxurrada, com o intuito de se reduzir a poluição química das águas superficiais e as enchentes, evitando problemas de ordens social e econômica, como inundações e doenças, cujos vetores principais estão vinculados à água.

Nas áreas rurais, em especial, onde o processo erosivo do solo sempre gerou problemas e causou preocupações, por ocasionar perda de solo e, conseqüentemente, redução da lucratividade da propriedade agrícola, a perda de água e de nutrientes pelo fenômeno em pauta somente passaram a ganhar importância com o advento dos preparos conservacionistas de solo, especialmente o uso da técnica de semeadura direta/plantio direto. Esta técnica se caracteriza pela dispensa do revolvimento usual do solo para a realização da operação de semeadura e, ou, de plantio das culturas, mantendo os resíduos culturais em superfície e evitando o impacto direto das gotas da chuva sobre o solo, conseqüentemente, minimizando a sua perda por erosão. Entretanto, o não revolvimento contínuo do solo pode induzir compactação superficial, o que irá reduzir a infiltração de água no mesmo e aumentar enxurrada, e, junto com esta última, também a perda de nutrientes, implicando redução na lucratividade da propriedade agrícola e contaminação das águas superficiais.

Percebe-se, pois, a importância que tem para a agricultura a quantificação das perdas de solo, água e nutrientes por erosão nas áreas agrícolas, tendo em vista que isto permitirá elaborar planejamentos de uso da terra em bases conservacionistas e quantitativas, propiciando melhorias na capacidade produtiva do solo para as culturas e maior lucratividade na propriedade rural. Em adição, resultarão desses fatos melhor qualidade de vida e melhor preservação do ambiente, o que justifica a realização de pesquisas como esta, cujo objetivo principal foi quantificar as perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica pluvial, por meio do emprego de chuva artificial, em área de campo nativo submetida a cultivo anual, empregando-se distintos métodos de preparo do solo e tipos de adubação.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Conceito e categorias de degradação do solo**

Degradação do solo significa perda de sua qualidade (Poch e Martinez-Casasnovas, 2002), não importando a natureza da mesma, se química, física ou biológica, e o uso pretendido com o ele, se para fins de produção vegetal, construção de obras de engenharia, recreação, proteção da flora e fauna ou outro qualquer.

Desde há tempo, segundo levantamento efetuado pela FAO – Organização das Nações Unidas para a Produção de Alimentos (Hudson, 1978), sete categorias de degradação do solo foram mundialmente estabelecidas e têm tido suas importâncias reconhecidas, a saber: 1) erosão hídrica; 2) erosão eólica; 3) degradação química; 4) degradação física; 5) degradação biológica; 6) salinização e 7) desertificação. Mais recentemente, foi incluída nesta lista também a degradação do solo (oitava categoria) causada pelas atividades de escavação da terra, como mineração, pedreira, terraplenagem, remoção de solo para aterro, construção de obras de engenharia, etc.

Dentre as categorias de degradação do solo enumeradas acima, a erosão, seja ela a hídrica, seja ela a eólica, é a mais extensiva, prejudicial e preocupante do nosso planeta (Hudson, 1995). Tal consideração desta forma de degradação do solo deve-se ao fato de que a principal resultante do processo erosivo é a remoção de solo de um dado ponto na superfície da crosta terrestre e seu transporte e deposição em outro, na maior parte das vezes distante do local original, o que torna a perda de solo por erosão um processo, praticamente, irreversível.

### **2.2. O processo erosivo do solo no contexto ambiental e de vida na Terra**

O processo erosivo do solo sempre gerou problemas e causou preocupações. Num primeiro momento, por ser ele o principal responsável pela

remoção de solo da superfície da crosta terrestre e, decorrente disso, causar redução no rendimento das culturas, soterramento de plantas nas lavouras situadas nas partes baixas do relevo e assoreamento de valas de drenagem, canais de irrigação, bacias de contenção (água e sedimento), córregos, rios, lagos e reservatórios, com conseqüente poluição física ou enlodamento de suas águas (a poluição química da água, também associada aos sedimentos da erosão, não constituía problema ou era ignorada em uma dada época). A erosão do solo também foi sempre notável por causar poluição do ar, no caso de ocorrência da erosão eólica, com todas as conseqüências negativas advindas desse fato, tais como: problemas de respiração e de visão nas pessoas e animais, desconfortos nas residências e desgaste acelerado de máquinas, motores e equipamentos em geral, causados, todos, pelas partículas finas de solo em suspensão no vento ou poeira (Bennett, 1939; Hudson, 1971).

Com o advento dos preparos conservacionistas de solo, especialmente o uso da técnica de semeadura direta/plantio direto, os problemas decorrentes da perda física de solo por erosão (enumerados acima) puderam ser bastante diminuídos (Wischmeier, 1973; Foster e Meyer, 1977; Laflen et al., 1978; Cogo et al., 1984; Flanagan, 2002; Hatfield, 2002; Cline e Hendershot, 2002; Merten e Minella, 2002; Boavida, 2001). A partir desse momento, passou a ganhar importância o escoamento superficial ou enxurrada, mesmo isento ou com baixa carga de sedimento em suspensão, e, junto com ele, o transporte de substâncias químicas (nutrientes das culturas e agrotóxicos) para dentro dos mananciais superficiais de água, causando a sua poluição química (Hudson, 1971).

Em decorrência dos fatos que foram mencionados, relacionados com a erosão do solo, tem-se o que comumente se denomina de degradação do ambiente, implicando perda de qualidade do solo, da água e do ar, conseqüentemente, perda de qualidade de vida na Terra (Cogo e Levien, 2002).

### **2.3. Extensão da erosão do solo no planeta Terra e importância do seu controle**

Segundo estimativas da FAO (Hudson, 1995), 84% da degradação do solo no mundo são devidos à erosão, sendo 56% pela erosão hídrica e 28% pela erosão eólica, e, segundo Zhang e Wang (2002) e Berhe et al. (2005), esse processo movimentada sobre a superfície da crosta terrestre mais do que 100 bilhões de toneladas de solo por ano, com 20 bilhões delas indo se depositar em valas, canais, partes baixas do relevo, cursos de água, lagos, reservatórios e oceanos. Embora ainda não se tenham levantamentos dessa natureza, efetuados em base sólida e criteriosa, acredita-se que, no Brasil, resguardadas as devidas proporções, a situação de degradação do solo não é muito diferente da que foi recém exposta, podendo, inclusive, em alguns aspectos, ser pior, principalmente no que se refere à erosão hídrica pluvial.

Associando-se o que foi exposto até este momento da revisão bibliográfica com o fato de que as taxas de desgaste e remoção de solo pela erosão acelerada ou antrópica podem largamente superar as taxas, tanto de formação e, ou, renovação ou reposição de solo, quanto de erosão geológica ou natural (Hall et al., 1982), o solo, para propósitos práticos (na escala de tempo do ser humano), é considerado um recurso natural não-renovável, o que denota a importância de sua conservação, especialmente o controle da erosão.

### **2.4. Tipos de dano causados pela erosão hídrica pluvial do solo**

Os danos causados pela erosão hídrica pluvial do solo podem ser de dois tipos principais, a saber: diretos e indiretos.

Os danos diretos, em se tratando de produção vegetal, são aqueles que ocorrem na lavoura. Geralmente, eles são menos complexos de serem entendidos e menos custosos de serem resolvidos do que os danos indiretos, desde que o solo não tenha ainda sido muito desgastado pela erosão. Este tipo de dano diz respeito à redução da capacidade produtiva do solo para o crescimento de plantas, especialmente as cultivadas, devido à diminuição da sua profundidade efetiva para o desenvolvimento normal de raízes e, ao mesmo tempo, da sua capacidade de absorver, reter e liberar água e nutrientes às mesmas, causadas, ambas, pela remoção do solo em si, mas, também, pela

remoção preferencial da matéria orgânica e de alguns nutrientes que se encontram na sua massa. Os danos diretos podem ocorrer no curto, médio ou longo prazo, dependendo da magnitude e freqüência do processo erosivo e de particularidades locais. Seus efeitos são normalmente sentidos em termos de depreciação do valor da terra, menor lucratividade da propriedade rural e aumento dos custos de produção agrícola, fatos que, de uma forma ou outra, irão se refletir na sociedade (Moldenhauer, 1978; Cogo e Levien, 2002).

Os danos indiretos da erosão hídrica pluvial do solo são os que ocorrem fora da lavoura, porém, em sua grande maioria, oriundos dos produtos da erosão ocorrida na lavoura. Este tipo de dano diz respeito ao assoreamento de valas de drenagem, canais de irrigação, bacias de contenção (água e sedimento), córregos, rios, lagos e reservatórios, soterramento de plantas e poluição dos mananciais superficiais de água, principalmente devido à deposição dos sedimentos da erosão, mas, também, ao escoamento superficial em si, mesmo estando ele isento ou com baixa carga de sólidos em suspensão (no que diz respeito à poluição química da água). Da mesma forma como os danos diretos, os danos indiretos podem ocorrer no curto, médio ou longo prazo, dependendo da magnitude e freqüência do processo erosivo e de particularidades locais. Seus efeitos são normalmente sentidos em termos de redução da capacidade de armazenamento e, ou, de condução de água de córregos, rios, lagos e reservatórios, o que vai resultar em escassez da mesma e, ou, em enchente, e de poluição dos mananciais superficiais de água, o que vai resultar em degradação da sua qualidade, seja qual for o uso intencionado com eles. Neste mesmo enfoque, não devem ser esquecidos os custos relacionados com a dragagem e, ou, com a despoluição das referidas fontes de água. Todos esses fatos, inevitavelmente, rápida e fortemente irão se refletir na sociedade, no ambiente e na qualidade de vida (humana e animal) na Terra (Moldenhauer, 1978; Cogo e Levien, 2002).

Afora os problemas que foram mencionados, Zhang e Wang (2002) ressaltam que a erosão do solo representa um importante componente do processo de mudança global no planeta, severamente ameaçando a qualidade do solo, da água e do ar, e, desta forma, seriamente prejudicando o desenvolvimento agrícola e o ecossistema como um todo.

## **2.5. Fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo**

É bem sabido o fato de que o processo de erosão hídrica pluvial do solo é influenciado por vários fatores, destacando-se o regime de chuva, o tipo de solo, a topografia do terreno, a combinação cobertura-manejo do solo e as práticas conservacionistas de suporte ou práticas complementares de controle da erosão (Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997). Entretanto, considerando as condições sob as quais foi realizada a presente pesquisa, bem como os seus objetivos, a abordagem deste assunto, nesta revisão bibliográfica, será restringida aos fatores uso anterior da terra e métodos de preparo do solo (de fato, subfatores do fator combinado principal C - cobertura-manejo do solo, conforme interpretado e utilizado nas Equações Universal de Perda de Solo (“USLE – Universal Soil Loss Equation”) e Universal de Perda de Solo Revisada (“RUSLE” – Revised Universal Soil Loss Equation”), apresentadas, respectivamente, por Wischmeier e Smith (1978) e Renard et al. (1997).

### **2.5.1. Uso anterior da terra**

O uso anterior da terra (efeito residual) influencia a perda de solo por erosão hídrica pluvial por meio do seu efeito nos graus de consolidação e cobertura superficial do solo, bem como na quantidade de raízes (vivas e, ou, mortas) e de resíduos culturais que são incorporados à sua massa, decorrentes das operações anteriores de preparo e cultivo do solo. Estes fatos, em conjunto, irão conferir maior ou menor resistência à superfície do solo contra a ação erosiva da água da chuva e da enxurrada a ela associada, bem como boas ou más condições físicas para infiltrar água da chuva na mesma, afetando as perdas de solo e água pelo fenômeno em pauta (Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al.,1997).

O grau de consolidação da superfície do solo (comumente detectado pelos valores de sua densidade global), para um dado tipo do mesmo, vai depender do tipo de uso da terra (floresta, pastagem, culturas anuais em fileiras, etc.) e do método empregado no seu preparo (integral, em faixas, sem preparo, combinado, etc.). Quanto mais demoradamente o solo for utilizado com culturas permanentes, especialmente pastagem nativa, e quanto menos

intensamente ele for mobilizado, como no caso do uso da técnica de semeadura direta/plantio direto, tanto mais consolidada e protegida será a sua superfície e, conseqüentemente, mais resistente à ação dos agentes de erosão hídrica, o que diminui a perda de solo por este fenômeno (Dissmeyer e Foster, 1981). Em relação ao grau de cobertura superficial do solo por restos vegetais (cobertura morta ou “mulch”), quanto maior o mesmo, tanto menor a perda de solo por erosão, devido à menor desagregação inicial de suas partículas pela ação de impacto das gotas da chuva. Entretanto, deve-se ressaltar que, nessas situações (solo suficientemente protegido por restos vegetais, mas, com a superfície consolidada), a infiltração de água no solo poderá ser bastante restringida e, conseqüentemente, a perda de água da chuva da lavoura na forma de enxurrada bastante elevada (Renard et al., 1997; Streck, 1999; Volk, 2002; Streck e Cogo, 2003; Volk et al., 2004).

A persistência ou duração do efeito residual do uso da terra na redução da perda de solo por erosão vai variar com o tipo de uso e o tipo de manejo aos quais o solo foi submetido. Quando ele tiver sido com pastagens bem implantadas e bem conduzidas, poderá durar até dois anos (Wischmeier e Smith, 1978; Streck, 1999; Streck e Cogo, 2003), sendo consideravelmente diminuído, entretanto, quando o uso anterior da terra tiver sido com culturas anuais em fileira em sucessão contínua (Streck, 1999; Streck e Cogo, 2003; Cogo e Streck, 2003; Volk, 2002; Volk, 2006; Volk e Cogo, 2004). Esta diferença na duração do efeito residual do uso da terra na redução da erosão hídrica pluvial do solo, observada entre tipos de cultivo, é devida, principalmente, a diferenças no grau de consolidação da superfície do solo e na quantidade de raízes e de resíduos culturais que lhe é incorporada durante o processo de produção vegetal, com um e outro tipo de cultivo.

### **2.5.2. Métodos de preparo do solo**

Os métodos de preparo do solo variam em extensão de superfície de solo mobilizada, profundidade de preparo e grau de fragmentação da massa de solo mobilizada. Em função disso, irão variar neles a cobertura do solo por resíduo cultural, a rugosidade superficial ou microrelevo, a porosidade total da camada preparada e a consolidação da superfície do solo (Burwell et al., 1963;

Burwell et al., 1966; Burwell e Larson, 1969; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983). Assim, o preparo convencional do solo, enquadrado na categoria dos preparos não-conservacionistas, resulta em toda extensão de superfície do solo trabalhada, em considerável profundidade de preparo e em elevado grau de fragmentação da massa mobilizada de solo, o que deixa a sua superfície descoberta, solta e com rugosidade superficial e porosidade total da camada preparada que irão variar de média a baixa, condição global esta que, no tempo, vai ser bastante desfavorável, tanto à conservação do solo, quanto à conservação da água. Por sua vez, o preparo reduzido do solo, enquadrado na categoria dos preparos conservacionistas, e, talvez, tendo como seu maior e melhor representante a escarificação, 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 da massa de solo mobilizada, o que faz com que o mesmo ainda fique com boa quantidade de resíduos culturais na superfície, apresente grau de rugosidade superficial e valor de porosidade total da camada preparada que irão variar de médios a altos, e exiba uma superfície parcialmente solta e parcialmente consolidada, condição global, esta, que, no tempo, vai ser bastante favorável, tanto à conservação do solo, quanto à conservação da água. Por fim, ainda na categoria dos preparos conservacionistas, porém, com o mais baixo grau de mobilização do solo, em todos os seus aspectos, ou seja, em termos de extensão de superfície do solo trabalhada, profundidade de preparo e grau de fragmentação da massa de solo mobilizada, encontra-se a técnica de semeadura direta/plantio direto. Com esta técnica, o solo é rompido apenas para se colocar nele as sementes ou mudas/partes vegetativas das plantas, ficando, praticamente, todo o resíduo cultural remanescente em superfície, mas, por outro lado, ela irá apresentar os mais baixos valores de rugosidade superficial e porosidade total da camada preparada dentre todos os métodos conhecidos de preparo do solo, além de uma superfície, geralmente, consolidada, condição global esta que, no tempo, é altamente favorável à conservação do solo, mas, na maior parte das vezes, desfavorável à conservação da água (Bertol, 1986; Levien, 1999; Streck e Cogo, 2003; Cogo e Streck, 2003; Volk, 2002; Volk e Cogo, 2004; Castro et al., 2006).



Assim, pode-se dizer que o método de preparo do solo vai ser o principal responsável, tanto pela criação de baixa ou alta rugosidade superficial, quanto pela manutenção de baixa ou alta cobertura por resíduo cultural, o que vai determinar a ocorrência de baixa ou alta erosão hídrica pluvial e de baixo ou alto escoamento superficial associado ao fenômeno em pauta. Quanto menos intensamente o solo for preparado, como ocorre quando se emprega a técnica de semeadura direta/plantio direto, tanto mais protegida e consolidada, porém, menos rugosa e com menor valor de porosidade total da camada preparada se apresentará a sua superfície, o que irá fazer com que a mesma resista bem à ação erosiva da água da chuva e da enxurrada a ela associada, diminuindo a perda de solo pelo fenômeno, mas, por outro lado, vai facilitar a formação de enxurrada, aumentando a perda de água da chuva da lavoura. Depreende-se dos fatos mencionados a necessidade de, às vezes, ter-se que mobilizar o solo, para melhorar as suas condições físicas (internas e de superfície) para infiltrar água da chuva e, assim, reduzir a perda de água da lavoura na forma de enxurrada.

Retornando ao assunto da cobertura do solo por resíduo cultural (elemento-chave na redução da erosão, seja ela a hídrica, seja ela a eólica), a sua ação na diminuição da erosão hídrica pluvial é direta e efetiva, uma vez que atua na dissipação da energia cinética das gotas da chuva e, assim, contribui na redução da desagregação inicial de suas partículas. Além disso, a cobertura do solo por resíduo cultural vai impedir ou minimizar a formação de selos superficiais, o que vai resultar em aumento da infiltração de água e, em adição, servir de barreira física para reter água da chuva e sedimento da erosão, diminuindo as perdas de solo e água por erosão hídrica (Mannering et al. 1968; Wischmeier e Smith, 1978; Cogo, 1981; Cogo et al., 1984; Cogo et al., 2003).

A cobertura do solo por restos vegetais ainda melhora a sua estrutura e aumenta a atividade biológica e a disponibilidade de nutrientes, em função do aumento do teor de matéria orgânica na sua camada superficial (IAC, 2007). Em se tratando da manutenção dos resíduos culturais em superfície, merece atenção especial o período que vai do preparo do solo e semeadura da cultura até o ponto em que esta última tenha atingido

considerável grau de desenvolvimento vegetativo, então cobrindo e protegendo o solo da ação erosiva por meio do seu dossel. Nesse intervalo tempo, normalmente o solo dispõe de pouca proteção vegetal pela copa das plantas e, por isto, é quando ele, geralmente, sofre as maiores perdas por erosão (Eltz et al., 1977; Saraiva et al., 1981; Vieira et al., 1978; Levien et al., 1990).

O aumento na porcentagem de cobertura do solo por resíduo cultural é diretamente proporcional ao aumento na quantidade de sua massa, estando ela uniformemente distribuída na superfície do solo (Cogo, 1981). Este autor relata que, de modo geral, a redução mais marcante da perda de solo por erosão hídrica pluvial ocorre com, aproximadamente, 30% de cobertura do solo por resíduo cultural. O autor menciona ainda que a eficácia relativa de redução da erosão hídrica pluvial do solo dos resíduos culturais e da rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de seu preparo encontram-se inter-relacionadas. Assim, a dos primeiros torna-se mais evidente na ausência da segunda variável ou na sua presença, porém, quando ela se encontra com baixo valor, e vice-versa. Independentemente disto, entretanto, é recomendável a presença permanente de ambas estas variáveis nas lavouras agrícolas, para se poder garantir melhor a conservação de ambos, solo e água, nas terras cultivadas (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Volk et al., 2004). Maiores considerações sobre o efeito (isolado) da rugosidade superficial do solo na redução da erosão hídrica pluvial serão efetuadas a seguir.

A rugosidade superficial do solo (microrelevo) induzida pelos métodos de seu preparo é influenciada pelo tipo de equipamento utilizado, número e frequência (intensidade) das operações de preparo, teor de água no solo antecedente ao preparo e tipo de solo, sendo ela, ao mesmo tempo, determinante da porosidade total da camada preparada de solo (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Levien, 1988). A rugosidade superficial do solo, além de aumentar a retenção e a infiltração de água na sua superfície, bem como a retenção dos sedimentos da erosão, como foi já referido, reduz o volume e a velocidade da enxurrada, fato este que, associado aos primeiros, vão determinar baixas perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983).

Considerando o que foi exposto, pode-se dizer que a média a alta rugosidade superficial e a relativamente alta quantidade de resíduo cultural, que resulta na superfície do solo quando o mesmo é preparado pelo método da escarificação (um tipo de preparo reduzido do solo), garantem substancial redução nas perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial, em função das suas elevadas capacidades, tanto de retenção e infiltração superficiais de água, quanto de retenção de sedimentos da erosão (Cogo et al., 1983). Entretanto, comparada à semeadura direta, a escarificação geralmente apresenta perda de solo um pouco maior (Eltz, 1977; Vieira, 1977; Saraiva, 1978; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983 e Cogo et al., 1984), mas, mesmo assim, em considerável parte das vezes, dentro ou próxima dos limites toleráveis, o que torna a mesma uma boa alternativa para se conservar ambos, solo e água nas terras cultivadas.

Devido à baixa rugosidade superficial do solo na técnica de semeadura direta/plantio direto, em função da ausência ou do pouco revolvimento de solo, a perda de água da chuva (enxurrada) na mesma é, em geral, maior do que nos preparos que causam alguma mobilização no solo. Segundo Silva Neto et al. (2006), isto acontece pelo fato de que, após três ou quatro anos de lavoura com tal técnica de semeadura (sem preparo prévio do solo), podem surgir valores elevados de densidade e microporosidade e baixos de macroporosidade na camada mais superficial do solo, comparados aos valores observados em solos submetidos a preparos reduzidos e, mesmo, ao preparo convencional, devido o rearranjo estrutural sofrido pela massa do solo e a pressão exercida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas sobre o mesmo.

Com base nas considerações efetuadas, percebe-se que, mesmo somente com a aplicação de práticas de manejo relativamente simples, como a manutenção dos resíduos culturais em superfície e a criação de rugosidade superficial ou micro relevo no solo, é possível substancialmente reduzir as perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial, às vezes até dentro dos níveis toleráveis, reduzindo os custos de produção agrícola e, o que é mais importante, preservando o solo, a água e o ambiente.

## **2.6. Poluição química das águas superficiais pelos produtos da erosão hídrica pluvial do solo em áreas agrícolas**

A poluição química dos mananciais superficiais de água pelos produtos da erosão hídrica pluvial do solo em áreas agrícolas constitui um dos principais problemas advindos do fenômeno, enquadrada na categoria dos danos indiretos da erosão. Segundo Merten e Minella (2002), no Brasil, ainda não foi quantificado o quanto os poluentes advindos de áreas agrícolas (sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais) contribuem para a degradação dos recursos hídricos, porém, nos Estados Unidos da América, é sabido que cerca de 50% da carga poluente de lagos e 60% da carga poluente de rios são provenientes de tais áreas.

A poluição química dos mananciais superficiais de água decorrente das atividades agrícolas (não necessariamente somente aquelas que resultam no processo de erosão, chama-se a atenção) pode ser classificada como pontual ou difusa. Diz-se que a poluição é pontual quando grandes quantidades de dejetos e, ou, substâncias químicas são diretamente lançadas num dado local ou aplicadas na lavoura. Por sua vez, diz-se que a poluição é difusa quando ela resulta da lixiviação de nutrientes e pesticidas, do escoamento superficial e do fluxo de macroporos, este último processo sendo conceituado por Mendiondo e Tucci (1997) como o transporte acelerado de água e de substâncias químicas da superfície do solo para as suas zonas mais profundas (Merten e Minella, 2002). A degradação dos mananciais superficiais de água pelo escoamento superficial de áreas agrícolas ocorre, principalmente, pelo aporte de nutrientes aos mesmos. Isto irá aumentar a atividade primária de plantas e algas e reduzir a disponibilidade do oxigênio dissolvido na água, decorrentemente, vai afetar o ecossistema aquático e, não raras vezes, causar mortandades de peixe e de outras formas de vida aquática (Mansor et al., 2006).

Um dos principais aspectos da poluição química dos mananciais superficiais de água pelos produtos da erosão é sua eutrofização, a qual pode ser referida como a proliferação excessiva de plantas aquáticas, em níveis que causam interferência no grau de uso dos mananciais de água (Von Sperling, 1996), resultante do acúmulo de matéria orgânica e de taxas elevadas de

decomposição bacteriana e desoxigenação da água (Ricklefs, 1996), devido à presença de nutrientes na mesma, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), que são adicionados ao solo por meio das adubações e transportados em excesso para dentro de cursos de água, lagos e, ou, reservatórios via água de escoamento superficial (Von Sperling, 1996; Boavida, 2001). Segundo o primeiro autor, as conseqüências da eutrofização de corpos de água podem ser resumidas nos seguintes aspectos: problemas de ordem estética e de recreação, causados pelas freqüentes florações de algas; eventuais maus odores e deturpações da paisagem, decorrentes da mortandade de peixes e do crescimento excessivo de vegetação; estabelecimento de condições anaeróbias no fundo dos corpos de água, devido à proliferação de bactérias heterotróficas, que consomem o oxigênio dissolvido na água; floculação da matéria orgânica na superfície de corpos de água, que vai dificultar a penetração de luz nos mesmos e, assim, diminuir a fotossíntese, e aumentar a toxicidade de algas, que irá inviabilizar o consumo de água.

Desta forma, claramente percebe-se as conseqüências negativas do processo erosivo do solo nos ecossistemas em geral, mas, em especial, na degradação da qualidade das águas superficiais, seja qual for o uso intencionado com elas. Diante disto, verifica-se a importância de se adotar práticas conservacionistas que visem não apenas reduzir a perda de solo por erosão das áreas agrícolas, mas, também, a perda de água da chuva na forma de enxurrada e, junto com ela, de nutrientes das plantas, assunto este que será tratado próximo.

### **2.7. Perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo**

Vários são os nutrientes das plantas que podem ser encontrados no solo e diferentes são as suas formas químicas no mesmo. Entretanto, considerando as condições sob as quais foi realizada a presente pesquisa, bem como os seus objetivos, de forma análoga como se fez no trato dos fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo, a abordagem deste assunto, nesta revisão bibliográfica, será restringida aos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

### **2.7.1. Formas do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio encontradas no solo**

#### **- Nitrogênio**

A maior parte do nitrogênio (N) do solo encontra-se na sua matéria orgânica, logo, o aumento da mesma eleva o teor do referido nutriente no solo (Barrows e Kilmer, 1963). O nitrogênio do solo é proveniente, principalmente, de sua fixação biológica, processo que consiste na troca do nitrogênio aproveitável pelas plantas ( $\text{NH}_3$ ) por proteção física às bactérias, algas azuis e fungos, as quais vivem livres ou em simbiose com as raízes de algumas plantas. A fixação biológica do nitrogênio atmosférico ocorre nos nódulos, que são estruturas facilmente destacáveis das raízes das plantas, formadas por bactérias da família *Rhizobiaceae*, comumente denominadas de rizóbios, em plantas da família das leguminosas (Moreira, 2002). O nitrogênio inorgânico do solo é dependente dos teores relativos de carbono e nitrogênio existentes nos materiais carbonados da matéria orgânica e nos produtos resultantes da atividade microbiana (Camargo e Sá, 2004). Assim, são formas inorgânicas de nitrogênio no solo o íon amônio, que se encontra adsorvido aos minerais da fração argila, e o íon nitrato. Quanto ao íon nitrito, ele é encontrado no solo apenas em condições especiais, visto que as bactérias dos gêneros *Nitrobacter*, *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus* agem simultaneamente, transformando-o em nitrato. O nitrato é a forma mais oxidada do nitrogênio no solo, bem como a mais solúvel e a mais facilmente perdida por erosão, tendo em vista que ele é um ânion e, assim, não é adsorvido às partículas do solo que apresentam cargas superficiais negativas (Moreira, 2002).

#### **- Fósforo**

A maior parte do fósforo (P) do solo é proveniente da intemperização de minerais primários, como a apatita, da qual é liberado na forma de fosfatos solúveis, que são encontrados em pequenas quantidades na solução do solo, em equilíbrio com os da fase sólida. Em solos intemperizados, o fósforo é encontrado em quantidade total relativamente alta, no entanto, apenas uma

pequena fração é prontamente disponível às plantas, constituindo, assim, um dos principais elementos limitantes da fertilidade do solo (Raij,1991).

Segundo Anghinoni e Bissani (2004), o fósforo é encontrado no solo nas formas orgânica e inorgânica, e as proporções destas no mesmo variam com vários fatores. Em geral, 4 a 90% do fósforo total do solo podem ser encontrados na forma orgânica e 10 a 96% na forma inorgânica. O fósforo no solo é encontrado nas suas fases sólida e líquida. Embora o seu teor na fase sólida seja alto, na fase líquida é geralmente reduzido, em virtude da sua baixa solubilidade em água (Anghinoni e Bissani, 2004). A baixa solubilidade do fósforo no solo pode ser explicada pela sua forte adsorção por alguns de seus constituintes, como os óxidos de ferro, tornando suas formas pouco disponíveis (Meurer et al., 2006). Novais e Smith (1999) mencionam que o aumento no grau de intemperismo dos solos os tornam mais eletropositivos, facilitando a adsorção de ânions, como o fosfato.

Rezende et al. (2003) comentam a importância das bactérias fosfolizantes na devolução para o meio do fósforo presente nos esqueletos e nas carapaças de seres vivos, ressaltando que esse fósforo é devolvido na forma solúvel, sendo facilmente lixiviado e transportado para corpos de água, podendo ocasionar sérios danos ambientais, como eutrofização.

#### - Potássio

O potássio (K) do solo é encontrado nas formas cristalina, fixada, trocável, solúvel e integradora da matéria orgânica. Na forma cristalina, ele está presente nos minerais primários, como feldspatos, micas e argilas micácias. Na forma fixada, ele está imobilizado entre as lâminas de argilas do tipo 2:1, como vermiculita e montmorilonita. Na forma trocável, ele está adsorvido aos colóides do solo. Na forma solúvel, ele está presente na solução do solo. Por sua vez, o potássio integrador da matéria orgânica resulta das reações de mineralização da mesma (Mello et al., 2003).

Medeiros (2006) associa a distribuição do potássio no solo a algumas de suas características, como drenagem interna, textura e teor de matéria orgânica. O autor menciona ainda que, em solos de textura média ou,

mesmo, argilosa, com boa drenagem, há tendência de lixiviação do potássio das camadas superficiais para as camadas mais profundas no perfil do solo.

#### - Cálcio e magnésio

O cálcio (Ca) do solo pode ser encontrado em várias formas : como componente de minerais primários, como a augita, a anortita, o epidoto e a apatita; na forma de sais, como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ); adsorvido à matéria orgânica, nas formas de quelatos e complexos, e livre na solução do solo, na forma iônica, ou, então, ligado aos colóides do solo, na forma trocável, sendo que uma das principais fontes de cálcio no solo é a matéria orgânica (Grassi Filho, 2006). Segundo Rezende et al. (2003), as rochas calcárias constituem a fonte primária de cálcio na natureza, e sua intemperização se dá pela ação das chuvas, visto que a dissolução do gás carbônico atmosférico na água faz com que as chuvas adquiram caráter ácido.

O magnésio (Mg) do solo se encontra associado: a minerais primários, como o piroxênio, as olivinas, a anfibólio, a turmalina, a muscovita e a biotita; a minerais secundários, como a vermiculita, a montmorilonita, a illita e a clorita; a carbonatos e sulfatos; na forma trocável, ligado aos colóides, e na forma iônica, na solução do solo (Grassi Filho, 2006).

Segundo Medeiros (2006), a distribuição do cálcio e do magnésio no solo, em solos cultivados por meio de preparos que o mobilizam pouco, resulta em acumulação nas suas camadas superiores, motivada pela tendência de reciclagem dos resíduos culturais presentes em tais camadas. Sob a técnica de semeadura direta/plantio direto, entretanto, devido à precedência da calagem, a distribuição do cálcio e do magnésio no solo vai depender do modo como a calagem é feita, bem como do intervalo de tempo entre duas calagens sucessivas. A calagem afeta a disponibilidade do cálcio e do magnésio para as plantas, pois, à medida em que o calcário se dissolve no solo, há liberação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são prontamente adsorvidos pelas cargas negativas da matéria orgânica, das argilas e dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, aumentando a quantidade dos mesmos, tanto na fase sólida, quanto na solução do solo (Bissani et al., 2004).



Assim, nota-se a diversidade de formas e reações dos principais nutrientes das plantas, bem como a sua dinâmica no sistema solo, o que vai afetar suas perdas por erosão. Em adição, percebe-se o acúmulo de nutrientes na superfície do solo, em virtude da manutenção dos resíduos culturais sobre o mesmo e das adubações que são realizadas superficialmente. Estes fatos denotam a importância de se realizar estudos interdisciplinares, visando melhorias no solo, na água e no ambiente, conseqüentemente, na qualidade de vida na Terra.

### **2.7.2. Modos de perda do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio do solo por erosão hídrica pluvial**

Os nutrientes das plantas que se encontram no solo são removidos do mesmo pelo processo de erosão hídrica pluvial essencialmente de dois modos, a saber: adsorvidos às partículas sólidas do solo (minerais ou orgânicas), as quais são transportadas na água do escoamento superficial, e dissolvidos nesta última (Barrows e Kilmer, 1963). A sua concentração no material integral da erosão (partículas de solo+água de escoamento superficial) vai variar com o regime de chuva, tipo de solo e concentração no solo original, sendo esta, para um mesmo local e tipo de solo, dependente das práticas de manejo que são adotadas no processo de produção vegetal, tais como: tipos e formas de cultivo, métodos de preparo do solo e semeadura da cultura e tipos, quantidades, freqüência e formas de aplicação dos adubos e fertilizantes, entre outros (Barrows e Kilmer, 1963).

Em virtude de suas características e disponibilidade no solo, bem como das práticas de manejo que são empregadas no processo de produção vegetal, a perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo apresenta particularidades, conforme o nutriente que está sendo considerado, sendo uns transportados adsorvidos às partículas sólidas do solo, enquanto outros dissolvidos na água do escoamento superficial. Desta forma, como já foi feito com outros assuntos nesta revisão bibliográfica, em função das condições de realização da presente pesquisa, bem como dos seus objetivos, a abordagem da perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo, bem como de alguns

outros aspectos a ela associados, neste item da revisão bibliográfica, será restringida aos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

#### - Nitrogênio

A perda do nitrogênio (N) do solo por erosão hídrica pluvial, diferentemente da maior parte dos outros nutrientes, não é diretamente relacionada à perda de solo em si. Geralmente, ela é proporcional à perda de matéria orgânica do solo, à qual as principais formas do nitrogênio encontram-se associadas. Comparada à perda dos demais nutrientes, esta é bem mais expressiva, visto que a perda de matéria orgânica do solo é favorecida por propriedades específicas, especialmente a sua menor densidade, em relação aos demais componentes do solo (Barrows e Kilmer, 1963). Neste sentido, Guadagnin et al. (2005), comparando a concentração de nitrogênio no sedimento da erosão e na água da enxurrada, relatam que pequenas quantidades de sedimento podem contribuir tanto quanto quantidades relativamente grandes de água da enxurrada, no que se refere à perda do referido elemento por erosão hídrica pluvial.

#### - Fósforo

Por se encontrar fortemente adsorvido aos minerais de argila, especialmente óxidos de ferro e alumínio, e, ou, complexado à matéria orgânica, o fósforo tem baixa mobilidade no solo, sendo, por isto, predominantemente removido do mesmo junto com os sedimentos da erosão, comparado à sua remoção na água da enxurrada (Barrows e Kilmer, 1963), conforme também foi observado por Lal (1976), Eltz (1977), Eltz et al. (1977), Vieira (1977), Vieira et al. (1978), Saraiva (1978), Saraiva et al. (1981), Schwarz (1997) e Cogo et al. (2003).

#### - Potássio

Assim como acontece com o fósforo, a perda de potássio do solo por erosão hídrica pluvial está mais associada ao sedimento, sendo sua concentração na água do escoamento superficial ou enxurrada, geralmente, baixa (Barrows e Kilmer, 1963; Lal, 1976; Eltz, 1977; Eltz et al., 1977; Vieira,

1977; Vieira et al., 1978; Saraiva, 1978; Saraiva et al., 1981; Schwarz, 1997 e Cogo et al., 2003).

Bertol et al. (2004) relatam maiores concentrações de potássio no sedimento da erosão do que na água do escoamento superficial, em virtude da sua alta concentração no solo, decorrente da aplicação de fertilizantes. A lavagem do potássio do tecido das plantas pela água da chuva também contribui para sua maior concentração na camada mais superficial do solo (Vieira, 1977; Vieira et al., 1978; Bartz, 2007).

#### - Cálcio e magnésio

O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) do solo são removidos do mesmo pelo processo de erosão hídrica pluvial, principalmente, adsorvidos às suas partículas sólidas, conforme resultados encontrados por Barrows e Kilmer (1963), Lal (1976), Eltz (1977), Eltz et al. (1977), Vieira (1977), Vieira et al. (1978), Saraiva (1978) e Saraiva et al. (1981), Schwarz (1997) e Cogo et al. (2003). Comparativamente, em solos bem drenados, espera-se ocorrer maior perda de  $Mg^{2+}$  do que de  $Ca^{2+}$  pelo processo de erosão hídrica pluvial, o que Raij (1991) explica como sendo consequência da maior energia de ligação do  $Ca^{2+}$  com os colóides do solo.

Diante do que foi exposto, no que se refere ao modo de perda dos principais nutrientes das plantas por erosão hídrica pluvial do solo, verifica-se que ele se dá, principalmente, adsorvido às suas partículas sólidas (minerais ou orgânicas), podendo, pois, sua remoção ser minimizada por meio do controle adequado da erosão. Entretanto, nem sempre quando se reduz a perda de solo por erosão hídrica pluvial, consegue-se, também, reduzir a perda de nutrientes pelo mesmo processo, em virtude de suas possíveis altas concentrações na superfície do solo e possibilidades de serem removidos, essencialmente, dissolvidos na água da enxurrada, mesmo que ela esteja isenta ou com baixa carga de sedimentos.

### **2.7.3. Fatores que afetam a perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo**

Vários são os fatores afetam a perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo, destacando-se o regime de chuva, o tipo de solo e AS suas concentrações no solo original, as quais, por sua vez, são dependentes das práticas de manejo agrícola, principalmente métodos de preparo do solo e tipos, quantidades e formas de aplicação dos adubos.

Em virtude das condições de realização da presente pesquisa, bem como dos seus objetivos, constituíram fonte de variação na mesma os métodos de preparo do solo e semeadura da cultura (escarificação e semeadura direta) e o tipo de adubação (orgânica e mineral). Logo, neste item da revisão bibliográfica, serão tratados apenas estes fatores, no que se refere ao seu efeito na perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo.

#### **2.7.3.1. Métodos de preparo do solo**

A perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial é muito influenciada pelos métodos de preparo do solo (Johnson et al., 1979a; Alberts e Moldenhauer, 1981; Schwarz, 1997; Bertol et al., 2007a) e pela concentração dos mesmos no solo original, decorrente da aplicação continuada de adubos, especialmente nos métodos de preparo em que há pouco ou nenhum revolvimento de solo (Eltz et al., 1989; Bertol, 2005). Agrava a situação a ausência de barreiras mecânicas na lavoura, como terraços e preparo do solo e semeadura das culturas em contorno, os quais vão reduzir a velocidade e o volume da enxurrada, e, principalmente, quando a operação de semeadura é efetuada no sentido morro acima-morro abaixo no terreno (Bartz, 2007).

Devido a não-mobilização da camada arável, a técnica de semeadura direta normalmente resulta em acúmulo de nutrientes na superfície do solo (Schick et al., 2000), devido à aplicação dos fertilizantes no modo superficial em ou em pequena profundidade (Johnson et al., 1979b; Alberts e Moldenhauer, 1981; Schwarz, 1997; Cogo et al., 2003; Júnior, 2006), auxiliada pela decomposição dos resíduos culturais superficiais (Bertol, 2005). Estes fatos irão favorecer a concentração de nutrientes na água da enxurrada. Já o preparo convencional, por mobilizar integralmente a superfície do solo,

instantaneamente ocasiona elevadas rugosidade superficial e porosidade total da camada preparada (Cogo, 1981), reduzindo o escoamento superficial e as perdas por erosão no curto prazo. Porém, sob este método de preparo, o solo fica predisposto ao fenômeno do selamento superficial (Duley, 1939), o qual pode restringir a infiltração superficial de água e favorecer a enxurrada, conseqüentemente, aumentar as perdas de solo e nutrientes pelo processo de erosão hídrica pluvial (Macedo et al., 1998). Comparando os métodos de preparo do solo convencional e semeadura direta, Hernani et al. (1999) constataram que as concentrações de cálcio, fósforo e matéria orgânica foram superiores no sedimento da erosão do primeiro, enquanto as de potássio foram na água da enxurrada do segundo, confirmando a forte influência do preparo do solo na concentração de nutrientes na enxurrada.

#### **2.7.3.2. Tipos de adubação**

Em relação aos tipos de adubação (mineral ou orgânica), Barrows e Kilmer (1963) mencionam que a utilização de adubos orgânicos, como dejetos de animais, favorece a perda de nutrientes por erosão, mais do que a utilização de adubos químicos, em virtude da maior facilidade de transporte pela enxurrada dos constituintes orgânicos, em função da sua menor densidade e maior concentração em superfície. Assim, Kleinman e Sharpley (2003) encontraram que, logo após a aplicação de doses elevadas, o esterco serviu de barreira física contra o impacto direto das gotas da chuva no solo, diminuindo a desagregação inicial de suas partículas, e que, no longo prazo, sua aplicação propiciou aumento da matéria orgânica no solo, positivamente influenciando a porosidade, a estabilidade de agregados e a infiltração de água e, desta forma, reduzindo as perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica pluvial. Quanto à influência do intervalo das aplicações de esterco e dos eventos de chuva, no que se refere à perda de fósforo na água do escoamento superficial, os autores comentam que, imediatamente após a aplicação do esterco, ocorreu um declínio no potencial de perda do fósforo, devido ao aumento da sua interatividade com as partículas do solo e à sua conversão para formas recalcitrantes ou persistentes no solo.

A localização dos adubos no solo também reflete-se na concentração de nutrientes na enxurrada, a qual é determinada pelo manejo do solo, em conjunto com o manejo dos fertilizantes (químicos ou orgânicos). Este último é determinante da concentração dos nutrientes em superfície, favorecendo as suas perdas no material integral da erosão ou enxurrada (partículas de solo+água de escoamento superficial). A aplicação de fertilizantes e corretivos em superfície favorece a sua dissolução na água que se encontra retida nas depressões de armazenamento superficial e nos restos vegetais, bem como o seu conseqüente transporte no escoamento superficial, favorecendo a perda de nutrientes, mais do que se eles tivessem sido incorporados (Bertol, 2005). Este autor, usando tratamentos com esterco bovino e com fertilizante NPK, comparou a perda de nutrientes na água do deflúvio superficial, encontrando maior quantidade dos mesmos, especialmente fósforo, no tratamento com esterco bovino, comparada à do tratamento com fertilizante NPK, em função da sua maior concentração em tal tipo de adubo e da menor densidade da matéria orgânica. Este fato pode ser explicado pela seletividade do processo de erosão hídrica do solo, o qual transporta, preferencialmente, os sedimentos mais finos (de menor diâmetro) e de menor densidade, constituídos, sobretudo, de colóides minerais e orgânicos, os quais, normalmente, são enriquecidos de nutrientes (Bertol et al., 2007a).

Pelo que foi exposto, nota-se a importância de se utilizar práticas de manejo agrícola que visem minimizar não só as perdas de solo e água por erosão, como também a perda de nutrientes, reduzindo os custos de reposição dos mesmos por meio das adubações, conseqüentemente, ampliando a lucratividade da propriedade agrícola.

#### **2.7.4. Conseqüências econômicas da perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo**

As conseqüências econômicas da perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo estão relacionadas com o aumento nos custos de produção agrícola, em função da necessidade de reposição dos mesmos pelas adubações (Schick, 1999; Bertol et al., 2007b). Neste mesmo contexto, deve-se também considerar o empobrecimento químico progressivo do solo quando ele

sofre erosão continuada, mesmo em se repondo as quantidades de nutrientes que foram perdidas por erosão, com conseqüente redução nos rendimentos futuros das culturas, o que irá aumentar mais ainda os custos de produção agrícola.

Como ilustração do que foi dito ao final do parágrafo anterior, Bertol et al. (2007b), em trabalho com o propósito de avaliar o custo monetário da perda de alguns nutrientes por erosão hídrica pluvial do solo, em diferentes métodos de preparo, utilizando um Cambissolo Húmico alumínico léptico da região do Planalto Sul-Catarinense, relatam que a semeadura direta e o preparo reduzido apresentaram perdas anuais de nutrientes expressivamente menores do que a verificada no preparo convencional. A soma do fósforo disponível (adicionado na forma de superfosfato triplo), potássio trocável (adicionado na forma de cloreto de potássio) e cálcio e magnésio trocáveis (adicionados na forma de calcário) resultou em perdas anuais, por hectare, de US\$ 24.94 no preparo convencional, US\$ 16.33 no preparo reduzido e US\$ 14.83 na semeadura direta.

Nos Estados Unidos da América, em artigo de divulgação, chamando a atenção para o problema mundial da erosão, Moldenhauer (1978), baseando-se em resultados de pesquisa obtidos naquele país, ressalta a dificuldade de monetariamente se calcular os valores, tanto do solo em si, quanto dos nutrientes das plantas que são perdidos pelo processo de erosão, tendo em vista a complexidade dos fatores envolvidos. Mesmo assim, é mencionado no referido artigo que o custo de reposição de, somente, três nutrientes (N, P e K), num dado ano de experimentação, foi de US\$ 59.3 por hectare. O autor comenta ainda que, embora regularmente seja feita a reposição dos nutrientes perdidos por erosão via aplicação de fertilizantes, com o passar do tempo torna-se inviável economicamente corrigir o solo com tais produtos, em virtude da progressiva redução da qualidade física e química do solo pelo referido fenômeno.

Assim, fica clara a necessidade de se utilizar práticas de manejo do solo que, ao mesmo tempo, vão minimizar a perda de solo e a perda de água por erosão hídrica pluvial, conseqüentemente, a perda de nutrientes pelo mesmo processo, reduzindo os custos de reposição dos mesmos por meio das

adubações e, conseqüentemente, ampliando a lucratividade da propriedade rural. Neste sentido, Bertol et al. (2007b), entre outros autores, ressaltam a importância de se adotar, junto às práticas usuais de manejo do solo, também práticas de controle da enxurrada, como o preparo do solo e a semeadura das culturas em contorno e os terraços agrícolas, os quais contribuem muito na redução dos prejuízos financeiros decorrentes da perda de nutrientes por erosão hídrica pluvial, além de reduzir os problemas de contaminação das águas superficiais pelos produtos deste fenômeno.

## **2.8. Hipóteses**

Considerando os objetivos desta pesquisa e o que foi exposto na sua revisão bibliográfica, as seguintes hipóteses de trabalho foram formuladas:

a) a perda de água, de solo, de matéria orgânica e de nutrientes por erosão hídrica pluvial irá variar com o método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura empregado no processo de produção vegetal, tendo em vista que as condições físicas internas e externas da camada superficial do solo, que regem os seus processos de infiltração de água e de resistência à erosão, irão variar com os diferentes tipos de uma e, ou, outra dessas operações agrícolas, e

b) a concentração de nutrientes na enxurrada da erosão hídrica pluvial irá variar com o tipo de adubo empregado no estabelecimento de dada cultura, tendo em vista que o teor, a forma e a taxa de liberação de um dado nutriente, em dado tipo de adubo, bem como o seu modo de transferência deste último ao solo, irão variar com os diferentes tipos de material empregados como fertilizante.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização, solo, uso anterior e adequação da área experimental

O experimento que serviu de base para a realização da presente 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, localizada no km 146 da rodovia BR 290, município de Eldorado do Sul (RS), distando 60 km de Porto Alegre (RS).

A EEA/UFRGS está situada na região fisiográfica da Depressão Central (RS), a qual se caracteriza por apresentar relevo formado por planícies aluviais amplas e pendentes sedimentares onduladas com dezenas de metros. A precipitação pluviométrica média anual da região é, aproximadamente, 1.400 mm, com média mensal de 120 mm (Bergamaschi e Guadagnin, 1990). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa - subtropical úmido com verão quente -, com a temperatura do mês mais frio oscilando entre -3 °C e 18 °C e a do mês mais quente superior a 22 °C (Mota, 1961).

O solo presente na área experimental encontra-se classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Brasil, 1973, atualizado conforme EMBRAPA, 2006, e conforme Streck et al., 2008), possuindo textura superficial franco-arenosa, 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).

Até o início dos preparativos para a realização da presente pesquisa, o que ocorreu em meados de outubro de 2006, o terreno escolhido para sediar a área experimental se encontrava na condição de campo nativo, predominantemente constituído por espécies de gramínea, sobressaindo-se a grama forquilha (*Paspalum notatum*). Após a demarcação da área

experimental, a pastagem nativa foi dessecada quimicamente, pela aplicação do herbicida glifosato, na dose de 3,5 L ha<sup>-1</sup>, por duas vezes, sendo a primeira em 15 de outubro e a segunda em 10 de dezembro do ano de 2006.

### 3.2. Tratamentos estudados e sua implantação

Transcorridos 1,5 meses da última dessecação da pastagem nativa na área experimental, em 22 de janeiro de 2007, foram implantados os tratamentos da pesquisa, em número de seis, sem repetição (por falta de espaço físico adequado na área experimental e por dificuldades operacionais), constituídos de métodos de preparo do solo e tipos de adubação, utilizando o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste, assim especificados:

- Tratamento 1: escarificação, sem adubação (tratamento testemunha 1); nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como Esc. sem ad.;
- Tratamento 2: escarificação, adubação mineral; nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como Esc. ad. min.;
- Tratamento 3: escarificação, adubação orgânica; nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como Esc. ad. org.;
- Tratamento 4: semeadura direta, sem adubação (tratamento testemunha 2); nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como SD sem ad.;
- Tratamento 5: semeadura direta, adubação mineral; nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como SD ad. min., e
- Tratamento 6: semeadura direta, adubação orgânica; nas tabelas e figuras deste trabalho, este tratamento encontra-se referido como SD ad. org..

A operação de escarificação foi executada com escarificador de hastes parabólicas, com ponteiros estreitas (0,06 m de largura), em número de

cinco, as quais se encontravam espaçadas uma da outra de 0,45 m e operaram à profundidade de 0,15 m no solo. Este equipamento portava em sua parte traseira rolo destorroador, com o propósito de dar melhor acabamento à preparação do leito de semeadura. A operação de semeadura, em ambos os tratamentos estudados de preparo do solo, foi executada com máquina semeadora-adubadora de semeadura direta, com discos de corte de palha do tipo desencontrados, seguidos de hastes sulcadoras (0,02 m de largura), as quais operaram à profundidade de 0,06 m no solo. Estas hastes sulcadoras normalmente são usadas com a finalidade de colocar o adubo em profundidade no solo, podendo a mesma variar de 0,06 m a 0,12 m. No presente trabalho, entretanto, tendo em vista que o adubo em ambos os tratamentos estudados de preparo do solo foi aplicado manual e superficialmente (lanço) antes da operação de preparo do solo e de semeadura da cultura, as referidas hastes sulcadoras (também denominadas facões) serviram apenas para causar alguma mobilização no solo nos tratamentos com semeadura direta, em função do solo se encontrar na condição de campo nativo, com sua superfície consolidada, e uma mobilização adicional, circunstancial, nos tratamentos com escarificação. As operações de preparo do solo e semeadura da cultura foram realizadas 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 pluvial (Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997).

Para a implantação da cultura do milho, foram utilizadas sementes da cultivar AGN 2012, safra 2005/2006, com 98% de pureza, as quais foram previamente tratadas com o inseticida imidacropil (ingrediente ativo). As sementes foram distribuídas no espaçamento de 0,45 m entre linhas, correspondendo à população de 71.500 plantas ha<sup>-1</sup>.

A adubação empregada foi definida a partir da análise do solo, seguindo as recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004). Como já informado, os adubos, tanto mineral quanto orgânico (tratamentos de adubação), foram distribuídos manual e superficialmente, a lanço, antes das operações de preparo do solo e semeadura da cultura, em 22 de janeiro de

2007. Nos tratamentos com adubação mineral aplicou-se uréia como fonte de nitrogênio e superfosfato triplo como fonte de fósforo (não foi aplicado potássio por ele se encontrar em teor alto no solo). A dose de nitrogênio foi dividida em duas aplicações, sendo a primeira na implantação da cultura, de 28,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, e a segunda, em cobertura, 40 dias após a semeadura, de 58,4 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nos tratamentos com adubação orgânica, a dose aplicada (kg ha<sup>-1</sup>, base seca) da cama de aviário foi calculada com base no teor total de fósforo contido na mesma e na dose deste elemento recomendada para a cultura do milho. Os teores de nutriente nos materiais empregados como adubo e as quantidades destes últimos aplicadas ao solo podem ser visto na tabela 1.

TABELA 1: Teores de nutriente nos materiais empregados como adubo e quantidades destes últimos aplicadas ao solo

Nutriente	Cama de aviário		Superfosfato triplo		Uréia	
	Teor no material <sup>1</sup> (%)	Quantidade aplicada (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor no material <sup>2</sup> (%)	Quantidade aplicada (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor no material <sup>2</sup> (%)	Quantidade aplicada (kg ha <sup>-1</sup> )
N	2,5	102,0	- <sup>3</sup>	-	45,0	87,0
P	1,6	65,1	19,7	70,2	-	-
K	2,2	89,5	-	-	-	-
Ca	1,7	69,1	12,0	45,0	-	-
Mg	0,8	32,1	-	-	-	-

<sup>1</sup>Valor determinado; umidade = 24% (base gravimétrica, a 60 °C); valor de neutralização = 6%.

<sup>2</sup>Valor estimado. <sup>3</sup>Ausente.

### 3.3. Unidades experimentais

Tendo sido implantados os tratamentos na área experimental, em 22 de janeiro de 2007, instalaram-se, na mesma data, em pares, as unidades experimentais da pesquisa ou parcelas de erosão, em número de seis, sendo uma para cada tratamento (sem repetição, pois, conforme foi esclarecido no item 3.2). Cada parcela possuía 3,5 m de largura por 11 m de comprimento, com a maior dimensão sendo disposta no sentido do declive do terreno. O espaçamento entre parcelas (local onde foi posicionado o aparelho simulador de chuva), num dado par das mesmas, foi de 3,5 m, enquanto o entre pares de parcela, foi de 4,0 m.

As laterais e a extremidade superior de cada parcela foram delimitadas com chapas galvanizadas, com dimensões de 2,0 m de

comprimento por 0,20 m de altura cada uma, as quais foram cravadas 0,10 m no solo. Na extremidade inferior de cada parcela foi instalada uma calha para coleta da enxurrada ou material integral da erosão (partículas de solo+água de escoamento superficial), confeccionada com chapa galvanizada, a qual era mantida coberta, com tampa construída também com chapa galvanizada, durante todo o tempo de aplicação das chuvas simuladas. A cada uma dessas calhas foi acoplado um cano plástico (tipo PVC) com 6 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, o qual conduzia a enxurrada até uma pequena trincheira, localizada 6,0 m abaixo, onde eram, intermitentemente, a cada três minutos, coletadas amostras da mesma (maiores detalhes a respeito serão fornecidos adiante).

#### **3.4. Aparelho simulador de chuva e testes de erosão**

O aparelho simulador de chuva empregado no estudo foi o de braços rotativos, idealizado por Swanson (1965). Este aparelho possui dez braços giratórios, construídos com ferro galvanizado, com três bicos aspersores (tipo V-Jet 80/100) em cada braço, distribuindo, uniforme e simultaneamente, gotas de água em forma de chuva sobre duas unidades experimentais ou parcelas de erosão.

Para a concretização do presente trabalho, efetuou-se dois testes de erosão com chuva simulada (um terceiro teste foi realizado no estudo, próximo à colheita do milho, porém, para outra finalidade, razão porque os seus resultados não serão apresentados neste trabalho), ambos na intensidade constante de  $64 \text{ mm h}^{-1}$  e duração de 1,5 h, perfazendo o total de chuva aplicada de 96 mm. O primeiro teste foi realizado logo após a implantação dos tratamentos, por ocasião da semeadura do milho, em 23 de janeiro de 2007, e o segundo, 2,5 meses mais tarde, em 13 de abril de 2007, no estágio de pendoamento da cultura.

### **3.5. Amostras e determinações**

#### **3.5.1. No solo da área experimental, antes da implantação dos tratamentos**

Antes da implantação dos tratamentos o solo da área experimental, ainda na sua condição de campo nativo, porém, com a pastagem já dessecada uma vez (há um mês, conforme registrado no item 3.1), foi caracterizado física e quimicamente, bem como teve medida a sua declividade, de modo como será a seguir descrito.

##### **3.5.1.1. Caracterização física**

Para esta avaliação foram coletadas amostras compostas de solo, constituídas de subamostras em número variável, dependentes do tipo de determinação, de cada local onde foram, mais tarde, instaladas as unidades experimentais da pesquisa (parcelas de erosão). Assim, foram coletadas três subamostras nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm do solo, para as determinações de composição granulométrica, densidade de partícula e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados. Para as determinações de densidade do solo e macro, micro e porosidade total coletaram-se duas subamostras, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo. Os procedimentos adotados na obtenção dos valores destas variáveis serão descritos a seguir.

##### **- Composição granulométrica**

Para esta determinação as amostras de solo coletadas no campo foram secadas ao ar, em laboratório, por, aproximadamente, duas semanas, após o que foram peneiradas a 2,0 mm e analisadas pelo método da pipeta, conforme descrito em EMBRAPA (1997). Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{g kg}^{-1}$ .

##### **- Densidade de partícula**

Para esta determinação usaram-se as mesmas amostras utilizadas na determinação da composição granulométrica do solo, as quais foram

analisadas pelo método do balão volumétrico, com o emprego de álcool etílico, conforme descrito em Gubiani et al. (2006). Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{Mg m}^{-3}$ .

- Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados

Para esta determinação usaram-se amostras de solo preparadas ainda no campo, sob a umidade atual do solo, constituídas de agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,76 mm, as quais foram levadas para o laboratório e postas a secar ao ar. O teor de água no solo nas amostras secas ao ar, para posterior conversão da massa de solo utilizada na análise em base de massa seca em estufa, foi determinado pelo método gravimétrico, secando-se as mesmas a  $105^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas, conforme descrito em Forsythe (1975). Os agregados de solo foram separados nas classes de tamanho de 8,00 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  $<0,25$  mm, usando a técnica de peneiramento a úmido (Yoder, 1936; Kemper e Chepil, 1965). No entanto, neste trabalho foram usadas amostras com massa de 50,0 g e tempo e velocidade de oscilação do conjunto de peneiras de, respectivamente, 10 minutos e 45 ciclos por minuto, enquanto o método original preconiza o uso de amostra com massa de 25,0 g e tempo e velocidade de oscilação do conjunto de peneiras de, respectivamente, 30 minutos e 30 ciclos por minuto. Os resultados foram expressos na unidade de mm.

- Densidade do solo

Para esta determinação coletaram-se amostras não-deformadas de solo, usando cilindros metálicos com 5,0 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro, tendo sido analisadas segundo a metodologia descrita em Forsythe (1975). Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{Mg m}^{-3}$ .

- Macro, micro e porosidade total

Para estas determinações foram coletadas amostras de solo com os mesmos cilindros metálicos usados na determinação da densidade do solo. A porosidade total do solo foi determinada seguindo a metodologia descrita em

Danielson e Sutherland (1986), enquanto a macro e a microporosidade, por sucção, utilizando funil e coluna de água com 60 cm de altura, conforme descrito em Bouma (1973). Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

- Resistência do solo à penetração mecânica

Para esta determinação foram tomadas leituras diretas no solo, com penetrógrafo estático (SOILCONTROL - Penetrographer<sup>PTA</sup> SC-60), em três (03) pontos aleatórios dentro de cada parcela experimental. Os resultados foram expressos na unidade de kPa.

### **3.5.1.2. Caracterização química**

Para esta avaliação foram consideradas as características químicas do solo usualmente empregadas na avaliação do estado geral de sua fertilidade, quais sejam: pH em água, fósforo extraível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, teor de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e saturação por bases. Para isso, foram coletadas amostras compostas de solo, constituídas de seis subamostras cada uma, de cada local onde foram, mais tarde, instaladas as unidades experimentais da pesquisa (parcelas de erosão). Estas amostras foram coletadas das camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm do solo, de forma análoga como se procedeu com a sua caracterização física. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, tendo sido analisadas seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

### **3.5.1.3. Medição da declividade do terreno**

Esta avaliação foi feita em triplicata, em cada local onde foram, mais tarde, instaladas as unidades experimentais da pesquisa ou parcelas de erosão, usando clinômetro. Para isso, tomaram-se como pontos-base as cotas das extremidades superior e inferior de cada (futura) unidade experimental. Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{m m}^{-1}$ .



### **3.5.2. No solo das parcelas experimentais, logo após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada**

Nessa ocasião três determinações principais foram efetuadas, de tipo e modo como serão a seguir descritos.

#### **3.5.2.1. Cobertura por resíduo cultural**

A cobertura do solo por resíduo cultural (restos vegetais da pastagem nativa dessecada) foi determinada pelo método da corda marcada ou linha de transecção de pontos, segundo Hartwig e Laflen (1978). Para isso, utilizou-se fita métrica com 10 m de comprimento, a qual foi estendida na diagonal de cada parcela, contando-se os pontos da mesma que, a cada 10 cm, ao longo da fita, olhando-se na vertical, interceptavam uma dada peça do resíduo cultural. O número de vezes que os referidos pontos da fita métrica interceptavam uma dada peça do resíduo cultural foi tomado como sendo igual à percentagem de cobertura do solo pelo referido material. Esta medição foi feita em duplicata, em cada parcela experimental. Os resultados foram expressos nas unidades de  $m^2 m^{-2}$ .

#### **3.5.2.2. Rugosidade superficial induzida pelo preparo**

Esta avaliação foi feita qualitativamente, por meio da observação visual, observando o microrelevo resultante das operações de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura que foram empregadas no estudo e qualificando-o em função dos valores quantitativos reportados na literatura para os mesmos tipos de operação agrícola, conforme consta em Johnson et al. (1979a) e Cogo et al. (1983).

#### **3.5.2.3. Consolidação da camada superficial do solo**

Esta avaliação também foi feita qualitativamente, por meio da observação visual e do tato, apoiada, entretanto, em algumas leituras de resistência do solo à penetração mecânica tomadas aleatoriamente com penetrômetro estático em cada parcela experimental.

### **3.5.3. No solo das parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada**

Ao completar 75 dias da implantação dos tratamentos, no estágio de pendoamento do milho, cinco dias antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada, procedeu-se à nova caracterização física e química do solo nas unidades experimentais (parcelas de erosão), bem como à avaliação de alguns parâmetros de planta, de tipo e modo como serão a seguir descritos.

#### **3.5.3.1. Caracterização física**

As características físicas de solo avaliadas nessa época do estudo foram as de densidade, macro, micro e porosidade total, além do seu teor de água, todas na camada de 0 a 10 cm do solo, empregando-se a mesma metodologia referida no item 3.5.1.1.

#### **3.5.3.2. Caracterização química**

As características químicas de solo avaliadas nessa época do estudo foram as de pH, fósforo extraível, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, além do teor de matéria, todas nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm do solo, empregando-se a mesma metodologia referida no item 3.5.1.2.

#### **3.5.3.3. Medição de parâmetros de planta**

Os parâmetros de planta avaliados nessa época do estudo foram os de altura média de planta, biomassa aérea (dossel), biomassa subterrânea (raízes) e teor de nutrientes na folha, de modo como será a seguir descrito.

A medição de altura das plantas foi efetuada com fita métrica, medindo-se a altura de dez plantas representativas da cultura em cada unidade experimental e posteriormente tomando-se a média aritmética das leituras. Os resultados foram expressos na unidade de m.

A medição da biomassa aérea (dossel) foi efetuada por meio da coleta de plantas representativas da cultura de uma área de 1 m<sup>2</sup> em cada

unidade experimental e descartando-se as espigas. As amostras foram secadas em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. Após os devidos cálculos e conversões os resultados foram expressos nas unidades de kg ha<sup>-1</sup>.

A medição da biomassa subterrânea (raízes) foi efetuada por meio da coleta de amostras compostas de solo, constituídas de seis subamostras cada uma, usando trado de ferro de formato cilíndrico com 4,1 cm de diâmetro. As subamostras foram coletadas de uma região representativa em cada unidade experimental, próxima às plantas de milho, da seguinte forma: duas subamostras na região da linha (entre plantas) e quatro na região da entre linhas (duas de cada lado da planta), nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo. No momento de coleta das amostras observou-se grande quantidade de raízes das espécies (mortas) de gramínea 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 secadas ao ar. Após a secagem elas foram leve e manualmente destorroadas, sob jato de água de torneira, sobre peneira com abertura de malha 0,5 cm, lavando-se e separando-se as raízes da massa de solo que as envolviam. Após terem sido lavadas e separadas, as raízes foram postas a secar em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. Após os devidos cálculos e conversões os resultados foram expressos nas unidades de kg ha<sup>-1</sup>.

A medição dos teores de nutriente na folha do milho foi efetuada coletando-se o terço médio da folha oposta à espiga principal, em dez plantas representativas da cultura, em cada unidade experimental, formando uma amostra composta. O material coletado foi secado em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. Após as amostras foram moídas, acondicionadas e enviadas ao Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS para a determinação dos teores totais de N, P, K, Ca e Mg, seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Os resultados foram expressos nas unidades de g kg<sup>-1</sup>.

### 3.5.4. Nos testes de erosão com chuva simulada

Durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada várias determinações foram efetuadas, de tipo e modo como serão a seguir descritos.

#### 3.5.4.1. Checagem da intensidade das chuvas

Para esta avaliação foram colocados, de forma estratégica, 20 canecos de alumínio, usados como pluviômetros e especialmente confeccionados para esse fim, sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva, conforme ilustrado na figura 1. A checagem da intensidade das chuvas aplicadas foi efetuada por meio da medição dos volumes de água contidos nos canecos e dividindo-se o resultado médio obtido pelo tempo de duração da chuva. Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{mm h}^{-1}$ .

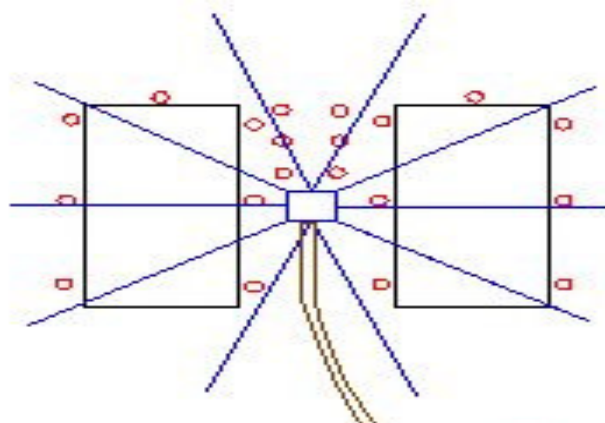


FIGURA 1. Ilustração da distribuição dos canecos de alumínio, usados como pluviômetros, sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva para checagem da intensidade das chuvas aplicadas.

#### 3.5.4.2. Teor de água no solo antecedente às chuvas

Para esta determinação foram coletadas amostras compostas de solo, constituídas de três subamostras cada uma, nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm, em cada unidade experimental, usando-se trado calador. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio, vedadas e levadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFRGS, onde

foram pesadas e secadas em estufa, a 105°C, até peso constante. O teor de água nas mesmas, em base gravimétrica, foi calculado conforme a metodologia descrita em Forsythe (1975). Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{kg kg}^{-1}$ .

#### **3.5.4.3. Tempos de início e equilíbrio da enxurrada**

Estes parâmetros foram medidos com cronômetro, expressando-se os resultados na unidade de min.

#### **3.5.4.4. Taxa de descarga e coeficiente de enxurrada**

A taxa de descarga ou vazão da enxurrada foi medida em intervalos regulares de tempo, de três minutos cada um, durante o período inteiro de sua ocorrência, usando proveta graduada e de cronômetro. Para isso, a proveta era posicionada sob o fluxo de enxurrada que provinha da parcela experimental, coletando-se um dado volume da mesma, em um dado tempo (variável, de 15 a 3 segundos, conforme a intensidade do fluxo). Neste trabalho são apresentados apenas os valores de taxa constante de descarga da enxurrada, os quais foram expressos nas unidades de  $\text{mm h}^{-1}$ . O coeficiente de enxurrada - parâmetro C da Fórmula Racional de predição da taxa máxima de descarga da enxurrada - foi obtido pela razão entre a taxa máxima observada de descarga da enxurrada e a taxa planejada da chuva simulada aplicada ( $64 \text{ mm h}^{-1}$ ), conforme descrito em Schwab et al. (1981), com os resultados sendo adimensionais.

#### **3.5.4.5. Taxa de infiltração de água no solo**

A taxa de infiltração de água no solo foi obtida por diferença entre a taxa planejada da chuva aplicada ( $64 \text{ mm h}^{-1}$ ) e a taxa observada de descarga da enxurrada (item 3.5.4.4), a cada três minutos, durante o período inteiro de duração da chuva. Neste trabalho, entretanto, são apresentados apenas os valores de taxa constante desta variável (infiltração básica), com os resultados sendo expressos nas unidades de  $\text{mm h}^{-1}$ .

#### **3.5.4.6. Concentração de sedimento na enxurrada**

Nos mesmos intervalos de tempo em que foram medidas as taxas de descarga da enxurrada (a cada três minutos, conforme registrado no item 3.5.4.4), foram coletadas amostras da mesma para posterior determinação, em laboratório, da sua concentração de sedimento (partículas de solo removidas pela erosão) e, em prosseguimento, da perda total de solo (item 3.5.4.9, adiante). Para isso, foram utilizados potes plásticos com capacidade de 1,0 L, os quais eram posicionados sob o fluxo de enxurrada e enchidos até o seu limite, sendo posteriormente levados para o laboratório. Chegadas a este recinto os potes plásticos contendo enxurrada foram pesados e, a cada um deles, adicionados 3 mL de solução de alúmen de potássio, a 5%, deixando-os em repouso por 24 horas para decantação do sedimento. A seguir a água sobrenadante contida nos potes foi drenada, com o auxílio de sifão, sendo os mesmos postos a secar em estufa, a 60° C, até peso constante. A concentração de sedimento na enxurrada foi obtida dividindo-se a massa seca (60° C) de sedimento, contida na amostra, pelo volume total da mesma. Os resultados foram expressos nas unidades de mg L<sup>-1</sup>.

#### **3.5.4.7. Concentração de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada**

Para estas avaliações foram coletadas quatro amostras compostas de enxurrada, cada uma delas constituída de cinco subamostras (200 mL cada uma, coletados com copo de Becker), as quais eram regularmente tomadas, a cada três minutos, durante uma hora, a partir do início da enxurrada, da mesma forma como foram coletadas as amostras desta última para determinação da sua taxa de descarga e da sua concentração de sedimento (respectivamente, itens 3.5.4.4 e 3.5.4.6). No entanto, neste caso, cada cinco subamostras coletadas de enxurrada foram colocadas num mesmo recipiente (pote plástico de 1 Lt), para cada período consecutivo de tempo, de 15 minutos cada um. Foram determinadas as concentrações variável (no tempo) e média de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada ou material integral da erosão (partículas de solo+água de escoamento superficial), seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Os nutrientes determinados foram os seguintes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), nas suas

formas totais, com os resultados sendo expressos nas unidades de  $\text{mg L}^{-1}$ . Os resultados da determinação da concentração variável (no tempo) de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada ou material integral da erosão não serão apresentados neste trabalho, estando sendo aqui informados apenas para o melhor entendimento do cálculo de suas concentrações médias, o qual foi feito do modo descrito abaixo.

A concentração média de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada ou material integral da erosão (partículas de solo+água de escoamento superficial) foi obtida por meio da média aritmética dos valores da sua concentração variável (no tempo), referida no parágrafo anterior, obtidos nos quatro intervalos consecutivos de tempo, de 15 minutos cada um, durante uma hora, a partir do início da enxurrada. Os resultados foram expressos nas unidades de  $\text{mg L}^{-1}$ .

#### **3.5.4.8. pH e condutividade elétrica da enxurrada**

O pH e a condutividade elétrica da enxurrada foram medidos nos potes plásticos que continham suas amostras (item 3.5.4.7), as quais foram coletadas para determinação da sua concentração e da sua perda total de matéria orgânica e de nutrientes, assim que findava a aplicação de cada chuva simulada. Para isso, foram utilizados medidor de pH com eletrodo de vidro e condutivímetro, ambos tendo sido previamente calibrados. A condutividade elétrica foi expressa nas unidades de  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

#### **3.5.4.9. Perda total de água**

A perda total de água da chuva na forma de enxurrada foi obtida integrando-se os valores de taxa observada de descarga da enxurrada, obtidos no campo, a cada três minutos (item 3.5.4.4), sobre o tempo inteiro de duração da chuva (90 minutos), conforme descrito em Cogo (1981), usando o programa PEDEROSÃO, desenvolvido (e gentilmente cedido) pelo professor Elemar Antonino Cassol, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Os resultados foram expressos na unidade de %, em relação à quantidade total aplicada de chuva.

#### **3.5.4.10. Perda total de solo**

A perda total de solo por erosão foi obtida integrando-se os valores do resultado da multiplicação dos valores observados de taxa de descarga da enxurrada (3.5.4.4) pelos de concentração de sedimento na mesma (item 3.5.4.6), obtidos ao longo das chuvas simuladas, conforme descrito em Cogo (1981), também usando o programa PEDEROSÃO há pouco mencionado. Os resultados finais expressos nas unidades de  $\text{kg ha}^{-1}$ .

#### **3.5.4.11. Perda total de matéria orgânica e de nutrientes**

A perda total de matéria orgânica e de nutrientes por erosão foi calculada multiplicando-se os valores de suas concentrações médias na enxurrada (item 3.5.4.7) pelos de quantidade total desta última (item 3.5.4.9). Os valores foram expressos nas unidades de  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **3.6. Análise e interpretação dos dados**

Tendo em vista que no presente trabalho não houve repetição de tratamentos, pelas razões expostas no item 3.2, conseqüentemente não tendo sido feita a análise estatística dos dados, os resultados obtidos foram analisados e interpretados com base em teorias e conceitos (usados como elementos de lógica) desenvolvidos em estudos de mecânica da erosão hídrica do solo e utilizando o bom senso, conforme também feito por Cogo (1981), entre vários outros pesquisadores. Este procedimento inquestionavelmente não invalida os resultados e o cunho científico da presente pesquisa, em que pese ter-se consciência de que teria sido melhor ter desenvolvido um trabalho obedecendo a um determinado delineamento experimental.



## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Características do solo na área experimental, antes da implantação dos tratamentos**

#### **4.1.1. Características físicas: composição granulométrica, teor de matéria orgânica, densidade de partícula, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade do solo, macro, micro e porosidade total e resistência do solo à penetração mecânica**

Analisando as características físicas do solo na área experimental, obtidas na sua condição original de campo nativo, em que cada local onde foram, mais tarde, implantados os tratamentos da pesquisa (Tabela 2), pode-se dizer que, considerando a variabilidade natural existente no solo, os resultados obtidos foram próximos uns dos outros (exceto um e outro valor isolado), em cada camada avaliada do solo, denotando, dentro de limites, a homogeneidade física do solo na área em questão. Verifica-se ainda que, de modo geral, o teor de argila, a densidade de partícula e a densidade do solo aumentam com a profundidade na camada superficial do solo, enquanto os teores de areia e silte, o diâmetro médio ponderado de agregados, o teor de água e a macro, micro e porosidade total, diminuem. Dentre os valores obtidos destas características originais do solo, merecem ser destacados os de densidade do solo, altos, e os de macro e porosidade total, baixos, do ponto de vista de desenvolvimento do sistema radicular das plantas e de infiltração de água no solo.

Os resultados de resistência do solo à penetração mecânica, também obtidos na sua condição original de campo nativo, são apresentados na figura 2. Analisando os dados, verifica-se que, de modo similar ao ocorrido

TABELA 2. Características físicas do solo em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos (continua...)

Local/futuro tratamento	Profundidade	Granulometria			Dp <sup>1</sup>	DMP <sup>2</sup>
		Areia	Silte	Argila		
	cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----			Mg m <sup>-3</sup>	mm
1/Esc. sem ad.	0 - 5	530	344	126	2,46	4,8
	5 - 10	507	342	152	2,52	4,7
	10 - 15	500	324	176	2,57	3,6
2/Esc. ad. min.	0 - 5	556	310	134	2,47	5,2
	5 - 10	555	298	148	2,55	5,0
	10 - 15	557	290	153	2,60	4,6
3/Esc. ad. org.	0 - 5	574	292	135	2,54	4,8
	5 - 10	568	282	150	2,65	3,8
	10 - 15	550	290	160	2,54	3,0
4/SD sem ad.	0 - 5	526	330	145	2,30	5,3
	5 - 10	516	307	178	2,54	5,0
	10 - 15	515	305	181	2,54	3,7
5/SD ad. min.	0 - 5	541	326	133	2,45	5,1
	5 - 10	523	323	154	2,61	4,6
	10 - 15	572	271	157	2,50	4,3
6/SD ad. org.	0 - 5	579	304	117	2,53	5,3
	5 - 10	585	278	138	2,50	5,0
	10 - 15	565	280	155	2,42	4,5

<sup>1</sup>Densidade de partícula. <sup>2</sup>Diâmetro médio ponderado de agregados.

TABELA 2... continuação.

Local/futuro tratamento	Profundidade	Teor de água no solo	Ds <sup>3</sup>	Porosidade do solo		
				Macro	Micro	Total
	cm	kg kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----		
1/Esc. sem ad.	0 - 10	0,20	1,47	0,11	0,34	0,45
	10 - 20	0,17	1,64	0,06	0,30	0,36
2/Esc. ad. min.	0 - 10	0,19	1,51	0,08	0,33	0,41
	10 - 20	0,15	1,69	0,05	0,29	0,34
3/Esc. ad. org.	0 - 10	0,19	1,48	0,11	0,31	0,42
	10 - 20	0,16	1,74	0,06	0,31	0,37
4/SD sem ad.	0 - 10	0,20	1,53	0,06	0,37	0,43
	10 - 20	0,17	1,60	0,06	0,30	0,36
5/SD ad. min.	0 - 10	0,17	1,59	0,07	0,31	0,38
	10 - 20	0,15	1,70	0,05	0,28	0,33
6/SD ad. org.	0 - 10	0,17	1,51	0,14	0,28	0,42
	10 - 20	0,15	1,73	0,04	0,29	0,33

<sup>3</sup>Densidade do solo.

com as características físicas do solo já tratadas, não houve diferenças acentuadas entre os mesmos na camada mais superficial do solo (0 a 10 cm). Nesta camada, praticamente todos os valores de resistência do solo à penetração mecânica situaram-se abaixo de 2.000 kPa (no teor de água no solo em que a variável foi medida, de  $0,18 \text{ kg kg}^{-1}$  – Tabela 2, em sua segunda parte, o qual pode ser considerado alto), valor este considerado crítico para o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das plantas cultivadas (Taylor et al., 1966; Forsythe, 1975). No entanto, já partir dos 10 cm de profundidade no solo, os valores passaram a ultrapassar o referido valor crítico (no teor de água no solo em que a variável foi medida, de  $0,16 \text{ kg kg}^{-1}$ , registrado para a camada de 10 a 20 cm – Tabela 2, em sua segunda parte, o qual ainda pode ser considerado alto), em taxa acentuada e aproximadamente linear, denotando a alta consolidação da superfície do solo na sua condição de campo nativo, em função da ausência de mobilização do solo e do trânsito de animais.

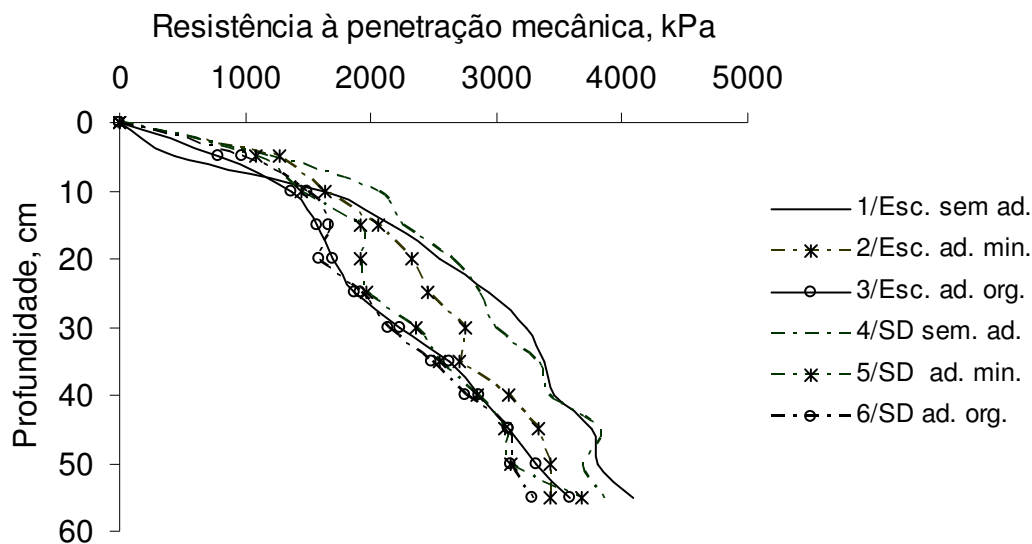


FIGURA 2. Resistência do solo à penetração mecânica em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos (Obs: o teor gravimétrico de água no solo, em duas profundidades na sua camada superficial, no momento da medição da variável em questão, é mostrado na tabela 2, em sua segunda parte).

Desta forma, pode-se dizer que, muito provavelmente, considerando os objetivos do presente trabalho e os tratamentos que foram nele incluídos, as

diferenças observadas nos valores das características físicas do solo na área experimental, na sua condição original de campo nativo, antes da implantação dos tratamentos, não constituíram fonte de variação que merecesse atenção na presente pesquisa. Assim, em princípio, pode-se dizer que as diferenças ocorridas nos valores dos parâmetros de planta e erosão hídrica considerados no estudo, a serem apresentadas e discutidas adiante, foram devidas às diferenças impostas ao solo pelos tratamentos em estudo. Entretanto, vale dizer que os dados apresentados na tabela 2 e na figura 2 não deixam de constituir interessante base de apoio para, eventualmente, esclarecer particularidades relacionadas ao assunto.

#### **4.1.2. Características químicas: matéria orgânica, pH em água, fósforo extraível, potássio cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação por bases**

Analisando os resultados das características químicas do solo na área experimental (Tabela 3), obtidos na sua condição original de campo nativo, em cada local onde foram, mais tarde, implantados os tratamentos da pesquisa, verifica-se que, de modo similar como ocorreu com (e foram interpretadas) as características físicas do solo (item 4.1.1), os resultados foram próximos uns dos outros, em cada camada avaliada do solo, denotando, dentro de limites, também a homogeneidade química do solo na área em questão. Verifica-se ainda que, exceto o alumínio trocável, cujo valor aumenta, todas as características químicas avaliadas têm, de modo geral, seus valores diminuídos com a profundidade na camada superficial do solo. Dentre os valores obtidos destas características originais do solo, merecem ser destacados os de potássio trocável, de modo geral altos, o que pode ser explicado pelo material de origem (rocha granítica) do solo da área experimental, e os de fósforo disponível, em geral muito baixos, implicando alta dose deste elemento (como ilustração,  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) a ser aplicada quando da adubação da cultura do milho.

TABELA 3. Características químicas do solo em diferentes locais e profundidades no terreno da área experimental, antes da implantação dos tratamentos

Local/futuro tratamento	Profundidade	MO <sup>1</sup>	pH <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>	K <sup>4</sup>	Al <sup>4</sup>	Ca <sup>4</sup>	Mg <sup>4</sup>	CTC <sup>5</sup>	Saturação por bases
	cm	g kg <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%
1/Esc. sem ad.	0 a 5	36	5,4	2,5	172	0,3	2,7	1,7	9,7	58
	5 a 10	30	5,2	1,9	95	0,9	2,1	1,3	9,7	37
	10 a 15	22	5,1	1,4	79	1,3	1,7	0,9	8,3	36
2/Esc. ad. min.	0 a 5	34	5,4	1,1	173	0,2	2,1	1,4	7,4	53
	5 a 10	25	5,1	1,2	109	0,9	1,5	0,9	7,0	38
	10 a 15	19	5,1	1,2	94	1,1	1,3	0,8	6,7	35
3/Esc. ad. org.	0 a 5	33	5,3	1,6	167	0,5	2,0	1,3	9,9	38
	5 a 10	23	5,1	1,4	121	0,9	1,4	0,9	5,7	46
	10 a 15	22	5,0	1,4	94	1,2	1,3	0,7	6,6	34
4/SD sem ad.	0 a 5	31	5,0	2,0	122	1,0	1,8	1,0	8,6	36
	5 a 10	27	5,0	1,3	103	1,3	1,6	0,9	8,9	31
	10 a 15	22	5,1	1,3	109	1,0	1,5	0,9	7,0	38
5/SD ad. min.	0 a 5	32	5,4	1,9	189	0,2	2,3	1,6	8,3	53
	5 a 10	27	5,3	1,4	148	0,7	1,8	1,2	7,3	46
	10 a 15	21	5,2	1,2	126	1,0	1,5	0,9	7,1	38
6/SD ad. org.	0 a 5	29	5,4	2,1	144	0,3	1,9	1,3	7,5	48
	5 a 10	22	5,0	1,7	125	0,7	1,6	1,0	6,0	49
	10 a 15	21	5,1	1,4	107	1,0	1,5	0,9	7,0	38

<sup>1</sup>Matéria orgânica. <sup>2</sup>Determinado em água. <sup>3</sup>Fósforo extraível (Mehlich-1). <sup>4</sup>Potássio, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis. <sup>5</sup>Capacidade de troca de cátions (pH 7,0).

Assim, pode-se dizer que, muito provavelmente, considerando os objetivos deste trabalho e os tratamentos que foram nele incluídos, as diferenças nos valores das características químicas do solo na área experimental, na sua condição original de campo nativo, antes da implantação dos tratamentos, igualmente como as características físicas, não constituíram fonte de variação que merecesse atenção na presente pesquisa. Assim, em princípio, pode-se dizer que as diferenças ocorridas nos valores dos parâmetros de planta e erosão hídrica considerados no estudo, a serem apresentadas e discutidas adiante, foram devidas às diferenças impostas ao solo pelos tratamentos em estudo. Entretanto, vale também dizer aqui que os dados apresentados na tabela 3 não deixam de constituir interessante base de apoio para, eventualmente, esclarecer particularidades relacionadas ao assunto.

#### **4.2. Condição física externa ou de superfície do solo nas parcelas experimentais, logo após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada**

Analisando as condições físicas externas ou de superfície do solo nas parcelas experimentais (Tabela 4 e Figura 3), presentes imediatamente após a implantação dos tratamentos da pesquisa (por ocasião da semeadura do milho, antes da aplicação da primeira chuva simulada), verifica-se que, exceto a declividade do solo, cujos valores resultaram relativamente homogêneos e independem de tratamentos da natureza como os que foram aplicados, eles foram bastante influenciados pelos tratamentos em estudo.

Iniciando a análise com os resultados de cobertura superficial do solo, constituída do resíduo cultural (dessecado) da pastagem nativa, verifica-se que ela decresceu ao valor médio de  $0,41 \text{ m m}^{-1}$  ou 41% (variação de  $0,34 \text{ m m}^{-1}$  ou 34% a  $0,49 \text{ m m}^{-1}$  ou 49%) nos tratamentos com escarificação, devido sua incorporação parcial ao solo pela passagem do escarificador, e permaneceu praticamente inalterada (próxima a  $1,0 \text{ m m}^{-1}$  ou 100%) nos tratamentos com semeadura direta (Tabela 4 e Figura 3). Estes resultados estão dentro da normalidade, dispensando maiores comentários a respeito, neste momento da discussão.

TABELA 4. Condições físicas externas ou de superfície do solo nas parcelas experimentais, um dia após a implantação dos tratamentos, antes da aplicação da primeira chuva simulada

Tratamento	Cobertura superficial <sup>1</sup> m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Grau e extensão de rugosidade superficial <sup>2</sup>	Grau e extensão de consolidação superficial <sup>2</sup>
Esc. sem ad.	0,49	médio/alto, parcial	nulo/alto, parcial
Esc. ad. min.	0,39	médio/alto, parcial	nulo/alto, parcial
Esc. ad. org.	0,34	médio/alto, parcial	nulo/alto, parcial
SD sem ad.	~1,0	mínimo, mínima	alto, integral
SD ad. min.	~1,0	mínimo, mínima	alto, integral

<sup>1</sup>Constituída do resíduo cultural (dessecado) da pastagem nativa. <sup>2</sup>Avaliados qualitativamente.



FIGURA 3. Vista detalhada das condições físicas externas ou de superfície do solo em dois tratamentos, logo após sua implantação, antes da aplicação da primeira chuva simulada (Obs: imagem da esquerda: semeadura direta; imagem da direita: escarificação).

Em relação à rugosidade superficial do solo induzida pelo preparo, em termos de grau e extensão de superfície do solo em que ela se fez presente, ela pode ser referida, respectivamente, como alta e parcial nos tratamentos com escarificação, em função da mobilização de solo em faixas nos mesmos, com as hastes do escarificador, e mínima e integral nos tratamentos com semeadura direta, em função da muito pouca mobilização de solo na mesma (Tabela 4 e Figura 3). Estes resultados, igualmente como os de cobertura superficial do solo, também podem ser considerados como estando dentro da normalidade, dispensando maiores comentários a respeito, neste

momento da discussão dos dados. Por oportuno, entretanto, é interessante lembrar que, decorrente da elevada rugosidade superficial do solo nos tratamentos com escarificação, também é elevada nos mesmos a porosidade total da camada preparada do solo, a qual é definida como a porosidade da sua massa original, ainda não-mobilizada, numa dada camada do mesmo, adicionada dos espaços ou vazios formados pelas microcavidades ou microdepressões, resultantes da elevação da superfície do solo durante a operação de seu preparo (Burwell et al., 1969). O efeito combinado destas duas variáveis (rugosidade superficial e porosidade total da camada preparada) é importante no que se refere aos processos de retenção e infiltração superficiais de água no solo.

Por fim, quanto à consolidação da superfície do solo, também em termos de grau e extensão de superfície do solo na qual ela se fez presente (também qualitativamente avaliados, conforme foi esclarecido na seção do material e métodos – item 3.5.2.3), eles podem ser referidos, respectivamente, como nulo/alto e parcial nos tratamentos com escarificação, em função da existência de faixas mobilizadas e não-mobilizadas de solo nos mesmos, decorrente da passagem das hastas do escarificador, e alto e integral nos tratamentos com semeadura direta, em função da sua muito pouca mobilização de solo (Tabela 4 e Figura 3). Estes resultados, igualmente como os de cobertura e rugosidade superficiais do solo, também podem ser considerados como estando dentro da normalidade, dispensando maiores comentários a respeito, neste momento da discussão dos dados.

Desta forma, pode-se dizer que as condições físicas (imediatas) externas ou de superfície do solo nas parcelas experimentais foram muito influenciadas pelos tratamentos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura em estudo, e, como será visto adiante, elas influenciaram os valores dos parâmetros de planta e erosão hídrica considerados na pesquisa.

#### **4.3. Características do solo nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada**



#### **4.3.1. Características físicas: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total**

Cinco dias antes da aplicação da segunda chuva simulada, em 08 de abril de 2007, correspondendo aos 75 dias da implantação dos tratamentos (estádio de pendramento do milho), foi procedida nova amostragem de solo nas parcelas experimentais, para as determinações físicas de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, porém, dessa vez, somente na camada mais superficial (0 a 10 cm). Os resultados dessa caracterização física são apresentados na tabela 5. Analisando os dados, verifica-se que eles foram mais influenciados pelos tratamentos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura do que pelos de adubação, como esperado. Assim, observa-se que a densidade do solo foi mais baixa nos tratamentos com escarificação do que nos com semeadura direta, o que se refletiu em maiores macroporosidade e porosidade total nos mesmos, explicado pelo fato deles terem sofrido maior mobilização de solo quando da implantação da cultura do milho. Neste momento, é importante comparar os resultados apresentados na tabela 5 também com os resultados apresentados na tabela 2, quando se fez a primeira caracterização física do solo na área experimental, e o mesmo ainda se encontrava na sua condição original de campo nativo (antes da implantação dos tratamentos). Assim, observa-se que, de modo geral, a densidade do solo era mais alta e a macroporosidade e a porosidade total mais baixa quando se fez a primeira caracterização física do solo (dados da Tabela 2 versus dados da Tabela 5). Esta alteração (positiva) nos valores das variáveis em questão pode ser creditada à mudança no tipo de cultivo da área experimental (campo nativo para cultura anual em fileira, no caso, milho), por meio, tanto do cultivo em si, quanto dos métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura e tipos de adubação empregados no estudo, melhorando a estrutura do solo, comparada à que ele tinha quando se encontrava na sua condição original de campo nativo (Santos et al., 2008).

Em virtude do exposto, pode-se dizer que as características físicas originais da camada superficial do solo, prevaletentes à época de sua condição de campo nativo, foram positivamente alteradas pelo cultivo de milho nas

parcelas experimentais, por meio dos métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura e tipos de adubação em estudo, no que pode ser denominado de efeito combinado de variáveis. Estas novas características físicas do solo influenciaram, na mesma direção, os valores dos parâmetros de planta e erosão hídrica considerados no estudo. Por oportuno, vale dizer que os dados apresentados na tabela 5 constituem interessante base de apoio para, eventualmente, esclarecer diferenças nos resultados de alguns parâmetros de planta e erosão hídrica medidos no estudo, associados ao segundo teste de erosão com chuva simulada, assunto o qual será tratado adiante.

TABELA 5: Características físicas do solo nas parcelas experimentais, na camada de 0 a 10 cm, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada

Tratamento	Teor de água no solo kg kg <sup>-1</sup>	Densidade do solo Mg m <sup>-3</sup>	Porosidade do solo		
			Macro	Micro	Total
			-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----		
Esc. sem ad.	0,27	1,21	0,16	0,33	0,49
Esc. ad. min.	0,25	1,36	0,11	0,33	0,44
Esc. ad. org.	0,23	1,24	0,17	0,34	0,51
SD sem ad.	0,31	1,41	0,08	0,36	0,44
SD ad. min.	0,24	1,46	0,11	0,31	0,41
SD ad. org.	0,27	1,54	0,11	0,32	0,43

#### 4.3.2. Características químicas: pH em água, teor de matéria orgânica, fósforo extraível potássio cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação por bases

Também cinco dias antes da aplicação da segunda chuva simulada, em 08 de abril de 2007, correspondendo aos 75 dias da implantação dos tratamentos (estádio de pendramento do milho), procedeu-se à nova amostragem química do solo nas parcelas experimentais, para as determinações de pH, fósforo extraível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, porém, dessa vez, somente nas camadas de solo de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. Os resultados dessa caracterização química são apresentados na tabela 6.

Analisando os resultados das características como um todo (independentemente do método de preparo do solo e do tipo de adubação), observam-se (Tabela 6) algumas tendências com relação ao fósforo e ao potássio. No que se refere ao tipo de adubação, percebe-se que os teores de fósforo extraível são superiores nos tratamentos com adubação mineral, enquanto os de potássio trocável mostram comportamento inverso, comparados aos tratamentos com adubação orgânica. Comparando os tratamentos com escarificação com os com semeadura direta, ambos com adubação mineral, percebe-se que os teores de fósforo extraível são, cerca de, 2,3 vezes mais elevados na escarificação. Na semeadura direta, os teores de fósforo são mais elevados sob a adubação orgânica. O maior desenvolvimento das plantas de milho nos tratamentos com escarificação, submetidos à adubação mineral (Tabela 7), pode ser um indicativo da possível maior absorção de potássio do solo, justificando o menor teor deste elemento nestes tratamentos (Tabela 6), tendo em vista que não foi efetuada a adubação potássica no estudo.

Comparando as características químicas do solo anteriores à implantação dos tratamentos (Tabela 3) com as obtidas 75 dias após (Tabela 6), no estágio de pendramento do milho, verifica-se que, em geral, os valores de pH, os teores de matéria orgânica, fósforo extraível, cálcio e magnésio trocáveis e a saturação por bases, tenderam a aumentar. Já os teores de potássio e alumínio trocáveis, diminuíram com a introdução do milho no campo nativo. A redução do teor de alumínio pode ser explicada pelo aumento do teor de matéria orgânica no solo, enquanto a diminuição do potássio pode ser atribuída à sua absorção pelas plantas, em quantidades relativamente altas. O aumento dos outros nutrientes e do pH e a diminuição do alumínio, seriam conseqüências, ao menos temporariamente, da decomposição dos restos da vegetação original (Silva et al., 2006), além dos efeitos da adubação. Como geralmente observado na literatura, as alterações nas características químicas do solo foram mais pronunciadas na sua camada mais superficial (0 a 5 cm), na qual também se constatou tendência de aumento do teor de matéria orgânica (Tabela 6).

TABELA 6. Características químicas do solo nas parcelas experimentais, nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada

Tratamento	Profundidade	MO <sup>1</sup>	pH <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>	K <sup>4</sup>	Al <sup>4</sup>	Ca <sup>4</sup>	Mg <sup>4</sup>	CTC <sup>5</sup>	Saturação por bases
	cm	g kg <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
Esc. sem ad.	0 a 5	45	5,8	4,1	163	0	3,3	1,9	8,4	67
	5 a 10	39	5,4	4,3	155	0,2	2,6	1,6	7,4	63
Esc. ad. min.	0 a 5	40	5,4	17,0	128	0,1	2,7	1,5	8,0	57
	5 a 10	28	5,1	4,4	93	0,5	1,9	1,2	6,4	52
Esc. ad. org.	0 a 5	35	5,4	3,7	163	0,2	2,3	1,4	8,0	51
	5 a 10	36	5,4	3,6	159	0,3	2,2	1,3	7,8	50
SD sem ad.	0 a 5	55	5,4	4,5	183	0,1	3,3	2,1	9,8	60
	5 a 10	38	5,2	3,0	151	0,6	2,2	1,4	7,9	51
SD ad. min.	0 a 5	38	5,2	7,4	131	0,2	2,2	1,5	8,4	48
	5 a 10	26	5,1	3,3	94	0,6	1,6	1,0	6,3	45
SD ad. org.	0 a 5	36	5,7	5,3	204	0	3,0	1,7	8,7	60
	5 a 10	25	5,6	3,7	173	0	1,9	1,2	6,6	53

<sup>1</sup>Matéria orgânica do solo. <sup>2</sup>Determinado em água. <sup>3</sup>Fósforo extraível (Mehlich-1). <sup>4</sup>Potássio, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis. <sup>5</sup>Capacidade de troca de cátions (pH 7,0).

#### **4.4. Parâmetros de planta nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada**

Os resultados dos parâmetros de planta avaliados no estudo (altura de planta, biomassa da parte aérea, biomassa da parte subterrânea e teor de nutrientes na folha), obtidos aos 75 dias da implantação dos tratamentos (estádio de pendoamento do milho), cinco dias antes da aplicação da segunda chuva simulada, são apresentados na tabela 7, enquanto uma vista geral dos tratamentos na área experimental, nessa mesma época, é fornecida na figura 4. Analisando os resultados da tabela 7, verifica-se que eles foram influenciados pelos tratamentos em estudo, no que diz respeito tanto aos métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura quanto aos tipos de adubação.

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, independentemente do método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura, com superioridade, entretanto, da escarificação sobre a semeadura direta (Tabela 7). A maior altura de planta nos tratamentos com escarificação pode ser explicada pelo fato de que, quando o solo é mobilizado, ocorre aumento da infiltração de água no mesmo, elevando o seu teor para aproveitamento pelas plantas e, assim, favorecendo seu crescimento (Trowse, 1971). Em adição, a mobilização do solo aumenta a sua capacidade de aeração, pela criação maior volume de macroporos, e diminui a sua densidade global, causando menor limitação física ao crescimento radicular das plantas (Beltrame e Taylor, 1980), além da possível incorporação parcial dos adubos aplicados superficialmente, fatos estes que, em conjunto, favorecem o maior desenvolvimento das culturas. A maior altura média de plantas nos tratamentos com adubação mineral pode ser explicada pela maior facilidade das mesmas de dispor dos nutrientes fornecidos nesse tipo de adubação, principalmente o nitrogênio e o fósforo, uma vez que eles são prontamente disponibilizados (Primavesi, 1982).

A biomassa da parte aérea ou dossel (Tabela 7) apresentou comportamento similar ao do da altura média de planta, sendo a mais baixa

nos tratamentos testemunhas (sem adubação) e a mais alta nos tratamentos com adubação mineral, independentemente do método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura, e também com superioridade da escarificação sobre a semeadura direta. Estes fatos podem ser explicados pelas mesmas razões utilizadas na explicação das diferenças na altura média de planta, tendo em vista que a quantidade de massa da parte aérea das plantas é diretamente proporcional à sua altura.

TABELA 7. Parâmetros de planta nas parcelas experimentais, transcorridos 75 dias da implantação dos tratamentos, antes da aplicação da segunda chuva simulada (continua...)

Tratamento	Altura de planta m	Biomassa aérea (dossel) kg ha <sup>-1</sup>	Biomassa subterrânea (raízes)		Razão $\frac{10 - 20 \text{ cm}}{0 - 10 \text{ cm}}$
			0 - 10 cm	10 - 20 cm	
Esc. sem ad.	1,65	3.704	12.767	4.190	0,33
Esc. ad. min.	2,31	10.839	9.421	4.480	0,48
Esc. ad. org.	2,19	9.395	12.262	2.294	0,19
SD sem ad.	1,43	3.244	10.265	2.765	0,27
SD ad. min.	2,26	8.344	9.130	3.352	0,37
SD ad. org.	1,89	8.069	9.075	2.548	0,28

TABELA 7...(continuação)

Tratamento	Teor de nutriente na folha g kg <sup>-1</sup>				
	N	P	K	Ca	Mg
Esc. sem ad.	18	1,2	25	1,9	2,2
Esc. ad. min.	20	2,3	24	2,0	1,6
Esc. ad. org.	13	2,0	25	1,8	1,8
SD sem ad.	15	1,1	22	1,8	2,0
SD ad. min.	13	2,0	23	1,8	1,7
SD ad. org.	11	2,2	20	1,5	1,9

No que se refere à biomassa da parte subterrânea ou raízes (Tabela 7), é preciso considerar que os resultados sofreram influência, em grau desconhecido e, provavelmente, variado, da massa de raízes (mortas) das espécies vegetais que compunham a pastagem nativa da área experimental, a qual havia sido dessecada há três meses, especialmente nos tratamentos testemunhas e na primeira camada avaliada do solo (0 - 10 cm), em ambos os métodos de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura. Este efeito mascarou

os valores da variável em questão no que diz respeito à quantidade de massa de, unicamente, raízes de milho, fazendo com que os mesmos, de certa forma, resultassem discrepantes e desuniformes na referida camada (0 a 10 cm), de modo geral em todos os tratamentos. Na segunda camada avaliada do solo (10 a 20 cm), entretanto, onde a influência das raízes (mortas) da pastagem nativa (dessecada) foi menor, verifica-se que, exceto os tratamentos testemunhas (sem adubação), os quais apresentaram valores próximos ou, mesmo, superiores aos tratamentos com adubação, a biomassa da parte subterrânea do milho apresentou o mesmo comportamento do da altura média de planta e do da biomassa da parte aérea, com a maior quantidade de raízes estando associada aos tratamentos com escarificação e com adubação mineral, comparada à observada nos tratamentos com semeadura direta e com adubação orgânica. Este comportamento também pode ser justificado pelas razões utilizadas na explicação das diferenças na altura média de planta. A exceção feita em relação aos tratamentos testemunhas, no início da última sentença, pode ser explicada em termos de disponibilidade hídrica no solo, a qual, quando é baixa, obriga o maior desenvolvimento das raízes das plantas, para explorar um maior volume de solo (Raven et al., 2001).



FIGURA 4. Vista geral dos tratamentos na área experimental, transcorridos 75 dias da sua implantação, antes da aplicação da segunda chuva simulada (Obs: da esquerda para a direita, são os seguintes os tratamentos em visualização: semeadura direta, adubação orgânica; escarificação, adubação orgânica; semeadura direta, adubação mineral; escarificação, adubação mineral; semeadura direta, sem adubação – tratamento testemunha 2 - e escarificação, adubação – tratamento testemunha 1).

No que diz respeito à razão entre massas de raízes de milho (quantidade de raízes presente na camada de 10 a 20 cm do solo dividida pela

quantidade de raízes presente na camada de 0 a 10 cm), os valores apresentados na tabela 7, em que pese alguma discrepância nos mesmos, nos tratamentos testemunha (sem adubação) e nos com adubação orgânica, podem, de modo geral, ser considerados normais, com, aproximadamente, 65% a 70% da massa total de raízes sendo encontrados na camada mais superficial do solo (0 a 10 cm), proporções estas que estão de acordo com os achados de Cogo e Streck (2003) e Volk e Cogo (2004), respectivamente para raízes de pastagem nativa (dessecada) e milho, essencialmente as mesmas culturas utilizadas na presente pesquisa. Apesar de alguma discrepância nos dados, como há pouco mencionado, observa-se que os maiores valores da referida razão estiveram associados com os tratamentos que receberam adubação mineral, com superioridade, entretanto, mais uma vez, da escarificação (valor da razão igual a 0,48) sobre a semeadura direta (valor da razão igual a 0,38).

Por fim, quanto aos teores de nutrientes na folha (Tabela 7 - segunda parte), comparados aos valores dos parâmetros de planta já tratados, verifica-se que, de modo geral, eles foram pouco influenciados pelos tratamentos em estudo. Mesmo assim, nota-se que o teor de nitrogênio tendeu a ser superior nos tratamentos com escarificação, independentemente do tipo de adubação, enquanto o de fósforo foi o mais baixo nos tratamentos testemunha (sem adubação), independentemente do método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura.

Quando comparados aos teores foliares considerados adequados para a cultura do milho, mencionados no Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS, 2004), verifica-se que o do nitrogênio ficou abaixo da faixa indicada ( $27 - 35 \text{ g kg}^{-1}$ ), em todos os tratamentos em estudo (Tabela 7). O teor de fósforo ficou abaixo da faixa indicada ( $2 - 4 \text{ g kg}^{-1}$ ) somente nos tratamentos testemunhas (sem adubação), demonstrando a eficiência tanto da adubação mineral quanto da adubação orgânica no suprimento deste elemento às plantas. Em relação ao cálcio, o teor ficou abaixo da faixa indicada ( $2 - 8 \text{ g kg}^{-1}$ ) em todos os tratamentos em estudo, o que pode ser explicado pela não realização da calagem no experimento. Por fim, quanto ao potássio e ao magnésio, os teores



ficaram dentro da faixa indicada ( $17 - 35 \text{ g kg}^{-1}$  para o potássio e  $2 - 5 \text{ g kg}^{-1}$  para o magnésio) em todos os tratamentos em estudo (Tabela 7), indicando que o solo apresentava quantidades suficientes destes elementos para atender às necessidades da planta.

Considerando o que foi exposto, pode-se dizer que os parâmetros de planta avaliados no estudo foram, de modo geral, consideravelmente influenciados pelos tratamentos em estudo, e, como será visto adiante, eles influíram os valores dos parâmetros de erosão hídrica considerados na pesquisa.

#### **4.5. Parâmetros de erosão no escoamento superficial das parcelas experimentais, nos testes de chuva simulada**

##### **4.5.1. Parâmetros físicos**

Os resultados dos parâmetros físicos de erosão hídrica pluvial do solo avaliados no estudo (tempo de início e de equilíbrio da enxurrada, taxa constante de infiltração de água no solo, taxa constante de descarga da enxurrada, coeficiente de enxurrada, perda total de água, perda total de solo e concentração média e perda total de matéria orgânica e de nutrientes na enxurrada), nos dois testes de erosão com chuva simulada realizados na pesquisa, nos tratamentos em estudo, são apresentados na tabela 8. Analisando os dados, verifica-se que eles foram influenciados pelos tratamentos em estudo, nos dois testes de chuva, de modo como será a seguir descrito, para cada parâmetro, individualmente.

##### **4.5.1.1. Tempo de início e de equilíbrio da enxurrada**

O tempo de início (Ti) ou retardamento da enxurrada foi de alguma expressão, no que se refere ao aproveitamento da água da chuva no solo (por meio do processo de infiltração), para posterior suprimento às plantas, e apresentou alguma variação entre os tratamentos em estudo (11 a 29 minutos), somente no primeiro teste de chuva, realizado logo após a semeadura do milho (chama-se a atenção para o fato de que os teores de água no solo antecedentes às chuvas foram, praticamente, iguais nos dois testes), com a

escarificação tendo retardado um pouco mais a enxurrada do que a semeadura direta (valores de  $T_i$ , respectivamente, iguais a 21 e 15 minutos, na média dos tratamentos de adubação - Tabela 8). Este fato pode ser explicado pela maior rugosidade superficial (decorrente dela, também maior porosidade total da camada preparada) e pela menor extensão de superfície do solo consolidada na escarificação, o que facilitou a retenção e a infiltração superficial de água na mesma, apesar da sua cobertura por resíduo cultural ter resultado substancialmente menor (40%, em média) do que a da semeadura direta (integral ou 100%). Quanto aos tratamentos de adubação, não houve tendência clara de sua influência nos valores da variável em questão, em que pese os da adubação orgânica terem, em geral, sido os mais altos, sem explicação lógica para tal, entretanto. No segundo teste de chuva, realizado no estádio de pendoamento do milho, os valores de tempo de início da enxurrada foram pequenos e, praticamente, iguais em todos os tratamentos, exceto o valor isolado, relativamente alto, observado no tratamento semeadura direta com adubação orgânica, também sem explicação plausível para tal. Os menores valores de tempo de início da enxurrada, observados no segundo teste de chuva (pendoamento do milho), comparados aos do primeiro teste (semeadura do milho), em que pese a maior proteção do solo propiciada pelo dossel das plantas na segunda época, provavelmente se deveu às melhores condições físicas de superfície do solo para reter e infiltrar água da chuva no primeiro teste de chuva, especialmente a rugosidade superficial, recém criada pelo preparo (decorrente dela, também a porosidade total da camada preparada do solo). Isto ocorreu mesmo nos tratamentos com semeadura direta, tendo em vista que ela foi efetuada com máquina semeadora-adubadora provida de hastes sulcadoras, as quais mobilizaram um pouco o solo, conforme foi registrado na seção do material e métodos, e, com o passar do tempo, essas condições físicas de superfície do solo perderam efeito, conforme também encontrado por Johnson et al. (1979b) e Cogo (1981).

O tempo de equilíbrio ( $T_e$ ) ou pico da enxurrada (Tabela 8) somente ocorreu após a aplicação de, em geral, 50 a 60 minutos de chuva (a duração total da mesma foi de 90 minutos), nos dois testes de chuva, com pequena diferença entre tratamentos. De qualquer forma, pode-se dizer que houve

tendência dele ser um pouco maior na escarificação, provavelmente devido à maior mobilização e maior rugosidade superficial do solo na mesma, conseqüentemente, maior capacidade de retenção e de infiltração superficial de água, o que retardou o processo em pauta nos tratamentos com a técnica em pauta.

#### **4.5.1.2. Taxa constante de infiltração de água no solo**

Observando os dados da tabela 8, verifica-se que os valores desta variável (ifc) foram influenciados pelos tratamentos em estudo, tanto no primeiro quanto no segundo teste de chuva, sem tendência clara e contínua, entretanto. De qualquer forma, pode-se dizer que, de modo geral, eles foram maiores nos tratamentos com escarificação, independentemente do tipo de adubação e do teste de chuva, e maiores ainda no segundo teste de chuva, em qualquer das situações estudadas. Quanto à influência do tipo de adubação, pode-se verificar que os valores da variável em questão foram, de modo geral, menores nos tratamentos testemunha (sem adubação), independentemente do método de preparo do solo. Possíveis explicações para estes fatos serão dadas a seguir.

Os maiores valores de taxa constante de infiltração de água no solo nos tratamentos com escarificação podem ser explicados pela maior mobilização de solo na mesma e, decorrente dela, maior rugosidade superficial e maior porosidade total da camada preparada do solo, refletindo-se em maior capacidade de retenção e de infiltração superficial de água, quando comparados aos tratamentos com semeadura direta. Em relação aos maiores valores da variável em questão no segundo teste de chuva (pendoamento do milho), comparados aos do primeiro teste (semeadura do milho), eles podem ser explicados pelas melhores condições físicas (superficiais e subsuperficiais) do solo para infiltrar água da chuva na segunda época, especialmente a percentagem de cobertura (resíduo cultural mais dossel), o volume de poros e o teor de matéria orgânica do solo, os quais foram maiores no segundo teste de chuva (dados das Tabelas 5 e 6 versus dados das Tabelas 2 e 3). Isto se deu em função do desenvolvimento da parte aérea (dossel) e da parte subterrânea (raízes) do milho, melhorando a estrutura do solo, comparada à

que ele tinha quando se encontrava na sua condição original de campo nativo. O inverso desta ocorrência, de certa forma, serve para explicar os menores valores de taxa constante de infiltração de água no solo nos tratamentos testemunha (sem adubação), os quais apresentaram menor desenvolvimento das partes aérea e subterrânea do milho e menor teor de matéria orgânica no solo, comparados aos tratamentos com adubação.

#### **4.5.1.3. Taxa constante de descarga e coeficiente de enxurrada**

Tendo em vista que os valores da taxa constante de descarga da enxurrada ( $q$ ) são o inverso dos da taxa constante de infiltração de água no solo ( $ifc$ ), conforme mostrado na tabela 8, em função da taxa de suprimento de água (chuva simulada) ao sistema ter sido constante ( $64 \text{ mm h}^{-1}$ ), as razões para as diferenças entre os mesmos são inversas às apresentadas para explicar as diferenças nos valores da última variável, a qual foi tratada no item anterior (4.5.1.2). Por este motivo, julgou-se desnecessário, neste momento da discussão dos dados, comentar mais a respeito.

Quanto aos valores do coeficiente de enxurrada ( $C$ ) - fração da taxa de aporte de água ao sistema que, no momento do pico da enxurrada, torna-se enxurrada (Schwab et al., 1981) -, o qual é usado na Fórmula Racional de predição da taxa máxima de descarga da enxurrada, nota-se que foram influenciados pelos tratamentos em estudo, nos dois testes de chuva (Tabela 8). Assim, pode ser verificado que eles foram os mais altos nos tratamentos testemunha (sem adubação), tanto no primeiro quanto no segundo teste de chuva, com a semeadura direta, de modo geral, apresentando valores bastante superiores aos da escarificação. Por sua vez, os menores valores do coeficiente em questão estiveram associados ao tratamento escarificação com adubação mineral, independentemente do teste de chuva. Continuando com a análise dos dados (Tabela 8), verifica-se que, tanto no primeiro quanto no segundo teste de chuva, o valor do coeficiente de enxurrada ( $C$ ) no tratamento

TABELA 8. Parâmetros físicos de erosão nos testes de chuva simulada, nos tratamentos estudados

Teste de chuva	Tratamento	CS <sup>1</sup> m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Teor de água no solo		Ti <sup>2</sup>	Te <sup>3</sup>	if <sub>c</sub> <sup>4</sup>	q <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	PTA <sup>7</sup> % chuva	PTS <sup>8</sup> kg ha <sup>-1</sup>
			0 – 10 cm	10 – 20 cm							
			-----kg kg <sup>-1</sup> -----		---min---		--mm h <sup>-1</sup> --				
1 (1 dia após a implantação dos tratamentos - semeadura do milho)	Esc. sem ad.	0,49	0,19	0,16	23	58	18	46	0,72	49	97
	Esc. ad. min.	0,39	0,15	0,14	11	50	47	17	0,26	16	54
	Esc. ad. org.	0,34	0,15	0,14	29	64	27	37	0,58	26	94
	SD sem ad.	1	0,18	0,15	13	48	1	63	0,98	71	- <sup>9</sup>
	SD ad. min.	1	0,15	0,14	13	48	24	40	0,63	43	-
	SD ad. org.	1	0,15	0,14	22	45	30	34	0,54	34	-
2 (75 dias após a implantação dos tratamentos - pendoamento do milho)	Esc. sem ad.	>0,49 <sup>10</sup>	0,17	0,08	04	64	40	24	0,38	18	-
	Esc. ad. min.	>0,39	0,10	0,09	05	64	54	10	0,15	8	-
	Esc. ad. org.	>0,34	0,11	0,12	05	60	40	25	0,38	19	-
	SD sem ad.	1	0,12	0,10	04	54	21	43	0,67	46	-
	SD ad. min.	1	0,10	0,09	02	51	38	26	0,41	23	-
	SD ad. org.	1	0,11	0,10	11	70	45	19	0,29	14	-

<sup>1</sup>Cobertura superficial do solo pelo resíduo cultural da pastagem nativa dessecada. <sup>2</sup>Tempo de início da enxurrada. <sup>3</sup>Tempo de equilíbrio da enxurrada. <sup>4</sup>Taxa constante de infiltração da água. <sup>5</sup>Taxa constante de descarga da enxurrada. <sup>6</sup>Coefficiente de enxurrada. <sup>7</sup>Perda total de água. <sup>8</sup>Perda total de solo. <sup>9</sup>A perda de solo existiu, porém, ela foi tão pequena que não pôde ser mensurada. <sup>10</sup>A cobertura superficial do solo neste teste de chuva era igual à do primeiro, porém, a global era maior, em função da proteção oferecida pelo dossel das plantas de milho, a qual não foi mensurada.

escarificação com adubação orgânica foi mais que o dobro do verificado no com adubação mineral, enquanto no tratamento semeadura direta ocorreu o contrário, em proporção bem menor, entretanto. Verifica-se ainda que, de modo geral, os valores do coeficiente de enxurrada (C) foram maiores no primeiro teste de chuva. As explicações para estes acontecimentos são, em princípio, as mesmas dadas na explicação das diferenças do comportamento dos dados da taxa constante de infiltração de água no solo ou, inversamente, da taxa constante de descarga da enxurrada, assuntos os quais foram tratados há pouco. Assim, os menores valores do coeficiente de enxurrada (C) nos tratamentos com escarificação, comparados aos com semeadura direta, deveram-se às suas melhores condições físicas para reter e infiltrar água da chuva, em função da maior mobilização de solo nos mesmos (portanto, menor consolidação da camada superficial) e, decorrente dela, maior rugosidade superficial induzida pelo preparo e maior porosidade total da camada preparada do solo (Tabela 4). Quanto aos menores valores do coeficiente em questão no segundo teste de chuva, comparados aos do primeiro teste, eles também foram devidos às melhores condições físicas do solo para infiltrar água da chuva na segunda época, porém, dessa vez, causadas pelo cultivo do milho em si, especialmente por meio do desenvolvimento de suas raízes, positivamente alterando a estrutura do solo, comparada à que ele tinha quando se encontrava na sua condição original de campo nativo. Não se tem explicação plausível, entretanto, para a influência do tipo de adubação (mineral versus orgânica) nos valores da variável em questão, os quais, na escarificação, mostraram-se superiores no tratamento com adubação orgânica e, na semeadura direta, no com adubação mineral, em ambos os testes de chuva. Depreende-se do último fato a necessidade de se investigar melhor o aspecto em questão.

#### **4.5.1.4. Perda total de água**

A perda total de água (PTA) da chuva, na forma de enxurrada (Tabela 8), apresentou comportamento parecido com o dos parâmetros hidrológicos já analisados (tempo de início da enxurrada, taxa constante de infiltração de água no solo e taxa constante de descarga e coeficiente de

enxurrada). Assim, de modo geral, ela foi visivelmente maior no primeiro teste de chuva, em todos os tratamentos, e, independentemente do teste de chuva, maior na semeadura direta, independentemente do tipo de adubação. Quanto à influência deste último, na escarificação o valor da variável em questão foi maior no tratamento com adubação orgânica, tanto no primeiro quanto no segundo teste de chuva, enquanto na semeadura direta, ocorreu o contrário, da mesma forma como se observou para os outros parâmetros hidrológicos já analisados. As explicações para estes fatos são as mesmas dadas na explicação das diferenças do comportamento da taxa constante de infiltração de água no solo (item 4.5.1.2) e da taxa constante de descarga e do coeficiente de enxurrada (item 4.5.1.3), com a rugosidade superficial (decorrente dela, também a porosidade total da camada preparada, ambas tendo sido maiores na escarificação do que na semeadura direta) e com a consolidação da superfície do solo (presente na semeadura direta e ausente na escarificação) sendo os fatores determinantes do processo, independentemente da cobertura por resíduo cultural ter sido maior na semeadura direta do que na escarificação. Permanece sem explicação lógica, contudo, o comportamento inverso dos tratamentos de preparo do solo em relação aos tratamentos de adubação, em que a perda de água da chuva na forma de enxurrada, na escarificação, foi maior no tratamento com adubação orgânica e, na semeadura direta, no com adubação mineral, nos dois testes de chuva (Tabela 8).

#### **4.5.1.5. Perda total de solo**

A perda total de solo (PTS - Tabela 8), como esperado, ocorreu somente nos tratamentos com escarificação e no primeiro teste de chuva, em nível muito baixo (considerando os 11 m de comprimento da parcela experimental, entretanto – lembra-se que a perda de solo por erosão hídrica pluvial varia com a potência 0,5 do comprimento de rampa, segundo Wischmeier & Smith, 1978). A não ocorrência da erosão nos tratamentos com semeadura direta, nos dois testes de chuva, deveu-se à cobertura integral do solo (100%, já desde o início), constituída do resíduo cultural (dessecado) da pastagem nativa, acrescida daquela formada pelo dossel das plantas de milho (influyente no segundo teste de chuva). Influuiu ainda no processo em pauta a consolidação da superfície do solo (Tabela 4). Estes fatos, combinadamente,

fizeram com que a semeadura direta resistisse bem à erosão. Por sua vez, a não ocorrência da erosão nos tratamentos com escarificação, no segundo teste de chuva, deveu-se a ambos, aumento da cobertura superficial (inicial) do solo, em função do surgimento de vegetação espontânea nas parcelas experimentais (isto também ocorreu nos tratamentos com semeadura direta) e da formação de cobertura pelo dossel das plantas de milho, integralmente protegendo a superfície do solo da ação erosiva da água da chuva nesse teste.

A baixa perda de solo observada na escarificação, ainda assim somente no primeiro teste de chuva, em que pese o seu valor de cobertura com resíduo cultural (40%, na média dos tratamentos de adubação) ter ficado bem abaixo do da semeadura direta (100%), deveu-se às suas melhores condições físicas para reter e infiltrar água da chuva, em função da sua relativamente alta rugosidade superficial (também alta porosidade total da camada preparada), causada pela mobilização parcial (em faixa) do solo, quando da passagem das hastes do escarificador. Este fato compensou a perda de cobertura superficial na mesma, no que se refere às condições para a ocorrência do processo erosivo do solo.

Os baixos valores de perda de solo observados na escarificação, embora se tratando do reduzido comprimento de rampa sobre o qual foram medidos (11 m – comprimento da parcela experimental), sugerem a mesma como boa alternativa para uso nas lavouras agrícolas, uma vez que, com ela, se pode substancialmente reduzir a perda de solo e, ao mesmo tempo, a perda de água da chuva na forma de enxurrada, conforme pôde ser visto no item anterior, o que vai resultar em benefício para a lavoura e para o ambiente.

#### **4.5.2. Parâmetros químicos**

##### **4.5.2.1. Valores médios de pH e condutividade elétrica e concentrações médias de matéria orgânica e nutriente na enxurrada**

Os valores médios de pH e condutividade elétrica e as concentrações médias de matéria orgânica e nutriente (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) no material integral da erosão ou enxurrada (partículas de solo+água de escoamento superficial) são apresentados na tabela 9. Estes atributos serão discutidos individualmente, a seguir.



- pH e condutividade elétrica

No primeiro teste de chuva os valores de pH da enxurrada foram influenciados tanto pelo método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura quanto pelo tipo de adubação. Os tratamentos com escarificação apresentaram valores de pH menores do que os tratamentos com semeadura direta, o que pode ser atribuído à maior incorporação dos adubos ao solo e ao maior retardamento da enxurrada nos mesmos (Tabela 8). Quanto ao tipo de adubação, os valores foram mais altos para a orgânica, o que pode ser justificado pela composição química dos fertilizantes usados no estudo, com a cama de aviário aportando ao solo compostos neutralizantes da sua acidez, o que já não ocorreu com o fertilizante mineral (Tabela 1). Já no segundo teste de chuva, os valores de pH da enxurrada praticamente não diferiram entre tratamentos, à exceção da semeadura direta com adubação orgânica, na qual foram inferiores e diminuíram em relação aos valores do primeiro teste.

De modo geral, os valores de pH da enxurrada (Tabela 9) foram superiores aos da camada superficial do solo (0-5 cm) das respectivas parcelas experimentais, medidos antes da realização dos testes de chuva (Tabelas 2 e 5). Isto pode ser atribuído ao gradiente de concentração de componentes da fina camada de solo imediatamente em contato com a água de enxurrada, comparativamente a toda camada analisada, causando diferenciação na composição química do material de enxurrada em relação ao solo. Especificamente quanto à adubação orgânica, o aumento do pH do solo pode influenciar a solubilidade de alguns compostos na enxurrada e, assim, aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes, como o fósforo, em função de alterações no potencial redox do meio (Fonseca, 2006).

Quanto à condutividade elétrica da enxurrada, no primeiro teste de chuva os valores medidos foram maiores nos tratamentos com adubação, com superioridade para a orgânica, independentemente do método de preparo do solo e, ou de semeadura da cultura, para o qual as diferenças foram de amplitude menor (Tabela 9). No segundo teste de chuva, realizado 75 dias após a semeadura do milho, os valores de condutividade elétrica diminuíram, devido à menor concentração de nutrientes no material da enxurrada,

observando-se menor amplitude de variação entre tratamentos, comparativamente ao primeiro teste.

Com base no exposto, percebe-se que os valores de pH e condutividade elétrica da enxurrada foram influenciados pelo método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura e, principalmente, pelo tipo de adubação, refletindo as concentrações de componentes químicos na água do escoamento superficial que, por sua vez, são influenciadas pela taxa deste último e serão discutidas a seguir.

#### - Matéria orgânica

As concentrações de matéria orgânica no material integral da erosão (Tabela 9) foram influenciadas pelo método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura e pelo tipo de adubação. De modo geral, as maiores concentrações de matéria orgânica foram observadas na enxurrada do primeiro teste de chuva, o que pode ser atribuído aos resíduos da decomposição da biomassa da cultura antecessora, neste caso a pastagem nativa. Esta constatação é corroborada pela maior concentração de matéria orgânica nos tratamentos com semeadura direta. Tal técnica mantém os restos vegetais da cultura antecessora na superfície do solo, favorecendo a remoção de matéria orgânica pelo escoamento superficial. Já a operação de escarificação promove a incorporação parcial de tais materiais ao solo, como mostrado na tabela 5 e na figura 3, diminuindo a quantidade de resíduos culturais superficiais e, conseqüentemente, a perda de matéria orgânica pelo escoamento superficial. Quanto ao tipo de adubação, percebe-se que a orgânica, pela mesma razão, contribuiu para maiores concentrações de matéria orgânica na água do escoamento superficial, comparativamente à adubação mineral.

No segundo teste de chuva, de modo geral, além de menores valores de concentração de matéria orgânica na enxurrada, constata-se menor amplitude de variação entre tratamentos. A maior concentração de matéria orgânica na enxurrada ocorreu no tratamento semeadura direta com adubação mineral, provavelmente devido à maior massa vegetal produzida pelo milho, como mostrado na tabela 4, analisando os resultados de biomassa da parte aérea e de altura média de planta.

TABELA 9. Valores médios de pH e condutividade elétrica e concentrações médias de matéria orgânica e nutrientes na enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados

Teste de chuva	Tratamento	pH	CE <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	N <sup>3</sup>	P <sup>3</sup>	K <sup>3</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>
			μS cm <sup>-1</sup>		-----mg L <sup>-1</sup> -----				
1 (1 dia após a implantação dos tratamentos – semeadura do milho)	Esc. sem ad.	6,1	86,5	63,5	4,30	0,35	12,75	2,05	1,43
	Esc. ad. min.	6,1	125,9	78,75	6,50	9,25	13,00	3,45	2,00
	Esc. ad. org.	6,3	241,1	123,50	17,45	2,43	31,25	4,83	3,18
	SD sem ad.	6,6	66,1	70,75	3,28	0,27	9,25	1,06	0,82
	SD ad. min.	6,1	183,4	94,00	12,38	21,00	17,25	4,75	2,70
	SD ad. org.	7,0	271,0	169,25	19,20	5,88	41,00	3,55	2,68
	Fonte de água <sup>4</sup>	- <sup>5</sup>	-	15,50	0,55	0,08	0,63	0,60	0,62
2 (75 dias após a implantação dos tratamentos – pendoamento do milho)	Esc. sem ad.	6,1	42,2	11,05	1,60	0,20	2,35	1,28	0,71
	Esc. ad. min.	6,1	54,8	19,60	2,20	0,34	6,55	1,45	0,77
	Esc. ad. org.	6,0	46,3	19,23	1,65	0,22	4,25	1,53	0,91
	SD sem ad.	6,0	43,4	13,30	1,93	0,17	3,18	1,43	0,82
	SD ad. min.	6,2	62,7	22,50	2,13	0,50	7,73	1,63	0,94
	SD ad. org.	5,7	58,2	17,08	1,73	0,43	6,68	1,68	1,05
	Fonte de água	- <sup>5</sup>	-	11,60	0,90	0,13	2,25	1,70	0,93

<sup>1</sup>Avaliada a 25°C; <sup>2</sup>matéria orgânica; <sup>3</sup>nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais; <sup>4</sup>açude, utilizado no abastecimento do aparelho simulador de chuva; <sup>5</sup>não mensurado.

- Nitrogênio, fósforo e potássio (formas totais)

Os resultados apresentados na tabela 9 evidenciam que as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio na enxurrada foram dependentes do método de preparo do solo e, ou, semeadura da cultura, do tipo de adubação e da época de realização dos testes de erosão com chuva simulada. Assim, comparando os resultados entre testes de chuva, percebe-se que as concentrações dos três elementos referidos no material integral da erosão decresceram à medida que aumentou o tempo de aplicação dos adubos ao solo, independentemente do método de preparo do solo e, ou, de semeadura da cultura e do tipo de adubação, o que pode ser justificado pela aludida aplicação ter sido feita superficialmente e pela gradativa interação dos nutrientes com as partículas do solo, além do aumento proporcional da cobertura deste último, o que aumenta a proteção contra a perda de solo e favorece a retenção superficial de água. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bertol et al. (2005), em trabalho desenvolvido na região oeste do Estado do Paraná, com o objetivo de avaliar o efeito das adubações mineral e orgânica, sob semeadura direta, no transporte de nitrogênio nas formas de amônio e nitrato, via escoamento superficial e subsuperficial, bem como na retenção deste elemento no solo (Latosolo Vermelho eutroférico), em que os tratamentos diferiram somente quanto ao tipo de adubação empregado, visto que toda a área experimental foi manejada sob a técnica de semeadura direta.

No primeiro teste de chuva as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio (formas totais) no material integral da erosão ou enxurrada foram maiores nos tratamentos com semeadura direta, exceto na comparação entre as parcelas sem adubação. Este fato pode ser explicado pela diferença nos valores de vazão da enxurrada ( $q$ ), os quais, no tratamento semeadura direta sem adubação, foi de  $63 \text{ mm h}^{-1}$ , e no tratamento escarificação sem adubação, de  $46 \text{ mm h}^{-1}$  (Tabela 5), causando efeito de diluição dos nutrientes na enxurrada. Os menores teores de nutriente na enxurrada nos tratamentos com escarificação podem ser atribuídos à incorporação parcial dos adubos ao solo pela operação de seu preparo, o que facilitou o contato entre os nutrientes e as partículas de solo e, desta forma, sua adsorção às mesmas.

Ainda no primeiro teste de chuva, verifica-se que as concentrações de fósforo na enxurrada dos tratamentos com escarificação foram reduzidas à, aproximadamente, metade das observadas nos tratamentos com semeadura direta. Quanto ao tipo de adubação, nos tratamentos em que houve adição de superfosfato triplo, material caracterizado por sua alta solubilidade em água, as maiores concentrações de fósforo no material integral da erosão ocorreram na adubação mineral, se comparadas com as da adubação orgânica. As concentrações de fósforo nos tratamentos com adubação mineral foram, em média, cinco vezes superiores às observadas nos tratamentos com adubação orgânica, num mesmo tipo de preparo do solo, e, ou, de semeadura da cultura. Quanto ao nitrogênio e ao potássio, o comportamento foi o inverso do ocorrido com o fósforo. Na adubação orgânica, verifica-se maior concentração de nitrogênio na água do escoamento superficial (aproximadamente o dobro), em razão de o mesmo estar presente em compostos orgânicos, sendo um dos principais constituintes da matéria orgânica. Assim, as concentrações de nitrogênio tenderam a refletir as concentrações de matéria orgânica. Quanto ao potássio, sua concentração foi 2,4 vezes maior na adubação orgânica do que na adubação mineral. O comportamento da perda destes dois nutrientes por erosão provavelmente também pode ser justificado pelas quantidades de nitrogênio e potássio, aplicadas via tratamentos (Tabela 1). Assim, observa-se que a quantidade de nitrogênio aportada ao solo pela adubação orgânica foi 17% superior à aportada pela aplicação de uréia. No caso do potássio, o seu aporte ao solo se deu, exclusivamente, pelo uso da cama de aviário nos tratamentos com adubação orgânica, tendo em vista que este elemento não foi incluído na adubação química.

No segundo teste de chuva, as concentrações N, P e K na enxurrada decresceram em todos os tratamentos, comparativamente ao primeiro teste, o que pode ser atribuído tanto ao maior tempo para reação dos produtos da solubilização dos nutrientes com o solo quanto à absorção destes pelas plantas. Entretanto, especialmente para o fósforo e o potássio, permaneceu a tendência da perda ser um pouco maior nos tratamentos com semeadura direta.

#### - Cálcio e magnésio (formas totais)

De modo geral, verifica-se na tabela 9 que as concentrações médias de cálcio e magnésio na enxurrada ou material integral da erosão (partículas de solo+água do escoamento superficial) foram similares às de nitrogênio, fósforo e potássio. Contudo, deve-se ressaltar que, em virtude de não ter sido feita calagem neste estudo, as concentrações de cálcio e magnésio foram de magnitude menor. Assim, praticamente constatou-se ausência de efeito do método de preparo do solo na remoção destes nutrientes por erosão, porém maiores teores de cálcio e magnésio foram observados na enxurrada dos tratamentos com adubação orgânica, refletindo o efeito da composição química da cama de aviário e da quantidade dos mesmos que foram aportadas ao solo via aplicação deste produto.

Com base no exposto, percebe-se que as concentrações médias de matéria orgânica e nutriente na enxurrada variaram conforme os tratamentos. Entretanto, os danos ambientais e econômicos que as mesmas poderão vir a causar irão depender da quantidade perdida de cada nutriente, em cada evento de chuva, o que será discutido a seguir.

#### **4.5.2.2. Perdas totais de matéria orgânica e nutriente por erosão**

As perdas totais de matéria orgânica e nutriente por erosão são apresentadas na tabela 10. Verifica-se que as mesmas foram dependentes do método de preparo e, ou, de semeadura da cultura, do tipo de adubação e da época de realização dos testes de erosão com chuva simulada, os quais afetaram as suas concentrações médias na enxurrada e o volume desta última.

As perdas de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio foram maiores nos tratamentos com semeadura direta, nos dois testes de chuva, com tendência geral de serem menores para o cálcio e para o magnésio. Comparando os resultados entre os dois testes de chuva, observa-se que as maiores perdas de matéria orgânica e nutriente ocorreram no primeiro, realizado por ocasião da implantação dos tratamentos. Provavelmente, isto se deveu à sua maior concentração de nutrientes em superfície, menor cobertura global do solo e maior perda total de água (Tabela 7), comparado ao segundo teste de chuva, além da ausência de plantas em crescimento no primeiro.

TABELA 10. Quantidades totais de matéria orgânica e nutrientes removidas pela erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados

Teste de chuva	Tratamento	MO <sup>1</sup>	N <sup>2</sup>	P <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>
		-----kg ha <sup>-1</sup> -----					
1 (1 dia após a implantação dos tratamentos - semeadura do milho)	Esc. sem ad.	29,63	2,01	0,16	5,95	0,96	0,67
	Esc. ad. min.	11,87	0,98	1,39	1,96	0,52	0,30
	Esc. ad. org.	30,59	4,32	0,60	7,74	1,20	0,79
	SD sem ad.	48,43	2,25	0,18	6,33	0,73	0,56
	SD ad. min.	38,44	5,06	8,59	7,05	1,94	1,10
	SD ad. org.	54,43	6,17	1,89	13,19	1,14	0,86
2 (75 dias após a implantação dos tratamentos - pendoamento do milho)	Esc. sem ad.	1,90	0,27	0,03	0,40	0,22	0,12
	Esc. ad. min.	1,54	0,17	0,03	0,52	0,11	0,06
	Esc. ad. org.	3,51	0,30	0,04	0,78	0,28	0,17
	SD sem ad.	5,83	0,85	0,07	1,40	0,63	0,36
	SD ad. min.	4,92	0,47	0,11	1,69	0,36	0,21
	SD ad. org.	2,23	0,23	0,06	0,87	0,22	0,14

<sup>1</sup>Matéria orgânica. <sup>2</sup>Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais.

No primeiro teste de chuva, as maiores perdas de matéria orgânica e nutriente na enxurrada ocorreram nos tratamentos com semeadura direta. Quanto ao tipo de adubação, as maiores perdas de matéria orgânica, nitrogênio e potássio ocorreram nos tratamentos com adubação orgânica, enquanto que as de fósforo nos com adubação mineral.

No segundo teste de chuva, as maiores perdas de matéria orgânica e nutriente também ocorreram nos tratamentos com semeadura direta. Porém, quando se comparam os tipos de adubação, percebe-se que, nos tratamentos com escarificação, as maiores perdas de nutriente ocorreram sob a adubação orgânica, enquanto que, nos tratamentos com semeadura direta, sob o sem adubação. Isto pode ser atribuído à maior consolidação da superfície do solo neste último tratamento, verificada antes mesmo da semeadura do milho (Tabela 04), com conseqüente maior perda total de água (Tabela 8).

Com relação à matéria orgânica, percebe-se que sua perda por erosão foi variável e, possivelmente, influenciada pelo seu conteúdo, também variável, 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 perda de matéria orgânica em diferentes condições de cobertura do solo.

As quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de nutrientes perdidas pela erosão hídrica ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), bem como suas proporções (%) em relação às quantidades aplicadas ao solo pelas adubações, são apresentadas na tabela 11. Verifica-se que, para o nitrogênio, o fósforo e o potássio, as quantidades totais finais perdidas pela erosão foram maiores nos tratamentos com semeadura direta, enquanto que, para o cálcio e o magnésio, elas foram maiores nos tratamentos com escarificação. Devem ser ressaltadas as altas quantidades totais finais perdidas de potássio tanto na adubação mineral ( $8,74 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quanto na adubação orgânica ( $14,06 \text{ kg ha}^{-1}$ ), de fósforo na adubação mineral ( $8,30 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e de nitrogênio tanto na adubação mineral ( $5,53 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quanto na adubação orgânica ( $6,40 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo todos eles na semeadura direta. Em segunda posição de alta perda de nutrientes pela erosão, são os valores de potássio nos tratamentos escarificação com adubação orgânica ( $8,52 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e semeadura direta com adubação mineral ( $7,73 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Uma terceira posição de alto valor de perda de nutrientes pela erosão é associada com o potássio no tratamento escarificação sem adubação ( $6,35 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e com o nitrogênio na escarificação com adubação orgânica ( $4,62 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

No que diz respeito às proporções de nutriente perdidas pela erosão hídrica, em relação às quantidades que foram aplicadas ao solo pelas adubações (Tabela 11), percebe-se o mesmo comportamento verificado com as quantidades totais perdidas (em termos absolutos), com destaque para o percentual perdido de fósforo (11,5%) no tratamento semeadura direta com adubação mineral. Verifica-se ainda que, em alguns casos, como no tratamento escarificação com adubação orgânica, não houve determinação do percentual perdido de nutriente. Isto se deveu à maior perda de N no tratamento escarificação sem adubação (testemunha). Estas estimativas denotam a relevância das perdas potenciais dos nutrientes adicionados, em apenas dois eventos de chuva, as quais, se supõe, podem ser maiores em condições reais de lavoura, no longo prazo, devido à frequência e à intensidade com que ocorrem as chuvas naturais.



TABELA 11. Quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de nutrientes perdidas por erosão hídrica e proporções correspondentes às quantidades aplicadas solo pelas adubações, nos tratamentos estudados

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%
Esc. sem ad.	2,28	-	0,19	-	6,35	-	1,18	-	0,79	-
Esc. ad. min.	1,15	nd	1,42	1,8	2,48	-	0,63	nd	0,36	-
Esc. ad. org.	4,62	2,4	0,64	0,7	8,52	2,4	1,48	0,43	0,96	0,50
SD sem ad.	3,10	-	0,25	-	7,73	-	1,36	-	0,92	-
SD ad. min.	5,53	2,8	8,30	11,5	8,74	-	2,30	nd	1,31	-
SD ad. org.	6,40	3,2	1,99	2,7	14,06	7,1	1,36	0,14	1,00	0,25

<sup>nd</sup> Não determinado.

Na tabela 12 são apresentadas as quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e calcário perdidas por erosão hídrica, calculadas com base na perda total de nutrientes apresentada na tabela 11, e seus correspondentes valores monetários. Estas informações mostram que o processo erosivo do solo gera prejuízos relacionados tanto com o aspecto econômico da propriedade rural quanto com o aspecto ambiental. Por exemplo, pode ser visto que, nos tratamentos sem adubação, tanto na escarificação quanto na semeadura direta, também houve perda de nutrientes pela erosão, no entanto, tendo sido bem maior na semeadura direta.

Com relação aos tipos de adubação, verifica-se que, nos tratamentos com escarificação, o com adubação mineral foi o que apresentou maior perda monetária (R\$ 98,41 por hectare, sendo R\$ 67,94 devidos à perda equivalente de superfosfato triplo e R\$ 18,55 devidos à perda equivalente de cloreto de potássio). Quanto aos tratamentos com semeadura direta, o com adubação orgânica foi o que apresentou maior perda monetária (R\$ 33,22 por hectare, sendo R\$18,02 devidos à perda equivalente de cloreto de potássio). Os valores de custo monetário da perda de nutrientes pela erosão, encontrados neste trabalho, foram superiores aos obtidos por Bertol et al. (2007b) em um Cambissolo Húmico alumínico léptico da região do Planalto-Sul Catarinense, sob diferentes sistemas de manejo do solo, significando que muitos fatores estão envolvidos no processo e estudos mais aprimorados devem ser desenvolvidos no assunto..

TABELA 12. Quantidades totais finais (somatório dos testes de chuva) de uréia, superfosfato triplo (SFT), cloreto de potássio (KCl) e calcário perdidas por erosão hídrica, calculadas com base na perda total de nutrientes apresentada na Tabela 11, e valores monetários correspondentes (base atual), nos tratamentos estudados

Tratamento	kg ha <sup>-1</sup>				R\$ ha <sup>-1</sup>				Total
	Uréia	SFT	KCl	Calcário	Uréia	SFT	KCl	Calcário	
Esc. sem ad.	5,1	1,0	12,7	4,9	4,72	1,61	13,42	0,26	20,01
Esc. ad. min.	2,6	7,2	5,0	2,6	2,42	11,59	5,30	0,13	19,44
Esc. ad. org.	10,3	3,3	17,0	6,2	9,58	5,31	18,02	0,31	33,22
SD sem ad.	6,9	1,3	15,5	5,7	6,42	2,09	16,43	0,29	25,23
SD ad. min.	12,3	42,2	17,5	9,6	11,44	67,94	18,55	0,48	98,41
SD ad. org.	14,2	10,1	28,1	5,7	13,21	16,26	29,79	0,29	59,54

Obs: Teores de nutriente nos diferentes produtos considerados nos cálculos: uréia - 45% de N; SFT - 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total; KCl - 60% de K<sub>2</sub>O; calcário - 34% de CaO.

## 5. CONCLUSÕES

Os métodos de preparo do solo e os tipos de adubação usados na implantação do milho sobre campo nativo influenciaram o desenvolvimento da cultura e as perdas por erosão hídrica pluvial.

O milho desenvolveu-se melhor na escarificação do que na semeadura direta, independentemente do tipo de adubação.

De modo geral, a escarificação foi eficaz no controle de todo o tipo de perda por erosão (solo, água, matéria orgânica e nutrientes), enquanto que a semeadura direta foi eficaz somente no controle da perda de solo.

O pH da enxurrada foi pouco afetado por qualquer das situações, enquanto que a condutividade elétrica e as concentrações médias de matéria orgânica e nutrientes foram marcadamente influenciadas tanto pelos tratamentos quanto pelos testes de chuva, diretamente influenciando as quantidades totais dos referidos constituintes removidas pela erosão.

As quantidades totais finais de nutrientes perdidas por erosão foram maiores para o potássio na adubação orgânica e na adubação mineral, para o fósforo na adubação mineral e para o nitrogênio na adubação orgânica e na adubação mineral, nesta ordem de valores decrescentes e todos na semeadura direta.

A perda de nutrientes determinada no estudo implicou alto valor financeiro estimado necessário para repor ao solo os adubos perdidos pela erosão.

## **6. CONSIDERAÇÃO FINAL**

Devido às peculiaridades do local e da região onde foi realizada a presente pesquisa, bem como o seu primeiro ano de execução, recomenda-se não considerar as conclusões efetuadas como definitivas, porquanto é necessário prosseguir o estudo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Correção da acidez do solo. In: C.A. BISSANI; C. GIANELLO; M. J. TEDESCO; F. A. O. CAMARGO (org.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. v. 1, p. 153-165.

ALBERTS, E.E.; MOLDANHAUER, W.C. Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.45, p. 391-396.

BARROWS, H. L. and KILMER, V.J. Plant Nutrient losses from soils by water erosion. **Advances in Agronomy**, New York, n. 15, p.303-316, 1963.

BARTZ, H. R. **Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto**. Unidad de Educacion Permanente, Universidad de la Republica. Disponível em: <<http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra6.htm>>. Acesso em: 2 out. 2007.

BELTRAME, L. F. S.; TAYLOR, P. L. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.33, p.59-62, 1980.

BENNETT, H. H. **Soil Conservation**. New York:: McGraw Hill, 1939. 993p.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.

BERHE, A. A.; HARDEN, J. W.; HARTE, J.; TORN, M. S. Soil degradation and global change: role o soil erosion and deposition in carbon sequestration. In: BRESLAUER GRADUATE SYMPOSIUM ON SOCIAL AND SCIENTIFIC ASPECTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE, 2005, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley, 2005. Paper n°. 2

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**. 1986. 148f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. do;

BARBOSA, F. T. . Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 485-494, 2004.

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 : UFPR, 2005. 208f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.103-110, 2007 (a)

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. do. Aspectos Financeiros Relacionados às Perdas de Nutrientes por Erosão Hídrica em Diferentes Sistemas de Manejo do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 133-142, 2007(b).

BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. Micronutrientes. In: C. A. BISSANI; C. GIANELLO; M. J. TEDESCO; F. A. O. CAMARGO (org.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. v.1, p. 221-237.

BOAVIDA, M. J. L. Problemas de qualidade da água: eutroficação e poluição. **Biologias**. Lisboa, n. 01, jan. 2001, disponível em: <<http://www.ordembilogos/Biologias/N1.html>> Acesso em: 15 ago. 2006.

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, 431p. 1973. (Boletim técnico).

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; AMEMIYA, M. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 27, p. 696-700, 1963.

BURWELL, R. E.; ALEMARAS, R. R.; SLONEKER, L. L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. **Journal of soil and water conservation**, Ankeny, v.21, p.61-64, 1966.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage - induced random roughness and pore space. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, p. 449-452, 1969.

CAMARGO, F. A. O.; SÁ, E. L. S.de. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O (org.). **Fertilidade dos solos e adubação das culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 93-116.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 339-352, 2006.

CLINE, J.; HENDERSHOT, R. Conservation tillage. In: LAL, R. ed. **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.223-226.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette : Purdue University, 1981. 346f. Tese (Doutorado) - West Lafayette, Purdue University, 1981.

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 Science of Society American Journal**, Madison, v. 47, p. 1005-1008, 1983.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 368-373, 1984

COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity, human life. In: RAFTAN, L. Ed. **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. v.1, p.428-431.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.27, p.743-753, 2003.

COGO, N. P.; STRECK, E. V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.153-164, 2003.

CQFS. COMISSAO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **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. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 443-461.

DISSMEYER, G. E.; FOSTER, G. R. Estimating the cover-management factor (C) in the soil loss equation for forest conditions. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v.36, p.235-240, 1981.



DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. *Proceedings, Soil Science Society American*, Madison, v.4, p.60-64, 1939.

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. 97f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

ELTZ, F. L. F.; COGO, N. P.; MIELNICZUK, J. Perdas por erosão em diferentes manejos de solos e coberturas vegetais em solo Laterítico bruno avermelhado distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, n.1, p.123-127, 1977.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, n.02, p.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 (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FLANAGAN, D. C. Erosion. In: RAFTAN, L. Ed. **Encyclopedia of soil science.** New York: Marcel Dekker, 2002. p.395-398.

FONSECA, E. O. **Dinâmica do transporte de nutrientes no escoamento superficial em sistemas de manejo do solo.** 2006. 176f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FORSYTHE, W. **Física de suelos:** manual de laboratorio. San José, Costa Rica: IICA, 1975. 212p.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Soil erosion and sedimentation by water – an overview. In: NATIONAL SYMPOSIUM BY WATER, 1977, Illinois. **Proceedings...** St. Joseph, 1977. p.1-13.

GRASSI FILHO, H. **Fontes de nutrientes.** UNESP-SP. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/intranet/arquivos/helio/Macro%20K,%20Ca%20e%20Mg%202006.pdf#search=%22nutrientes%20do%20solo%20%22helio%20grassi%22%22>> . Acesso em: 14 set. 2006.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.277-286, 2005.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a

determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, 2006.

HALL, G. F.; DANIELS, R. B.; FOSS, J. E. **Determinants of Soil Loss Tolerance**. Madison: American Society of agronomy soil science society of America (ASA), 1982. Cap 3.:Rate of soil formation and renewal in the USA.

HARTWIG, R. O.; LAFLEN, J. M. A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, v.33, n.2, p.90-91, 1978.

HATFIELD, J. L. Erosion impacts, on/of site impacts. In: RAFTAN, L. (ed.) **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.422-424.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. A. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.145-154, 1999.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. Ames : Iowa State University Press, 1971. 320p.

HUDSON, N. W. **Soil degradation and civilization**. [S.l.] : National College of Agricultural Engineering. Cranfield Institute of Technology, 1978. 13p. Aula inaugural.

HUDSON, N.W. **Soil Conservation**. 3.ed. Ames : Iowa State University Press, 1995. 391p.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **Plantio direto caminho para a agricultura sustentável**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais. Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/PlantioDireto/PlantioDireto.htm>> Acesso em: 02 out. 2007.

JOHNSON, C. B.; MANNERING, J. V.; MOLDENHAUER, W. C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, n.4, p.772-777.1979(a).

JOHNSON, H.P.; BAKER, J.L.; SHRADER, W.D.; LAFLEN, J.M. Tillage System Effects on sediments and nutrients in runoff from small watersheds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p.1110-1114, 1979(b).

JUNIOR, A. S. M. **Formas de Aplicação e Eficiência Agronômica de Fertilizantes Fosfatados Acidulados**. São Paulo: Serrana Fertilizantes, 2006. Não paginado. Boletim Informativo.

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. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p.1072 -1081, 2003.

KOCHHANN, R.A.; SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J.M. et al. (ed). **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1991. p.43-51. (Documentos, 1).

LAFLEN, J. M.; BAKER, J. L.; HARTWIG, R. O.; BUCHELE, W. F.; JOHNSON, H. P. Soil and water loss from conservation tillage system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.21, p.881-885, 1978.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.40, p. 762-768, 1976.

LEVIEN, R. **Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo**. 1988. 168f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

LEVIEN, R.; COGO, N. P.; ROCKENBACH, C. A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.73-80, 1990.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (Zea mays L.)**. Botucatu : Unesp, 1999. 305f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LOPES, P. R. C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. 1984. 116f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

MACEDO, A.; CRESTANA, S.; VAZ, C. M. P. X-ray microtomography to investigate thin layers of soil clod. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 249-253, 1998.

MANNERING, J. V.; MEYER, L. D.; JOHNSON, C. B. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, p. 206-209, 1968.

MANSOR, M. T. C., TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campinas, v.10, n.3, p.715-723, 2006.

MEDEIROS, G. B. Evolução e estado da arte do cultivo mínimo na agricultura.

In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1995, Curitiba. **Anais...** Disponível em: <[http://www.ipef.br/publicacoes/seminario\\_cultivo\\_minimo/cap02.pdf#search=%22perdas%20de%20calcio%20e%20magnesio%20do%20solo%22](http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_cultivo_minimo/cap02.pdf#search=%22perdas%20de%20calcio%20e%20magnesio%20do%20solo%22)> Acesso em: 25 set. 2006.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas. II: Diversidade de processos na Bacia Vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.901-909, 2003.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n. 04, 2002.

MEURER, E. J.; REINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. . Fenômenos de Sorção em Solos. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2006. v. 1, p. 117-162.

MOLDENHAUER, W.C. Soil erosion: a global problem. In: BOODT, M. de; GABRIELS, D. (Ed.). **Assessment of erosion**. Great Britain : Ghent:, 1978. p.3-8.

MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora da Universidade Federal de Lavras, 2002. 626p.

MOTA, F. S. Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema de W. KOEPPEN. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.8, p.107-116, 1961.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1999. 399p.

POCH, R.M.; MARTINEZ-CASASNOVA, A. Degradation. In: RAFTAN, L. Ed. **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. v.1, p.260-263.

PRIMAVESI, O.; HELLER, E. A. **Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto**. São Paulo: BASF Brasileira SA, 1982 (Boletim técnico).

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

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).

REZENDE, M. O. O.; AMBROZINI, B.; MESSIAS, R. A.; ROSA, R. S. **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. São Carlos – SP : Universidade de São Paulo. Instituto de Química de São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/E-DUC-AMB-CiclosBiogeoquimicos.pdf#search=%22biofixa%C3%A7%C3%A3o%20do%20N%20ao%20solo%22>> Acesso em: 13 ago. 2006.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, Rio de Janeiro: Guanabara, Koogan, 2001. 906p.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470p.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, 2003.

SANTOS, D. T.; CARVALHO, P. C. de F.; NABINGER, C.; CARASSAI, I. J.; GOMES, L. H. Eficiência bioeconômica da adubação de pastagem natural no sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 437-444, 2008.

SARAIVA, O. F. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. I. Solo da unidade de mapeamento de São Jerônimo** – Segunda etapa experimental. 1978. 126f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1978.

SARAIVA, O. F.; COGO, N. P.; MIELNICZUK, J. Erosividade das chuvas e perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (São Jerônimo). II. Resultados do segundo ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio De Janeiro, v. 16, n. 1, p. 121-128, 1981.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.05, p.669-678, 2002.

SCHWAB, G. O; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 525p.

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**. 1997.131f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SCHICK, J. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** Lages : Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 1999.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT Jr., A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.427-436, 2000.

SILVA NETO, 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.

SILVEIRA, A. N.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 29-35, 2006.

STRECK, E. V. **Erosão hídrica do solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo "RUSLE"**. 1999. 195f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

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. **Informativo da EMATER/RS**. Série: solos, Porto Alegre, v.16, n.9, 5p, 1999.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2008. 222p.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 141-152, 2003.

SWANSON, N. P. A rotating – boom Rainfall Simulador. **Transactions of the ASAE**, ST. Joseph, v.26, p 1738 -1743, 1965.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, Jr J.J. Soil Strength-root penetration relations for medium – to coarse – textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

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. et al. **Compaction of agricultural soils**. Michigan: ASAE, 1971. cap.6, p.225-306.

VIEIRA, M. J. **Perdas por erosão sob diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.)**. 1977. 108f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas Por Erosão Sob Diferentes Sistemas de Preparo do Solo Para A Cultura da Soja (*Glycine Max* (L) Merrill), Em Condições de Chuva Simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 209-214, 1978.

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**. 2002. 68f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamentos dos esgotos**. DESA-UFGM, 1996. Disponível em: <<http://www.etg.ufmg.br/tim1/eutrofiz.doc>> Acesso em: 23 ago. 2006.

WISCHMEIER, W. H. Conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Ankeny, 1973. **Proceedings**. Soil Conservation Society of America. Ankeny, 1973. p.133-141.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington : USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

ZHANG, T.; WANG, X. Erosion and global change. IN: RATTAN, L. (ed.) **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.419-421.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, Madison, v.28 p.337-357, 1936.