

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Perdas de Solo, Água e Nutrientes em um Argissolo
Vermelho-Amarelo sob Diferentes Padrões de Chuva
Simulada.**

João Ricardo de Oliveira

2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM UM ARGISSOLO
VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES PADRÕES DE CHUVA
SIMULADA**

JOÃO RICARDO DE OLIVEIRA

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

e Co-orientação do Pesquisador
José Guilherme Marinho Guerra

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2007

631.4
O48p
T

Oliveira, João Ricardo de, 1978

Perdas de solo, água e nutrientes em um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada / João Ricardo de Oliveira – 2007.
52 f. : il.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.
Bibliografia: f. 43-50.

1. Ciência do solo - Teses. 2. Solos – Erosão – Teses. 3. Simulador de chuvas – Teses. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1968. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

JOÃO RICARDO DE OLIVEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01/03/2007.

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Marcos Bacis Ceddia. Dr. UFRRJ

Teodorico Alves Sobrinho. Dr. UFMS

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Raimundo Nonato de Oliveira e Maria da Silva Oliveira, e todos outros familiares e amigos;

Em especial a minha querida esposa Erica e ao meu filho João Victor;

Dedico este trabalho.

“Mesmo que eu ande pela vale da sopra e da morte, não temerei mal algum, pois Vós estais comigo Senhor, com seu bastão e cajado que me consolam”.
Salmo 23:4

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por minha vida e, por tudo que vem me proporcionando;

Aos meus pais Raimundo Nonato de Oliveira e Maria da Silva Oliveira, pelo amor e apóio em todas as fases da minha vida, e principalmente pela força dada as minhas determinações. A minha irmã Silvia Maria, pela amizade e companheirismo durante a vida e o tempo na Universidade Rural;

À minha querida esposa Érica, pela cumplicidade em minhas vontades, pelo amor e dedicação ao nosso filho João Victor, enquanto estava longe, e principalmente pela paciência em acreditar em mim, esperando todo o tempo de graduação, e certamente sem esta perseverança, eu não teria chegado onde estou;

Ao Professor Daniel Fonseca de Carvalho, pela orientação, incentivo e, principalmente, pela oportunidade e confiança depositada na realização dos trabalhos;

Aos estudantes e Bolsistas Wanderley J. Souza, Marinaldo Ferreira Pinto, Adilson Pacheco de Souza e Conan Ayade Salvador pela determinação e grande ajuda na realização dos trabalhos de laboratório e campo, sendo fundamentais para que este pudesse ser concluído como sucesso. Ainda pelo aprendizado sobre questões de relacionamento humano;

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Instituto de Agronomia em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do curso e desenvolvimento deste trabalho. Também a EMBRAPA Agrobiologia pelo apoio em ceder o campo experimental. Em especial agradeço ao pesquisador José Guilherme Marinho Guerra pela co-orientação e colaboração em todos os momentos;

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos e do Departamento de Engenharia da UFRRJ, em especial aos professores Marcos Bacis Ceddia e Leonardo D. B. da Silva que envidou esforços na colaboração e contribuição para o êxito dos trabalhos;

Ao Curso de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS), representado pela Coordenadora Professora Lucia Helena Cunha dos Anjos, pela confiança depositada para que este trabalho pudesse ser finalizado, e pelo apoio prestado em todas as etapas da execução;

Ao CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro, e por proporcionar um ensino de Pós Graduação de qualidade;

Aos colegas de curso e do alojamento, em especial a Roriz Luciano, Joventino Fernandes e Esmeralda Aparecida, pelos momentos difíceis passados no decorrer do curso;

Aos funcionários do Campo Experimental Terraço, cuja ajuda permitiu que fosse possível a obtenção dos resultados;

Aos demais colegas, amigos e funcionários, pelo apoio e colaboração durante o período de trabalho;

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA/SR.14/Acre, pelo apoio necessário para que eu pudesse concluir este trabalho;

Obrigado a todos.

BIOGRAFIA

JOÃO RICARDO DE OLIVEIRA, filho de Raimundo Nonato de Oliveira e Maria da Silva Oliveira, nasceu no dia 13 de outubro de 1978, na cidade de Januária, Estado de Minas Gerais. Em novembro de 1997 concluiu o curso Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Januária e, em setembro de 1999 ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no curso de Engenharia Agrônômica. Concluiu a graduação em março de 2004 e ingressou em março de 2005, em nível de mestrado, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Em 2005 foi aprovado no concurso público do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, tendo assumido o cargo em abril de 2006 na cidade de Rio Branco-AC. Concluiu o curso de mestrado, com a aprovação da dissertação, em março de 2007.

RESUMO

OLIVEIRA, João Ricardo de. **Perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada**. 2007. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

São poucas as pesquisas desenvolvidas no Brasil com o objetivo de estudar o efeito da intensidade das chuvas no fenômeno da erosão do solo. Além disso, as características das chuvas mudam de região para região e também no decorrer da sua duração. Por isso, na realização de trabalhos com simuladores de chuva, a adoção de uma precipitação com intensidade constante pode não representar as reais condições pluviométricas para a região. Este trabalho teve como objetivos determinar as perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo em duas condições de cobertura, submetido a quatro diferentes padrões de precipitação. Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental da Embrapa-Agrobiologia, localizado no município de Seropédica-RJ. Os tratamentos consistiram na aplicação de chuvas simuladas com diferentes padrões caracterizados como avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT). As chuvas tiveram duração de 60 minutos, com uma lâmina total aplicada de 30 mm e com um pico de 110 mm h^{-1} , para os padrões de intensidade variável. Foram realizadas duas baterias de testes de chuva simulada, uma sobre solo preparado com uma aração e duas gradagens no sentido do declive e outra após o cultivo de milho com o solo coberto com restos culturais. As parcelas foram delimitadas por chapas de aço com dimensões de 0,8 m de largura e 1,0 m de comprimento, cravadas no terreno com a maior dimensão no sentido do declive. Para a aplicação da chuva, foi utilizado um simulador de chuva portátil, devidamente calibrado e em condições de reproduzir adequadamente os padrões de precipitação de ocorrência natural. Apesar de não apresentar diferença estatística, foi possível verificar que no solo sem cobertura, o padrão de precipitação AT causou perdas de solo superiores aos padrões CT, AV e IN, em 61,6%, 46,4% e 13,6%, respectivamente. Já para o solo com cobertura morta, o padrão IN foi o que provocou a maior perda de solo, porém somente superou os padrões AV e AT em 19% e 4,7%, respectivamente. As perdas de água apresentaram comportamento semelhante às perdas de solo, sendo que na condição sem cobertura, o padrão AT apresentou uma lâmina de escoamento superior aos padrões AV, IN e CT em cerca de 42%, 19% e 19%, respectivamente. Os padrões de precipitação AV, IN e AT proporcionaram maiores valores de perda de solo e água do que o padrão CT que, por sua vez, não proporcionou escoamento e conseqüentemente sem perdas quando o solo apresentou-se com cobertura. Os padrões de chuva não influenciaram as perdas de nutrientes na água da enxurrada, independentemente das condições de cobertura. As perdas absolutas de nutrientes foram maiores no solo exposto, devido às maiores perdas de solo e água ocorridas neste sistema. As perdas de nutrientes foram maiores em suspensão na água da enxurrada, sendo, nas condições experimentais, a via preferencial de perdas de nutrientes. A cobertura do solo com resíduos de milho, reduziu substancialmente as taxas e perdas de solo, água e nutrientes, indicando que a palhada deixada sobre o solo após a colheita, auxilia de maneira efetiva no controle da erosão, principalmente em terras cultivadas em declive.

Palavras - chave: Erosão hídrica. Enxurrada. Simulador de chuva.

ABSTRACT

OLIVEIRA, João Ricardo de. **Losses of soil, water and nutrients in a Yellow-red Ultisol under different patterns of simulated rain.** 2007. 52p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

Few researches developed in Brazil have studied rain intensity effect in soil erosion process. The rain characteristics change from place to place (region to region) and during its events. For this reason, in studies using rain simulators, adoption of only one rainfall pattern with constant precipitation intensity, may not represent the actual regional rainfall conditions. The objective of this study was to determine the soil, water and nutrients losses in a Yellow-red Ultisol under two soil coverage conditions, and four different rainfall patterns. The experiment was conducted in Embrapa Agrobiologia experimental field, located at Seropédica municipality, Rio de Janeiro State, Brazil. Treatments consisted in application of simulated rains using variable rainfall intensity classified in different patterns as: advanced (AD), intermediate (IN), delayed (DE), and constant (CT). The rainfalls had duration of 60 minutes, with a total applied layer of 30 mm, and a peak of 110 mm h^{-1} , for the variable intensity standards. Two sets of simulated rain tests were carried: one on soil prepared with conventional tillage in the direction of slope, and another on soil after corn planting on the residue of a previous crop. The plots were delimited by steel plates with 0.8m width and 1.0m length, placed in the soil with the biggest side along the slope direction. For rainfall application, it was used a portable rainfall simulator, properly calibrated and in conditions of reproducing adequately the natural occurrence rainfall pattern. Although there was no statistical difference, it was possible to verify that in the soil without cover the rainfall pattern DE provided soil losses higher than CT, AD and IN, in 61.6%, 46.4% and 13.6%, respectively. As for the soil with covering, rainfall pattern IN provided the biggest soil losses, however, it only exceeded the patterns AD and DE in 19.0% and 4.7%, respectively. The water losses presented similar behavior to soil losses, and in soil without cover, the rainfall pattern DE presented a run-off superior to the AD, IN and CT patterns, of about 42%, 19% and 19%, respectively. The rainfall patterns AD, IN and DE provided higher values of soil and water losses than CT, which did not provide run-off and consequently no losses when the soil was covered. The rainfall patterns did not influence the nutrients losses in the water run-off, independently of the covering condition. The absolute nutrients losses were largest in the exposed soil, due to largest soil and water losses in this condition. The nutrients losses in the run-off suspension were highest, showing that, in the conditions of the experiment, this is the preferential way. The soil cover with corn residues reduced substantially the soil, water and nutrients loss ratios, indicating that the mulch helps, in an effective way, the erosion control, mainly in soils slopes that are cultivated.

Keywords: Hydric erosion. Run-off. Rainfall simulator.

LISTA DE ABREVIACOES

AV	Padrão de precipitao avançado;
AT	Padrão de precipitao atrasado;
Cmol _c	Centimol de carga;
cm	Centímetro;
CT	Padrão de precipitao constante;
CV	Coefficiente de variao;
Dm	Decmetro;
DMP	Diâmetro Médio ponderado;
Dp	Densidade das partículas;
Ds	Densidade do solo;
g	Gramas;
h	Hora;
IN	Padrão de precipitao intermediário;
Ip	Intensidade de precipitao (mm.h ⁻¹);
IEA	ndice de estabilidade de agregados;
kg	Kilograma;
Ls	Lâmina de Saturao;
mm	Milímetros;
m	Metro;
Macp	Macroporos;
min	Minutos;
Micp	Microporos;
mg	Miligrama;
mL	Mililitro;
^o C	Graus Celsius;
Pt	Porosidade Total;
s	Segundos;
Us	Umidade Volumétrica.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação avançado (AV).....	13
Tabela 2. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação intermediário (IN).....	14
Tabela 3. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação atrasado (AT).....	15
Tabela 4. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação constante (CT)	16
Tabela 5. Densidade do Solo (Ds) e Densidade das Partículas (Dp) em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos	18
Tabela 6. Macroporosidade (Macp), Microporosidade (Micp) e Porosidade total (Pt) em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos	18
Tabela 7. Índices de Estabilidade dos Agregados em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos.....	19
Tabela 8. Algumas características físicas e químicas ¹ do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo em que foram conduzidos os experimentos de chuva simulada	19
Tabela 9. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de precipitação avançado (AV)	22
Tabela 10. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de precipitação intermediário (IN)	23
Tabela 11. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de precipitação atrasado (AT)	23
Tabela 12. Tempo de coleta da enxurrada, amostragens e intervalos de coletas realizadas para o padrão de precipitação constante (CT).....	24
Tabela 13. Caracterização física das parcelas experimentais nas diferentes condições de cobertura e profundidades do solo	26
Tabela 14. Umidade inicial do solo ($m^3 m^{-3}$) e tempo do início do escoamento superficial para os padrões de precipitação no solo sem cobertura morta.....	27
Tabela 15. Umidade inicial do solo ($m^3 m^{-3}$) e tempo do início do escoamento superficial para os padrões de precipitação no solo com cobertura morta	27
Tabela 16. Porosidade total (Pt), umidade volumétrica do solo (Us) e lâmina de água para saturar (Ls) os primeiros 10 cm de solo das parcelas experimentais nas diferentes condições de cobertura.....	29
Tabela 17. Tempo de duração de cada intensidade de precipitação e energia cinética (Ec) das chuvas simuladas de acordo aos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT).....	29
Tabela 18. Perda acumulada de solo e água para os quatro padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo	30

Tabela 19. Taxa máxima de perda de solo e de água para quatro padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo	36
Tabela 20. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo sem cobertura morta.....	40
Tabela 21. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo com cobertura morta	40
Tabela 22. Perda absoluta de Ca, Mg e K para quatro padrões de precipitação em razão das condições de cobertura do solo	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT), utilizados nos experimentos.	10
Figura 2. Instalação do simulador de chuva em laboratório (a) e no campo (b).	11
Figura 3. Dispositivo eletrônico ou painel responsável pelo controle do tempo/ciclo do simulador.	11
Figura 4. Testes em laboratório para regulagem e calibração do simulador de chuva. Detalhe da calha coletora (a) e funil coletor da enxurrada (b).	12
Figura 5. Regulagem do relógio de ciclos do simulador de chuva em função da intensidade de precipitação.	13
Figura 6. Representação gráfica do padrão de precipitação avançado (AV).	14
Figura 7. Representação gráfica do padrão de precipitação intermediário (IN).	15
Figura 8. Representação gráfica do padrão de precipitação atrasado (AT).	16
Figura 9. Representação gráfica do padrão de precipitação constante (CT).	16
Figura 10. Vista geral da área experimental de chuva simulada.	17
Figura 11. Disposição das parcelas experimentais de perda de solo e os tratamentos de chuva simulada no campo.	20
Figura 12. Parcelas de erosão delimitadas por chapas de aço (a) e estrutura de lona utilizada como proteção contra rajadas de vento (b).	20
Figura 13. Cobertura da área com lona para minimizar interferências de chuvas naturais depois do início do experimento.	21
Figura 14. Área experimental de chuva simulada, 25 dias após a semeadura do milho.	21
Figura 15. Perda acumulada de solo (g m^{-2}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo sem cobertura morta.	32
Figura 16. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo sem cobertura morta.	33
Figura 17. Perda acumulada de solo (g m^{-2}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo com cobertura morta.	34
Figura 18. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo com cobertura morta.	34
Figura 19. Coeficientes de escoamento superficial para os padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo.	37
Figura 20. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) no solo sem cobertura morta.	37
Figura 21. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) no solo sem cobertura morta.	38
Figura 22. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) no solo com cobertura morta.	38
Figura 23. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) no solo com cobertura morta.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Erosão do Solo.....	3
2.2 Relação entre as Propriedades Físicas do Solo e Erosão Hídrica.....	4
2.3 Relação entre Precipitação e Erosão Hídrica.....	6
2.4 Simulador de Chuvas.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Fase Laboratorial	10
3.1.1 Calibração do simulador de chuva	10
3.1.2 Ajuste dos padrões de precipitação	12
3.1.3 Energia cinética das chuvas simuladas.....	17
3.2 Fase de Experimentação em Campo.....	17
3.2.1 Localização e caracterização da área em estudo	17
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	19
3.2.3 Procedimentos adotados nos testes de chuva simulada.....	20
3.2.4 Coleta da enxurrada para a avaliação das perdas	22
3.2.5 Avaliação das perdas de solo, água e nutrientes.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Caracterização Física e Umidade do Solo no Momento dos Testes de Chuva	26
4.2 Energia Cinética das Chuvas Simuladas	29
4.3 Avaliações das Perdas de Água e Solo.....	30
4.3.1 Perda acumulada de solo e água.....	30
4.3.2 Taxas de perdas de solo e água.....	35
4.4 Perdas de Nutrientes na Água e nos Sedimentos da Enxurrada	39
5 CONCLUSÕES.....	43
6 RECOMENDAÇÕES.....	44
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

A degradação das terras é um dos principais problemas ambientais do planeta, além de ser considerada um obstáculo ao aumento sustentável da produtividade. Em sistemas de produção agrícola, a principal razão do desgaste progressivo do solo é atribuída a erosão, que na maioria das vezes é causada por práticas de manejo ou uso inadequado do solo. No mundo inteiro, as taxas de erosão vêm assumindo proporções espantosas, com enormes implicações de ordem físicas, financeiras e sociais, com conseqüências diretas na redução da produtividade e perda de terras agricultáveis.

As taxas anuais de perdas de solo e água em áreas ocupadas por lavouras e pastagens no Brasil superaram a ordem de 822 toneladas e 170 bilhões de $m^3 ha^{-1}$, respectivamente (Hernani et al., 2002). Segundo os autores, a erosão dos solos em áreas de lavouras e pastagens provoca custos adicionais catastróficos para as propriedades rurais brasileiras (cerca de R\$7,33 bilhões), e estão relacionadas somente com a reposição de corretivos e nutrientes a estas áreas. Externamente à propriedade, os prejuízos anuais chegam a ordem de R\$3,29 bilhões, e estão relacionados ao tratamento de água para consumo, reposição de reservatórios, manutenção de estradas, recarga de aquíferos, consumo de combustíveis e energia em áreas irrigadas. Assim, os impactos da erosão resultam em um prejuízo anual na escala de R\$10,6 bilhões de reais, valor alarmante para um país de terceiro mundo.

Diversos autores destacam que a cada ano em todo território brasileiro perde-se milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão. Comumente o que se nota, principalmente na zona rural, é que as perdas de solo, água e nutrientes provocadas pela erosão hídrica continuam sendo elevadas, pois a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo e de conservação adequadas ao solo, levando-o quase sempre a uma diminuição acelerada de sua capacidade produtiva. Esta conseqüência negativa da erosão torna-se ainda mais evidente nos terrenos que apresentam declividade acentuada e/ou desprovidos de cobertura vegetal, ficando expostos diretamente aos impactos e ocasionando uma degradação em um menor período de tempo.

Dentro dos componentes da erosão hídrica, a chuva é o fator climático de maior importância devido à sua ação erosiva exercida pelo impacto das gotas associada ao escoamento superficial produzido. Assim, é de extrema importância avaliar a resposta dada pelo solo aos diferentes tipos de precipitação, tanto em termos do volume precipitado quanto pela duração e características dos eventos. Além disso, a distinção das chuvas quanto a seu poder erosivo vem, a cada dia, ganhando mais espaço no meio científico, uma vez que a maioria dos estudos sobre precipitação no Brasil tem se restringido à previsão da lâmina total máxima e/ou intensidade máxima provável, tomando como base séries históricas. No entanto, poucos trabalhos sobre erosão hídrica consideram as características das chuvas em perfil ou padrão de precipitação (variação da intensidade durante a sua ocorrência), o que pode influenciar as perdas de solo e água.

Especificamente para as condições brasileiras, onde as características edafoclimáticas são variadas, o emprego deste tipo de estudo pode fornecer informações importantes no que diz respeito às práticas conservacionistas, podendo minimizar os problemas causados pelas chuvas erosivas de determinada região ou mesmo por parte de irrigação, quando mal dimensionada em áreas de relevo acidentado. Isso se torna ainda mais preocupante uma vez que cultivos em sistemas dessa forma vêm promovendo impactos ambientais consideráveis devido ao manejo inadequado. Do ponto de vista científico, poucos são os trabalhos de erosão do solo realizados para as regiões específicas do país, principalmente utilizando diferentes padrões de precipitação em chuva simulada.

O uso de simulador de chuva para tais estudos é de grande valia, uma vez que podem ser utilizados para estudos de erosão hídrica, simulando com boa aproximação as chuvas ocorrentes na natureza. Com a aplicação de lâminas de diferentes intensidades e durações, estes equipamentos podem produzir eventos com padrões de precipitação comuns no determinado local, simulando situações de campo num menor período de tempo.

Neste contexto de avaliação da qualidade do solo visando a sustentabilidade dos sistemas de produção, a modelagem e a identificação da erosão hídrica e de seus componentes são importantes aspectos no monitoramento e controle da degradação ambiental dos solos tropicais. Da mesma forma, a fim de diminuir o impacto da erosão no empobrecimento do solo e na contaminação das águas, torna-se necessária à aplicação de práticas conservacionistas adequadas a cada região, fruto especialmente das pesquisas.

Assim este estudo se justifica sob a hipótese de que as perdas ocorridas no processo erosivo são influenciadas pelos diferentes padrões de precipitação e pelas condições de cobertura do solo. Ademais, tendo em vista a diversidade dos eventos de chuva de cada região e os impactos diferenciados que estes podem provocar, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de padrões de precipitação nas perdas de solo, água e nutrientes ocorridas em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada, em duas condições de cobertura do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão do Solo

A erosão é um processo de desprendimento, arraste e deposição de partículas do solo. Este processo é descrito como físico energético gerado a partir das interações de agentes ativo (vento e chuva) e passivo (solo) do sistema natural. Dependendo das características desses agentes e suas interfaces, este processo pode transformar em trabalho, originando as perdas de solo, água e outras substâncias do solo (Cassol & Reichert, 2002).

Apesar de possuir uma grande extensão territorial com potencial agrícola, a maior parte das áreas agricultáveis no Brasil apresenta baixa fertilidade natural, reflexo das próprias condições de origem geológica e características climáticas ou situações topográficas que propiciam o desgaste. Referindo a este desgaste como reflexo da erosão hídrica, Bertoni & Lombardi Neto (1999) colocam que apesar das terras brasileiras apresentarem curta história de exploração agrícola, as mesmas já demonstram sinais evidentes de declínio de sua capacidade produtiva. Segundo Carvalho et al. (2002) este tipo de degradação é facilitado e ainda intensificado quando são adotadas práticas inadequadas de manejo agrícola que aceleram o processo erosivo.

A cada ano as perdas de solo e água por erosão acarretam enormes prejuízos econômicos ao país (Hernani et al., 2002). Uma estimativa dos custos anuais indica que estes, tanto no âmbito das propriedades rurais quanto exteriormente a elas, estão alcançando níveis catastróficos para um país de terceiro mundo. Estes custos estariam associados ao aumento na reposição de corretivos e fertilizantes aos solos, somados ainda aos maiores custos de produção e menores produtividades, como também à diminuição da capacidade acumulativa de reservatórios, aumento nas despesas de tratamento de água, manutenção de estradas rodagens, entre outros. Neste sentido, atualmente no Brasil a erosão hídrica está sendo tratada com maior ênfase, resultado de esforços conjuntos de técnicos de diversas instituições brasileiras (Cassol & Reichert, 2002).

Em áreas agrícolas, a erosão hídrica é um processo impactante que altera as propriedades do solo, sendo considerada a forma mais prejudicial de degradação (Cogo et al., 2003) e o principal fator causador da insustentabilidade nos sistemas de produção agrícola (Meirelles et al., 2005). As perdas de solo, água e nutrientes resultantes dela são as principais responsáveis pelo empobrecimento das terras cultiváveis e declínio progressivo da produtividade (Bertol et al., 2003, Bertol et al., 2004a). Segundo os mesmos autores, a erosão hídrica pode ainda causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água como outros impactos (Dechen1 & Prochnow, 2003). Silva et al. (2005a) comentam que a minimização das perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico do solo constituem importante aspecto do planejamento conservacionista.

Para fins de avaliação das práticas de manejo e do grau de deterioração do potencial agrícola das terras, a erosão hídrica é analisada de acordo com a forma de manifestação na superfície do terreno, sendo diferenciadas em laminar, sulcos e em voçorocas (Santos & Anjos, 2005). A erosão laminar é caracterizada como um tipo de remoção de solo incidente de forma mais ou menos uniforme sobre a superfície de uma área, sendo resultante do escoamento superficial na forma de fluxo laminar delgado, podendo ser turbulento pelo impacto das gotas de chuva. Já a erosão em sulcos é caracterizada por pequenos canais na superfície do solo, onde há concentração de enxurrada e o escoamento superficial ocorre na forma de fluxo concentrado, enquanto que a erosão em voçorocas é vista como um estágio avançado da erosão em sulcos.

Galindo (1990) comenta que no processo de erosão hídrica, os agentes ativos são representados pelas características das chuvas, declividade do terreno, comprimento da rampa da encosta e capacidade de retenção de água no solo, enquanto que os agentes passivos são representados pela resistência que o solo exerce a ação erosiva e a densidade da cobertura

vegetal. De forma mais geral, Beutler et al. (2003), colocam que a chuva e a enxurrada combinadas são os principais agentes ativos da erosão hídrica. A associação desses agentes a outros fatores relativos às condições do terreno, determina a intensidade de degradação do solo. Os mesmos autores concluíram que preparos conservacionistas do solo são mais eficazes do que os convencionais, mostrando que a semeadura direta com rotação de culturas reduziu de 45% a 99% as perdas de solo e água, respectivamente, em relação ao preparo de solo convencional sob cultivo ou não.

Pereira et al. (2003) colocam que a declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, a distância da rampa de declive percorrida pelo escoamento, a rugosidade superficial, a percentagem de cobertura do solo e a resistência do solo à ação da chuva são os principais fatores relacionados às condições do terreno que determinam a intensidade do processo erosivo. Neste estudo, os autores concluíram que a declividade apresentou um efeito mais expressivo nas taxas de perdas de solo do que a vazão.

Cogo & Bertol (1998) comentam que o processo erosivo é desencadeado pela combinação de formas de energia cinética e potencial. Segundo eles a energia cinética é gerada pela velocidade da massa de água proveniente das gotas da chuva e do escoamento superficial, que são associados à intensidade da chuva. A energia potencial, por sua vez, está relacionada às maiores possibilidades de trabalho erosivo a ser realizado em função das maiores inclinações do terreno. Outros autores complementam que, além da declividade do terreno, a erosão hídrica depende do regime pluviométrico da região (Campos Filho et al., 1992), da umidade do solo antecedente à precipitação (Loyola & Prevedello, 2003), bem como da taxa de cobertura vegetal do solo que o protege do impacto das gotas de chuva (Perin et al., 2004).

Conforme Carvalho et al. (2002), tanto para as condições de chuva natural quanto para chuva simulada ou irrigação por aspersão, as gotas de água de diferentes tamanhos podem alcançar diferentes velocidades de queda, fazendo com que a superfície do solo fique sujeita ao impacto dessas gotas com diferentes magnitudes e isto, associado ao escoamento superficial, constitui o mecanismo da erosão hídrica dos solos. Segundo os autores, as perdas de solo e água aumentaram com o incremento da energia cinética da precipitação, atingindo 9,7 vezes na perda de solo e 6,4 vezes na perda de água, quando o valor da energia cinética das chuvas aumentou de 138 para 321 J m⁻².

Amorim (2003) observou que a presença da cobertura vegetal reduziu significativamente as perdas de solo e água, alcançando 95% e 68%, respectivamente, quando as perdas observadas nas parcelas com cultivo de milho morro abaixo foram comparadas com aquelas observadas na parcela com solo descoberto e preparado no sentido do declive (parcela padrão). O mesmo autor observou ainda que a cobertura vegetal associada ao preparo em nível proporcionou uma redução de 99% de perda de solo e 87% de perda de água, quando comparada com a parcela padrão.

2.2 Relação entre as Propriedades Físicas do Solo e Erosão Hídrica

Segundo Silva (1994), as propriedades físicas do solo influenciam diretamente o processo erosivo. Dentre elas, aquelas que afetam a taxa de infiltração e permeabilidade e aquelas que influenciam a resistência do solo às forças de dispersão, salpico e transporte, são consideradas de maior importância nos estudos de erosão do solo. No mesmo sentido, Chaves et al. (1993) colocam que as propriedades físicas do solo regulam a infiltração e a movimentação da água ao longo do perfil, influenciando o escoamento superficial e a resistência do solo ao impacto da gota de chuva.

Sob chuva simulada, Alves & Cabeda (1999) estudaram o efeito da infiltração de água em um solo submetido a dois métodos de preparo, e concluíram que o preparo convencional retardou o tempo de empoçamento e o início do escoamento superficial. Para eles, o preparo

convencional do solo devido à superfície menos protegida propiciou o selamento superficial que refletiu numa maior taxa de decréscimo da infiltração.

Volk et al. (2004), estudando a influência das condições físicas de superfície e subsuperfície do solo submetido a diferentes condições de manejo, observaram que a incorporação sistemática de resíduos culturais reduziu em 25% a perda de solo por erosão hídrica, quando comparada com sua retirada. Segundo os autores, as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo que governam as perdas de solo por erosão hídrica são bem distintas daquelas que governam as perdas de água pelo mesmo fenômeno.

Silva et al. (2005b) observaram que alguns atributos físicos do solo são modificados em função do manejo, fazendo com que as perdas de solo e água sejam mais acentuadas no sistema de cultivo convencional. Neste sistema de preparo, a camada compactada do solo é encontrada em maiores profundidades quando comparada ao sistema de plantio direto, no qual a pressão exercida pelas máquinas propicia a compactação em menores profundidades.

Entre as características granulométricas, químicas e estruturais do solo, Angulo et al. (1984) verificaram que a agregação, determinada pela estabilidade dos agregados e pela resistência ao impacto de gotas, foi a característica física do solo que melhor se correlacionou com a sua erodibilidade. Cogo et al. (2003) verificaram que em solos com a fertilidade corrigida, as perdas proporcionadas pela erosão foram influenciadas pelo aumento da produção de fitomassa aérea das culturas, que contribuiu com o aumento de resíduos culturais e, conseqüentemente, percentagem de cobertura morta no solo.

Mello et al. (2003), avaliando as perdas de solo e água em função do sistema de manejo aplicado a um Nitossolo Háplico, verificaram que o solo sob cultivo de soja, preparado com uma escarificação e uma gradagem sobre resíduos de aveia, apresentou redução nas perdas de solo e água da ordem de 85 e 34%, respectivamente, quando comparado ao solo preparado convencionalmente (uma aração e duas gradagens). Em relação ao solo preparado convencionalmente sem cultivo, a redução das perdas de solo e água foram de 96 e 40%, respectivamente.

Quanto às perdas de nutrientes, Bertol et al. (2004a), trabalhando em um Cambissolo Húmico, verificaram que nos preparos conservacionistas as concentrações de P e K transportados pela enxurrada da erosão foram maiores que nos preparos convencionais. A variação das concentrações de P e K na água de enxurrada foram de 0,11 a 0,92 mg L⁻¹ e 2,78 a 10,87 mg L⁻¹, respectivamente, para o solo com semeadura direta, cultivado a nove anos e, solo sem cultivo, no mesmo período de tempo. Entretanto, as perdas totais dos nutrientes foram maiores nos sistemas de preparo convencional. Guadagnin et al. (2005) verificaram o mesmo comportamento para os nutrientes NH₄⁺ e NO₃⁻, sendo as perdas totais de N tanto na água como nos sedimentos da enxurrada, menores nos sistemas conservacionistas de manejo do solo do que no preparo convencional.

Núñez et al. (2003) concluíram que o cultivo mínimo reduziu as perdas de P e influenciou na distribuição das formas lábil e orgânica do elemento. Segundo os autores, a aração morro abaixo favoreceu a perda de 12,4% do P adicionado na adubação, e que a permanência dos restos de vegetação em parcelas experimentais aradas morro abaixo, diminuiu as perdas totais de P em 40%, quando comparadas com àquelas parcelas preparadas de forma similar, mas com a queima dos restos vegetais.

Em função da grande variabilidade das suas propriedades físicas (Cichota et al., 2003), diferentes tipos de solo, mesmo em condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo, apresentam diferenciada sensibilidade à ação erosiva devido suas propriedades inerentes (Bertoni & Lombardi Neto, 1985). No mesmo sentido, Marques (1996) ressalta que a erodibilidade do solo representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à degradação e transporte de partículas, sendo um fator relacionado estritamente ao tipo de solo, assim variando significativamente de classe

para classe. Da mesma forma, Silva (1994) argumenta que a erodibilidade do solo é o fator mais importante para a escolha de práticas conservacionistas, pois reflete, para diferentes solos, as perdas variáveis quando submetidos às mesmas condições de declive, comprimento de rampa, regime pluviométrico e manejo.

Diversos trabalhos encontrados na literatura expressam que as práticas de manejo do solo empregadas aos sistemas de produção agrícola influenciam fortemente as características físicas do solo e, conseqüentemente, o processo erosivo, podendo intensificar as perdas pelo surgimento da erosão acelerada (Eltz et al., 1984; Silva et al., 1986; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994a; Seganfredo et al., 1997; Maria & Lombardi Neto, 1997; Beutler et al., 2003; Leite et al., 2004; Guadagnin et al., 2005; Bertol et al., 2005).

2.3 Relação entre Precipitação e Erosão Hídrica

Bertol (1994b) ressalta que as características das chuvas podem servir como parâmetros de suporte a trabalhos de extensão e assistência rural, permitindo definir épocas críticas de uso do solo em relação a erosão. Na agricultura brasileira, a precipitação pluviométrica é considerada o mais importante fator climático de risco, pois a seca e\ou a chuva excessiva ocorrida em determinadas regiões do país respondem quase que pela totalidade dos prejuízos ocorrentes (Keller Filho et al., 2005).

O regime pluviométrico e as características das chuvas ocorridas em uma região determinam em grande parte os efeitos danosos da erosão, sendo a intensidade de precipitação uma de suas principais características (Buckman & Brady, 1976). O potencial erosivo da chuva é definido como erosividade e é determinado pelo produto de sua energia cinética e sua intensidade máxima em determinado período (Wischmeier & Smith, 1958). No Brasil diversos trabalhos determinando a erosividade das chuvas são encontrados na literatura (Bertol, 1993; Bertol, 1994b; Bertol et al., 2002; Marques et al., 1997; Marques et al., 1998; Dias & Silva, 2003; Carvalho et al., 2005), além de outros que correlacionam os parâmetros de erosividade da chuva, da enxurrada com as perdas de solo e erodibilidade (Carvalho et al., 1997).

As chuvas naturais apresentam consideráveis alterações em termos de intensidade durante sua ocorrência. Por este motivo podem ser classificadas em diferentes padrões ou perfis de acordo com a intensidade e duração. Mehl (2000) define uma chuva individual quando esta estiver separada por outra por um intervalo de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm, e considerada erosiva quando a precipitação total for superior a 10 mm ou quando a precipitação for igual ou superior a 6 mm em 15 minutos de chuva. O autor ainda apresentou uma padronização das chuvas em três níveis distintos de acordo a posição de ocorrência do pico de maior intensidade em relação ao tempo total do evento. As chuvas podem ser separadas em padrão avançado, quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo menor do que 30 % a partir do tempo inicial da chuva em relação ao tempo de duração total; padrão intermediário, quando a maior intensidade ocorre entre 30 e 60% do tempo total da chuva; e padrão atrasado, quando a maior intensidade ocorre passados mais de 60% do tempo total de duração do evento. Os resultados obtidos pelo autor mostram que as maiores perdas de solo e água ocorrem nos padrões intermediário e atrasado, devido à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva. Em solos mais úmidos, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo pelo impacto das gotas da chuva também é favorecida, causando o selamento superficial e escoamento de enxurrada.

Sabe-se que as características das chuvas mudam de região para região (Keller Filho et al., 2005). Assim, um único padrão utilizado para pesquisa pode não ser representativo para outras regiões (Flanagan et al., 1988). Neste sentido, a organização das chuvas com determinadas características comuns, constitui um importante instrumento para fins de comparação. As pesquisas sobre precipitação no Brasil têm se restringido, na maioria das vezes,

a estudos agroclimáticos (Keller Filho et al., 2005) ou à previsão da lâmina total máxima precipitada ou da intensidade máxima provável, baseando-se em séries históricas, como principal interesse em projetos e obras de engenharia de água e solo (Cardoso et al., 1998; Freitas et al., 2001; Oliveira, 2003). Porém, poucos trabalhos consideram o padrão destes eventos ou as características do perfil das precipitações principalmente ao processo de erosão hídrica do solo (Oliveira, 2003). O mesmo autor acrescenta ainda, que a maioria dos trabalhos de avaliação de perdas de solo e água desenvolvidos no Brasil, tem empregado padrões de chuvas obtidos no exterior, que provavelmente, não condizem com os padrões que ocorrem nas diferentes regiões do território brasileiro.

Carvalho et al. (2005) comentam que no Brasil ainda são inexpressivos os estudos básicos sobre as características físicas das precipitações. Eles argumentam que o conhecimento e a quantificação das características físicas das chuvas são imprescindíveis para a determinação de índices de erosividade adequados a cada região do país. Os autores concluíram que das chuvas ocorridas entre os anos de 1974 a 1980 nos municípios de Seropédica e Nova Friburgo, estado do Rio de Janeiro, o padrão avançado é o de maior ocorrência, sendo representado por 61,3 e 57,7 % do número total de chuvas ocorridas no período nos municípios, respectivamente, seguido do padrão intermediário com 23,6 e 24,2 %, e o padrão atrasado com 15,1 e 18,1 %.

Silva et al. (2005c) estudando a influência de diferentes perfis ou padrões de precipitação nas perdas de solo, verificaram que o padrão atrasado, classificado por eles como duplo exponencial atrasado, provocou maior perda de solo (cerca de 1.006,80 g m⁻², aproximadamente 10 Mg ha⁻¹), em relação aos perfis constante, exponencial decrescente e o duplo exponencial adiantado, que refletiram magnitudes inferiores nas perdas da ordem de 22,36 %, 25,85 % e 16,58 %, respectivamente. No mesmo estudo, Rossoni et al. (2005), estudando a influência do perfil de precipitação nas perdas de água, também verificaram maior perda de água para o perfil atrasado (cerca de 36,35 mm), superando os padrões constante, exponencial decrescente e o duplo exponencial adiantado em 14,2%, 5,2% e 6,8%, respectivamente, fundamentado da mesma forma que Silva et al. (2005c). Os autores concluíram que as perdas de solo e água apresentaram de modo similar ao comportamento dos próprios perfis de precipitação, sendo as diferenças constatadas de baixa magnitude.

Lima et al. (2005), estudando as perdas por erosão hídrica em Cambissolo sob três padrões de chuvas erosivas para a cidade de Lavras – MG, observaram que das 139 chuvas erosivas ocorridas no período de 1998 a 2002 e que provocaram perdas de solo, 60% eram do padrão avançado, proporcionando perda de 772,82 Mg ha⁻¹, 25% do padrão intermediário com 216,85 Mg ha⁻¹ e 15% das chuvas pertenciam ao padrão atrasado, com perda de solo equivalente a 143,15 Mg ha⁻¹. Realizando o mesmo trabalho para um Latossolo, foram consideradas 93 chuvas erosivas que provocaram perdas de solo, das quais 58% caracterizou-se no padrão avançado, representando 37,84 Mg ha⁻¹ de perda de solo, 26% no padrão intermediário com 7,47 Mg ha⁻¹, e 16% no padrão atrasado com perdas de solo de 5,62 Mg ha⁻¹.

Estudando diferentes padrões de chuvas e seus efeitos na infiltração, perdas de água e na erosão do solo, Flanagan et al. (1988) verificaram que as chuvas intensas de padrão avançado quando comparada com o padrão constante proporcionaram taxa de escoamento superficial cerca de 6 vezes maior e 3 vezes mais perdas de solo. Segundo os autores, os resultados obtidos indicam que experimentos que aplicam intensidades de precipitação uniforme não simulam um importante componente de chuvas naturais que é a variação de sua intensidade ao longo de sua duração.

2.4 Simulador de Chuvas

Em estudos de conservação e manejo do solo e da água, além das parcelas experimentais de perda de solo sob chuva natural, têm sido muito empregados os infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva (Panachuki et al., 2006). Estes equipamentos são ferramentas de pesquisa projetadas para a aplicação de água por aspersão de forma similar às chuvas naturais (Costa, 1996).

Souza (2004) comenta que simuladores de chuvas apresentam-se como uma alternativa que permitem controlar as características das precipitações com a vantagem de tornar possível seu uso a qualquer tempo. Agassi & Bradford (1999) colocam que a principal limitação na utilização da chuva simulada é a impossibilidade de reproduzir as características das chuvas naturais em termos de intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva. Para Alves Sobrinho (1997), um simulador de chuva satisfatório é aquele que preenche os três requisitos seguintes: possui uma relação entre a energia cinética da precipitação simulada e a chuva natural, superior a 75 %; executar pelo menos duas aplicações por segundo, ou aplicar água de forma contínua ou não intermitente e; permitir o uso de parcelas experimentais com área superior a 0,50 m².

Montebeller et al. (2001), trabalhando com um simulador de chuvas pendular, determinou o diâmetro médio de gotas para diferentes intensidades de precipitação e pressão de serviço e outros ajustes, possibilitando o uso adequado deste equipamento em relação à chuva natural. Da mesma forma, Carvalho et al. (2002) e Carvalho et al. (2003), concluíram que a utilização de simuladores de chuvas em trabalhos de erosão hídrica constitui uma importante ferramenta para agilizar a obtenção de dados e a quantificação das perdas de solo e água, possibilitando a avaliação de tipos de manejo de solo, da cobertura e de sistemas de controle de erosão.

As características desejáveis para que um simulador de chuvas seja adequado a estudos hidrológicos e de erosão do solo se referem àquelas relacionadas às chuvas naturais, mais notadamente o tamanho, distribuição e velocidade terminal das gotas e a intensidade de aplicação. Utilizando um simulador de chuvas, Silveira & Salvador (2000) estudaram as perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais de milho, e puderam observar que a cobertura morta reduziu acentuadamente as perdas de água (69,88%) e solo (87,75%) em relação ao solo sem cobertura.

Silva et al. (2005d), utilizando um simulador de chuvas com braços rotativos, aplicou chuvas de intensidade e duração variadas em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os autores verificaram uma diminuição acentuada nas perdas de solo com o aumento da porcentagem de cobertura do solo e que os maiores valores dessa perda foram obtidos para as menores intensidades de precipitação, em virtude da maior duração da precipitação. Os mesmos autores complementam que a cobertura do solo apresentou maior influência do que a intensidade de precipitação nas perdas de solo e que o potencial erosivo das chuvas intensas foi reduzido pelo aumento da cobertura, passando o processo de erosão a ser dominado pelo efeito erosivo do escoamento superficial, o qual ocorre por maior período nas chuvas menos intensas, por apresentarem maiores durações.

Leite et al. (2004), aplicando chuvas com intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e duração variável, em lavouras de milho e feijão cultivados em um Nitossolo Háplico, utilizando simulador de chuva similar ao citado anteriormente, verificaram que as perdas de solo foram fortemente influenciadas pelo sistema de manejo do solo, enquanto as perdas de água sofreram efeito apenas moderado. Também comentaram que a queima dos resíduos culturais aumentaram as perdas de solo em 21 vezes em relação à ausência de queima.

Aplicando uma chuva de 65 mm h⁻¹ por 90 minutos utilizando um simulador de chuvas estacionário de bicos múltiplos e oscilantes, Reichert et al. (2001) concluíram que o formato das parcelas de erosão com seção retangular ou triangular, não interferem na determinação dos

parâmetros de erodibilidade dos entressulcos e nos sulcos. Da mesma forma, Schaefer et al. (2002) utilizando um simulador de chuvas de braços rotativos, aplicando uma chuva de 60 mm h⁻¹ associada a um tempo de duração de 68 minutos, verificaram que em um Argissolo Vermelho-Amarelo as perdas de solo superiores a 11 Mg ha⁻¹ foram encontradas em parcelas com percentagem de cobertura por mantas bidim entre 0 e 40%, e podem chegar a zero com 100% de cobertura do solo por esta manta. Colocam ainda que as perdas de nutrientes como o Ca, Mg, K e P, acompanham a ordem relativa dos teores traçáveis do solo e são correlacionadas às perdas de matéria orgânica.

Aplicando uma chuva de 60 mm h⁻¹ durante 70 minutos com um simulador de chuva de braços rotativos, Cassol & Lima (2003) verificaram que as taxas de perdas de solo em entressulcos em um Argissolo vermelho, foram em torno de 90% maiores que em tratamentos submetidos ao preparo de solo convencional, mesmo com a incorporação de resíduos vegetais, quando comparados aos sem preparo do solo. No mesmo solo, utilizando o mesmo tipo de equipamento, Cassol et al. (2004) verificaram que o aumento da cobertura do solo com resíduos vegetais elevou a lâmina de escoamento, no entanto, a velocidade média do escoamento foi reduzida em virtude do aumento das forças viscosas e gravitacionais promovidas pela interposição física dos resíduos ao escoamento.

Contudo, nota-se que avaliar a erosão hídrica em área agricultadas que adotam diferentes sistemas de manejo do solo, torna-se um instrumento importante para compor bancos de dados confiáveis a serem utilizados no desenvolvimento de modelos mais seguros de predição das perdas de solo e água, além de permitir a indicação de técnicas e práticas de manejo conservacionistas mais adequadas às condições regionais. Isto se torna ainda mais relevante no momento em que a maioria das pesquisas para avaliação da erosão hídrica no Brasil tem utilizado modelos estabelecidos para outros países, que podem não retratar de forma coerente os processos erosivos e padrões de chuvas naturais ocorridos nas diferentes regiões do país.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em três etapas, sendo a primeira delas realizada em laboratório, onde o simulador de chuvas foi calibrado de acordo com os diferentes padrões de precipitação. As demais foram realizadas em campo, onde foram simulados os padrões de precipitação para avaliar as perdas de solo, água e nutrientes em duas condições de cobertura (solo exposto ou sem cobertura e solo coberto com restos culturais de milho).

3.1 Fase Laboratorial

Foram analisados três padrões de precipitação de ocorrência natural, classificados como avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) (Mehl, 2000). Estes foram estudados por Carvalho et al. (2005), que avaliaram suas ocorrências na região de Seropédica-RJ, e por Cruz (2006), correlacionando-os com as perdas de solo e água, na mesma região. Ainda com intuito de comparação, foi incluído o padrão de precipitação constante (CT), por ser largamente empregado no Brasil em estudos de erosão hídrica com chuva simulada.

Adaptado de Mehl (2000), um exemplo das chuvas nos padrões avançado, intermediário, atrasado e constante está apresentado na Figura 1.

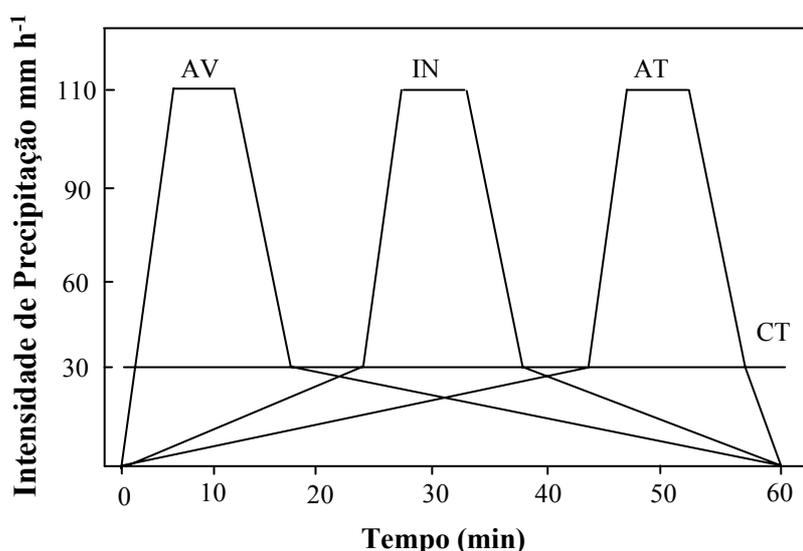


Figura 1. Padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT), utilizados nos experimentos.

Para os experimentos foram adotadas chuvas com duração de 60 minutos, e a lâmina de precipitação de 30 mm, que representa a lâmina média das chuvas intensas ocorridas na região de Seropédica-RJ (Carvalho et al., 2005). De acordo com a Figura 1, o pico de maior intensidade de precipitação (I_p) para os padrões AV, IN e AT, foi de 110 mm h⁻¹, também determinado por Carvalho et al. (2005), com base no registro das chuvas intensas ocorridas na região de Seropédica-RJ.

3.1.1 Calibração do simulador de chuva

Para aplicação das chuvas e avaliação da influência dos padrões de precipitação nas perdas de solo, água e nutrientes, foi utilizado um simulador de chuvas pendular portátil, semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), o qual pertence ao Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia da UFRRJ.

A Figura 2 apresenta imagens da instalação do simulador em laboratório (a) e no campo (b).



Figura 2. Instalação do simulador de chuva em laboratório (a) e no campo (b).

Este equipamento permite a variação da intensidade de precipitação durante a realização do teste, sem que haja variações da pressão de serviço do sistema e do diâmetro das gotas. O comando do simulador de chuva é feito por um dispositivo eletrônico ou relógio de comando integrado ao aparelho (que expressa tempo/ciclo), o qual determina a velocidade e condições de movimentação do eixo onde estão fixados os bocais (Montebeller et al., 2001) (Figura 3). O controle da intensidade de aplicação da chuva é dado em função do número de ciclos ou oscilações do pêndulo por unidade de tempo (em segundos), indicado no relógio de comando, e pela manutenção de pressão de serviço do sistema.



Figura 3. Dispositivo eletrônico ou painel responsável pelo controle do tempo/ciclo do simulador.

Devido à necessidade de utilização de diferentes intensidades de chuva para simular adequadamente os padrões de precipitação, o simulador de chuva foi previamente calibrado no laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia da UFRRJ, considerando as sugestões de Montebeller et al. (2001) em relação à manutenção da pressão de serviço e diâmetro dos bocais de aplicação.

Para a regulagem do aparelho, foram simuladas 5 chuvas de intensidade constante com duração de 5 minutos, para cada tempo/ciclo indicados no painel de controle ou relógio controlador. A intensidade de precipitação foi determinada em função do tempo de duração da chuva e do volume coletado em uma área amostral, definida pelas dimensões de uma calha de 0,80 m² (Figura 4a).

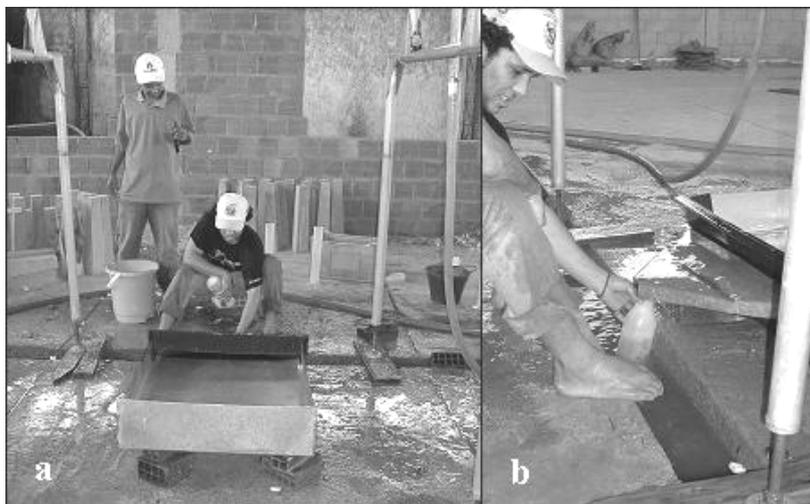


Figura 4. Testes em laboratório para regulagem e calibração do simulador de chuva. Detalhe da calha coletora (a) e funil coletor da enxurrada (b).

A calha, que possuía um dispositivo do tipo funil (Figura 4b), foi posicionada a uma altura de 2,80 m dos bicos fixados no pêndulo do simulador, permitindo a coleta da água escoada. Foram realizados vários testes, com regulagens de tempo variando de 0,5 até 13 segundos/ciclo, e a média dos volumes coletados nas 5 chuvas em cada tempo, foram transformados para mm h⁻¹, e após plotagem em planilha eletrônica, foi realizada uma análise de regressão, permitindo a obtenção de uma curva potencial, tendo o tempo/ciclo como variável independente e a intensidade de precipitação como variável dependente (Figura 5). A equação foi empregada para estimar o valor do tempo a ser acionado no painel do relógio de ciclo do aparelho, para se obter a intensidade de precipitação desejada para cada patamar que compôs os padrões de precipitação testados no campo.

Seguindo sugestões de Montebeller et al. (2001), durante a condução dos ensaios, a pressão de serviço aplicada nos bocais Veejet 80.150 foi mantida em 34,0 kPa, com o objetivo de simular chuvas com características próximas às da chuva natural.

3.1.2 Ajuste dos padrões de precipitação

Em virtude da necessidade de simular adequadamente os padrões de precipitação estudados, variando a intensidade durante a ocorrência da chuva, o tempo de duração dos eventos foi fragmentado em intervalos menores, os quais foram ajustados a aplicar intensidades diferentes no decorrer do tempo, de forma que no final do evento a lâmina aplicada totalizasse 30 mm. Portanto, a fim de caracterizar os padrões de precipitação AV, IN, AT e CT, as intensidades de precipitação foram discretizadas de modo a manter a lâmina total precipitada de 30 mm para todos os eventos.

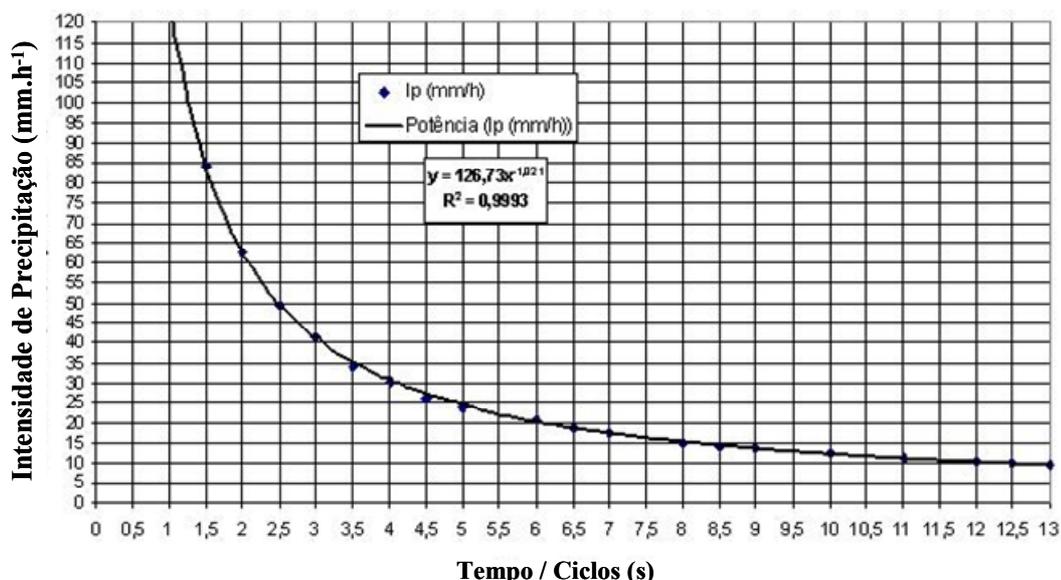


Figura 5. Regulagem do relógio de ciclos do simulador de chuva em função da intensidade de precipitação.

De forma mais bem ilustrada, os ajustes do simulador de chuva de acordo aos padrões de precipitação AV, AT, IN e CT são apresentados nas Tabelas de 1 a 4, que mostram as intensidades de precipitação, valor de entrada no painel de controle do aparelho, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para cada padrão de precipitação. Da mesma forma, os gráficos apresentados nas Figuras de 6 a 9, mostram a variação ou não da intensidade de precipitação no decorrer do tempo de duração das chuvas, para os padrões de precipitação AV, AT, IN e CT, respectivamente.

Tabela 1. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação avançado (AV)

Intensidade de Precipitação	Valor do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm h^{-1}	tempo ciclo^{-1}	----- min -----		-- mm --	-- mm --
10	12,03	2	0 - 2	0,33	0,33
30 *	4,10	2	2 - 4	1,00	1,33
60	2,08	2	4 - 6	2,00	3,33
90	1,40	2	6 - 8	3,00	6,33
110	1,15	4	8 - 12	7,33	13,67
90	1,40	2	12 - 14	3,00	16,67
60	2,08	2	14 - 16	2,00	18,67
30 **	4,10	2	16 - 18	1,00	19,67
25	4,90	4	18 - 22	1,67	21,33
20	6,10	8	22 - 30	2,67	24,00
15	8,09	12	30 - 42	3,00	27,00
10	12,03	18	42 - 60	3,00	30,00

*Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

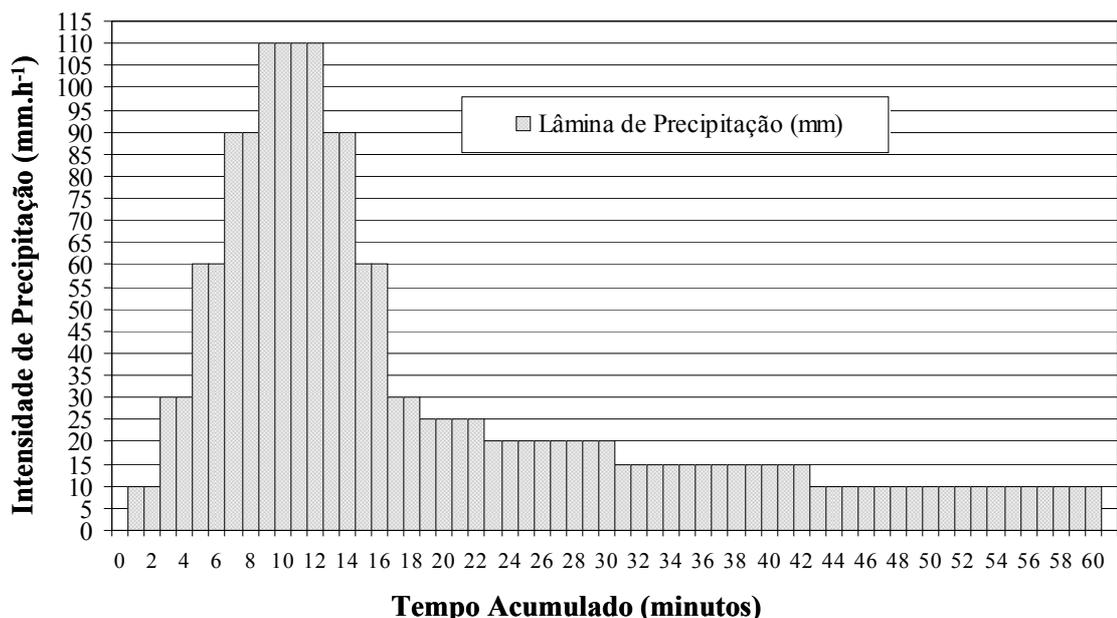


Figura 6. Representação gráfica do padrão de precipitação avançado (AV).

Tabela 2. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação intermediário (IN).

Intensidade de Precipitação	Valor do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm h ⁻¹	tempo ciclo ⁻¹	----- min -----		-- mm --	-- mm --
10	12,03	10	0 - 10	1,67	1,67
15	8,09	6	10 - 16	1,50	3,17
20	6,10	4	16 - 20	1,33	4,50
25	4,90	2	20 - 22	0,83	5,33
30 *	4,10	2	22 - 24	1,00	6,33
60	2,08	2	24 - 26	2,00	8,33
90	1,40	2	26 - 28	3,00	11,33
110	1,15	4	28 - 32	7,33	18,67
90	1,40	2	32 - 34	3,00	21,67
60	2,08	2	34 - 36	2,00	23,67
30 **	4,10	2	36 - 38	1,00	24,67
25	4,90	2	38 - 40	0,83	25,50
20	6,10	4	40 - 44	1,33	26,83
15	8,09	6	44 - 50	1,50	28,33
10	12,03	10	50 - 60	1,67	30,00

*Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

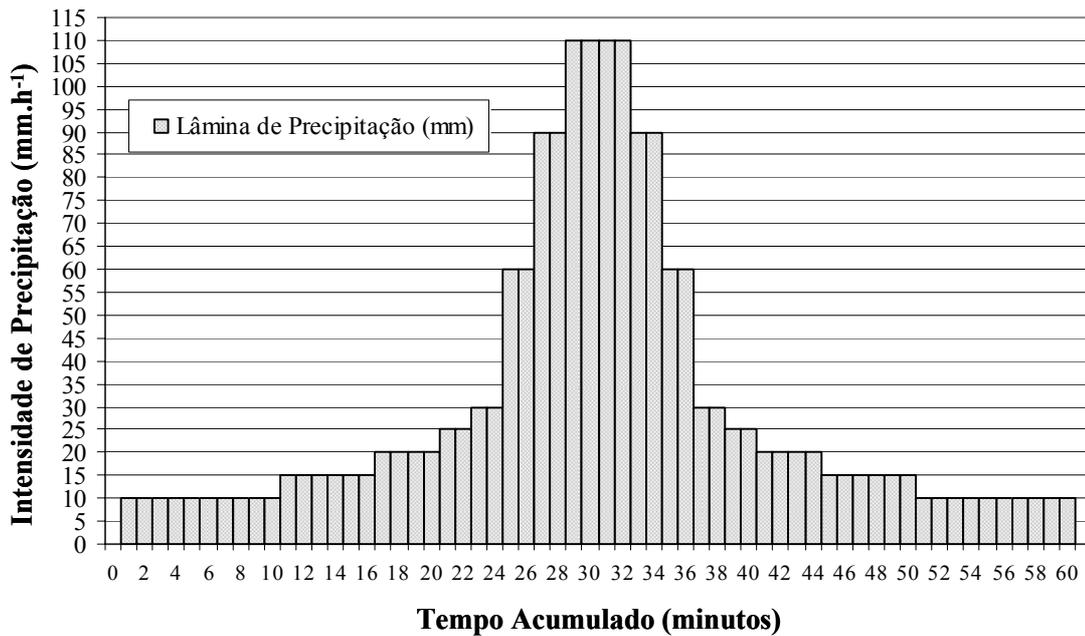


Figura 7. Representação gráfica do padrão de precipitação intermediário (IN).

Tabela 3. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação atrasado (AT)

Intensidade de Precipitação	Valor do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm h ⁻¹	tempo ciclo ⁻¹	----- min -----		-- mm --	-- mm --
10	12,03	18	0 - 18	3,00	3,00
15	8,09	12	18 - 30	3,00	6,00
20	6,10	8	30 - 38	2,67	8,67
25	4,90	4	38 - 42	1,67	10,33
30 *	4,10	2	42 - 44	1,00	11,33
60	2,08	2	44 - 46	2,00	13,33
90	1,40	2	46 - 48	3,00	16,33
110	1,15	4	48 - 52	7,33	23,67
90	1,40	2	52 - 54	3,00	26,67
60	2,08	2	54 - 56	2,00	28,67
30 * *	4,10	2	56 - 58	1,00	29,67
10	12,03	2	58 - 60	0,33	30,00

* Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

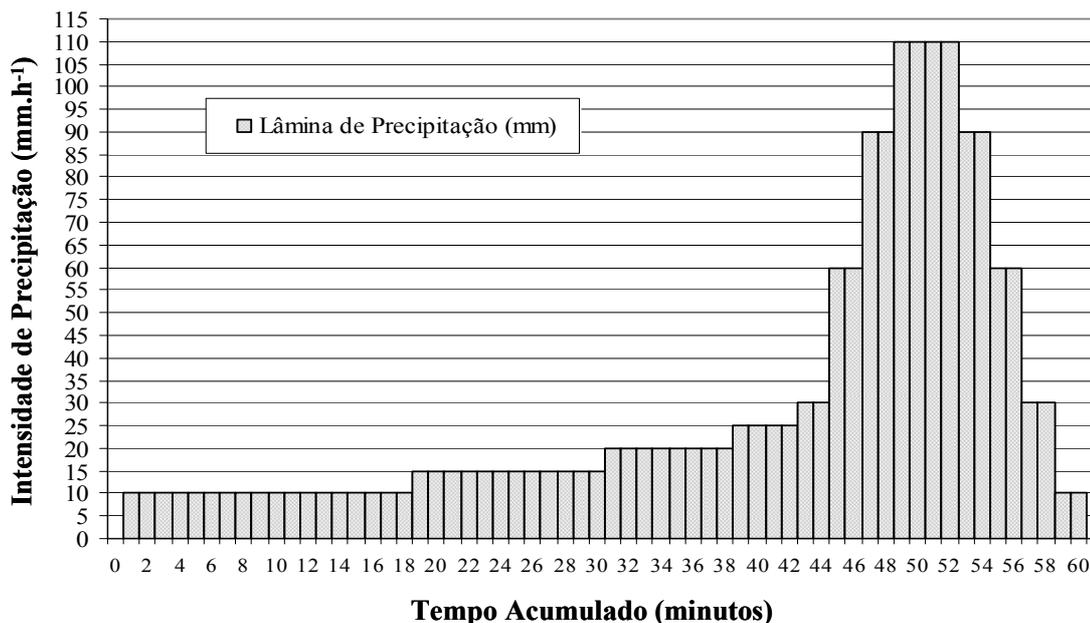


Figura 8. Representação gráfica do padrão de precipitação atrasado (AT).

Tabela 4. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação constante (CT)

Intensidade de Precipitação	Valor do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm h ⁻¹	tempo ciclo ⁻¹	----- min -----		-- mm --	-- mm --
30	4,10	60	0 - 60	30,00	30,00

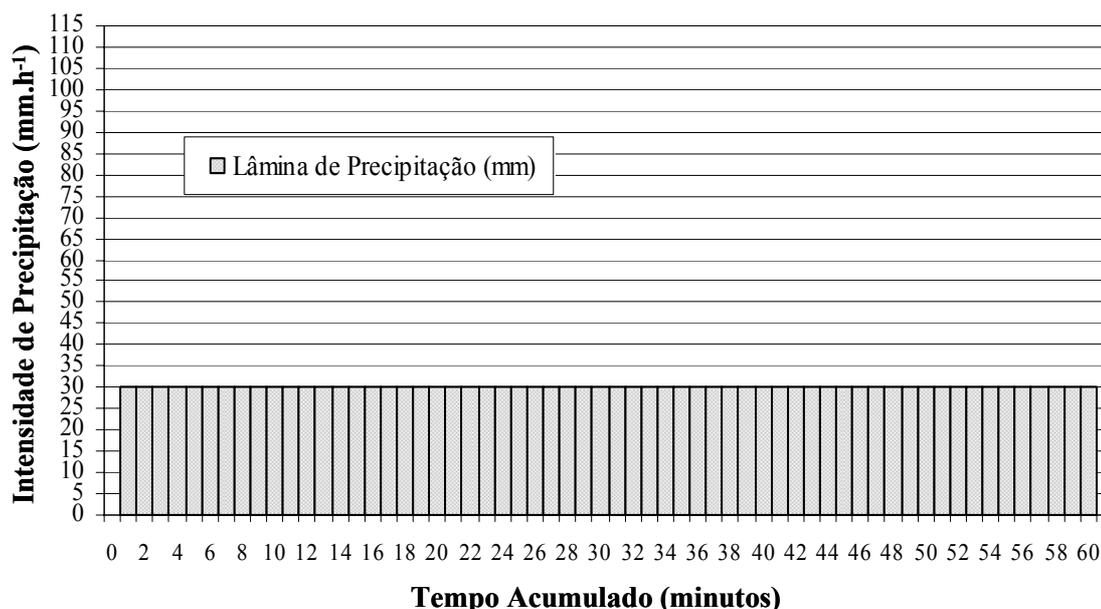


Figura 9. Representação gráfica do padrão de precipitação constante (CT).

3.1.3 Energia cinética das chuvas simuladas

Depois de ajustado o simulador de chuva aos padrões de precipitação, procedeu-se ao cálculo da energia cinética para os eventos de chuva que caracterizaram os padrões de precipitação estudados. Para isso, foi utilizado o programa computacional “EnerChuva” desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2001). O aplicativo define parâmetros hidráulicos utilizados na determinação de energia cinética da chuva simulada, utilizando, para tal, dados de intensidade de precipitação (mm h^{-1}), tempo de duração de cada intensidade (min), diâmetro médio da gota (mm), pressão de serviço do sistema (PSI) e altura dos bicos aspersores do aparelho simulador de chuva (m).

De posse de todos os dados necessários e dos gráficos de cada padrão de precipitação apresentados anteriormente, a energia cinética foi obtida para cada patamar que compôs os diferentes padrões de precipitação, e a energia cinética total do evento obtida a partir da soma dos valores de cada patamar.

3.2 Fase de Experimentação em Campo

A fase de experimentação em campo ocorreu em duas etapas: na primeira foi avaliada a influência dos padrões de precipitação nas perdas ocorridas no solo em condições similares às de pós-plantio, em sistema convencional (solo sem cobertura morta); na segunda, os testes foram realizados 30 dias após a colheita de milho, com o solo coberto por restos culturais (solo com cobertura morta).

3.2.1 Localização e caracterização da área em estudo

Os experimentos foram conduzidos em uma área no Campo Experimental da Embrapa, denominada “Terraço”, localizado no Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (EMBRAPA AGROBIOLOGIA), município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, com coordenadas geográficas $22^{\circ} 46'$ de latitude Sul e $43^{\circ} 41'$ de longitude Oeste. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo e as parcelas experimentais ocupavam o terço médio de uma encosta com declividade média de $0,09\text{mm}^{-1}$ (Figura 10).



Figura 10. Vista geral da área experimental de chuva simulada.

A área de experimentação encontrava-se inativa por cerca de 20 anos e era ocupada por gramíneas. Por este motivo, o preparo do terreno foi realizado inicialmente com auxílio de um subsolador, seguido de um sistema de preparo convencional do solo (uma aração e duas

gradagens), realizado no sentido do declive do terreno, buscando simular condições críticas com relação à conservação do solo.

No intuito de verificar diferenças provocadas pela variabilidade do terreno a fim de melhor definir o delineamento estatístico antes da montagem dos experimentos a campo, foi realizado levantamento dos atributos físicos do solo, tais como densidade de solo (método do anel volumétrico), densidade das partículas (método do balão volumétrico), macro e micro porosidade (método da mesa de tensão), porosidade total e estabilidade dos agregados (método do tamisamento úmido), conforme preconizados por EMBRAPA (1997). A área experimental com área total de 160 m² foi dividida em 5 parcelas com 32 m² (4 m x 8 m), onde foram coletadas duas amostras em diferentes profundidades. Os dados foram submetidos ao teste de médias e os resultados estão apresentados nas tabelas 5, 6 e 7 que seguem.

Tabela 5. Densidade do Solo (Ds) e Densidade das Partículas (Dp) em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos

Parcelas (32 m ²)	Ds (kg dm ⁻³)				Dp (kg dm ⁻³)			
	Profundidade (cm)							
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
I	1,07 A	1,43 A	1,57 A	1,59 A	2,60 A	2,60 A	2,81 A	2,66 A
II	1,06 A	1,49 A	1,55 A	1,51 A	2,57 A	2,66 A	2,73 A	2,65 A
III	1,16 A	1,37 A	1,52 A	1,55 A	2,67 A	2,77 A	2,66 A	2,55 A
IV	1,06 A	1,39 A	1,58 A	1,55 A	2,54 A	2,75 A	2,73 A	2,66 A
V	1,05 A	1,38 A	1,44 A	1,49 A	2,59 A	2,53 A	2,92 A	2,59 A
Média	1,08	1,41	1,53	1,54	2,59	2,66	2,77	2,62
CV (%)	6,45	13,81	1,81	2,24	2,97	4,44	2,12	4,83

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

Tabela 6. Macroporosidade (Macp), Microporosidade (Micp) e Porosidade total (Pt) em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos

Parcelas (32 m ²)	Macp (%)		Micp (%)		Pt * (%)	
	Profundidade (cm)					
	7,5	22,5	7,5	22,5	7,5	22,5
I	18,38 A	8,44 A	35,14 A	34,46 A	53,52 A	42,89 A
II	16,92 A	9,47 A	36,18 A	33,27 A	53,09 A	42,74 A
III	27,29 A	9,81 A	31,41 A	32,34 A	58,71 A	42,14 A
IV	21,35 A	9,93 A	37,26 A	32,88 A	58,61 A	42,80 A
V	18,96 A	10,16 A	35,30 A	32,49 A	54,26 A	42,65 A
Média	20,58	9,56	35,06	33,09	55,64	42,64
CV (%)	42,32	20,38	8,74	2,10	11,94	3,70

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

*Obtida pela soma da macro e microporosidade.

Tabela 7. Índices de Estabilidade dos Agregados em diferentes profundidades da área experimental de chuva simulada antes da realização dos experimentos

Parcelas (32 m ²)	DMP (mm)		IEA* (%)			
			> 0,25 mm		> 1,00 mm	
			Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10
I	3,18 A	2,97 A	90,77 A	89,37 A	68,77 A	65,93 A
II	3,73 A	3,45 A	90,22 A	92,70 A	78,34 A	74,98 A
III	4,30 A	4,12 A	95,83 A	94,29 A	88,31 A	85,81 A
IV	2,81 A	2,90 A	90,17 A	90,32 A	63,13 A	65,07 A
V	4,10 A	3,59 A	96,43 A	94,71 A	85,18 A	77,39 A
Média	3,62	3,41	92,68	92,28	76,75	73,84
CV (%)	20,86	18,02	3,40	5,21	16,25	15,36

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %.

* % de agregados estáveis em água maior que 0,25mm e 1,00 mm.

Adaptada de Cruz (2006), que conduziu trabalhos de erosão hídrica sob chuva natural em uma área ao lado da área estudada, na Tabela 8 estão apresentadas algumas características físicas e químicas do perfil deste Argissolo Vermelho-Amarelo.

Tabela 8. Algumas características físicas e químicas¹ do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo em que foram conduzidos os experimentos de chuva simulada

Horizonte		Composição granulométrica TFSA (g kg ⁻¹)			Grau de flocculação (%)		Silte/Argila	
Símb.	Prof. cm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila total <2μ	floculação (%)	<u>Silte/Argila</u>		
A	0-16	580	150	260	27	0,59		
AB	16-27	500	140	360	19	0,38		
BA	27-46	420	130	440	44	0,30		
Bt ₁	46-90	460	120	420	77	0,30		
Bt ₂	90-117	400	150	450	82	0,33		
Bt ₃	117-155+	300	120	580	99	0,21		

Simb.	Prof. cm	pH H ₂ O	Al ⁺⁺⁺ ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	P ⁺⁺⁺	C	MO	N
			--- mg dm ⁻³ ---			----- g kg ⁻¹ -----				
A	0-16	4,90	0,20	2,80	1,30	47,00	4,00	10,4	18,00	1,10
AB	16-27	5,00	0,20	2,00	1,70	20,00	3,00	08,5	14,60	1,00
BA	27-46	5,10	0,00	2,30	1,10	14,00	1,00	04,8	08,30	0,60
Bt1	46-90	5,70	0,00	1,80	1,20	51,00	1,00	02,8	04,80	0,50
Bt2	90-117	5,90	0,00	1,10	1,20	6,00	1,00	02,4	04,10	0,40
Bt3	117-155+	5,80	0,00	1,70	1,50	7,00	2,00	02,2	03,90	0,50

¹Análises realizadas no Laboratório de solo da Embrapa Agrobiologia (Embrapa, 1997).

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Com base nos resultados mostrados nas tabelas 5, 6, e 7 pode-se notar que a caracterização física da área experimental evidenciou a uniformidade do solo quanto às variáveis avaliadas. Assim, os experimentos de campo foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizados, com 4 tratamentos (padrões de precipitação AV, IN, AT e CT) e 5 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. O esquema mostrado na Figura 11 ilustra a divisão da área em parcelas de perda de solo e a localização de cada repetição dos tratamentos de chuva simulada.

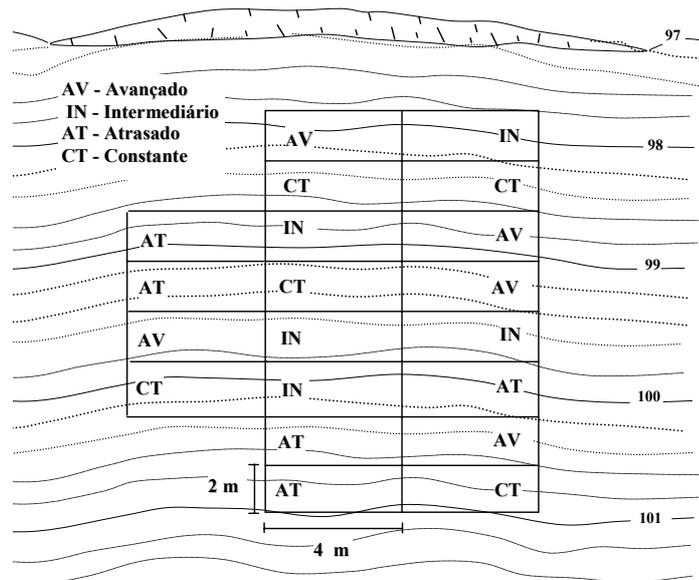


Figura 11. Disposição das parcelas experimentais de perda de solo e os tratamentos de chuva simulada no campo.

3.2.3 Procedimentos adotados nos testes de chuva simulada

Devido a problemas operacionais do equipamento, a primeira etapa foi realizada em campo 140 dias após o preparo inicial do terreno. Por isso, no momento da realização dos testes, ao lado de cada parcela experimental foi novamente realizada coleta de amostras, em duas profundidades do solo, para a determinação da densidade do solo, macro e microporosidade e volume total de poros, seguindo a mesma metodologia citada anteriormente (EMBRAPA, 1997). Estes dados foram submetidos à análises da variância, com o objetivo de verificar possíveis variações entres as parcelas experimentais dos tratamentos de chuva.

A parcela amostral, própria do simulador utilizado, foi de $0,80 \text{ m}^2$, devidamente delimitada por chapas de aço com $0,25 \text{ m}$ de altura e dimensões $0,8 \text{ m}$ por $1,0 \text{ m}$, cravadas no solo cerca de $0,10 \text{ m}$ e com a maior dimensão no sentido do declive (Figura 12a).

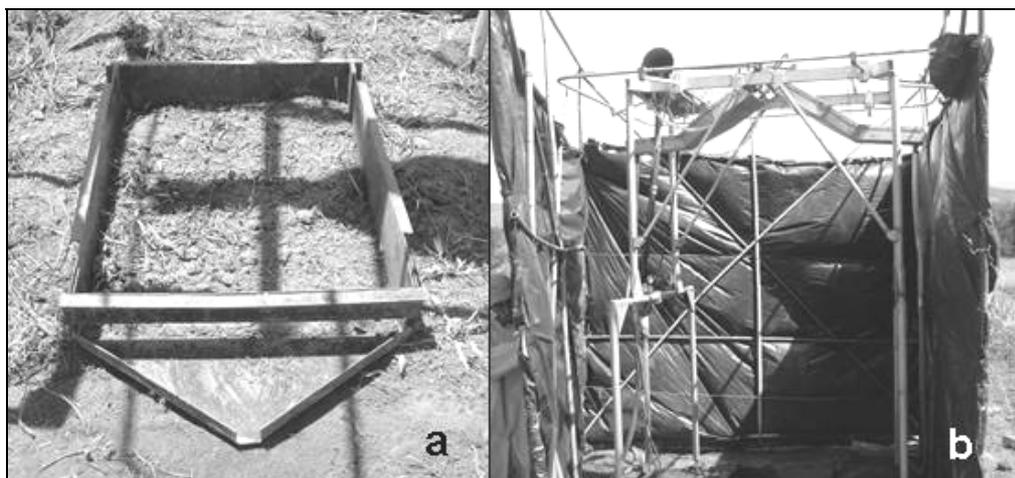


Figura 12. Parcelas de erosão delimitadas por chapas de aço (a) e estrutura de lona utilizada como proteção contra rajadas de vento (b).

Para os testes, o simulador de chuva era posicionado sobre as parcelas, aplicando os mesmos critérios utilizados na calibração do aparelho. Com o objetivo de evitar a interferência do vento no deslocamento das gotas, foi instalado um aparato de lona em torno do aparelho (Figura 12b). Após o início dos testes, toda área foi coberta (Figura 13), com o objetivo de manter a uniformidade das parcelas experimentais durante a realização dos testes (Mehl, 2000).



Figura 13. Cobertura da área com lona para minimizar interferências de chuvas naturais depois do início do experimento.

Após conclusão da primeira etapa dos testes em campo, caracterizando a condição de solo sem cobertura morta (solo exposto), a área experimental foi cultivada com milho, semeado em sulcos no sentido do preparo do terreno, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 7 plantas por metro linear (Figura 14). Trinta dias após a colheita, foi realizada a segunda etapa de testes sobre o solo coberto pela palhada do milho (solo com cobertura morta).



Figura 14. Área experimental de chuva simulada, 25 dias após a semeadura do milho.

Antes da realização das chuvas simuladas, foram realizadas, em pequenos pontos, amostragens referentes à quantidade de resíduos remanescentes em toda área experimental, objetivando estimar a percentagem de cobertura do solo proveniente dos restos da cultura do milho conforme Lopes et al. (1987a). Com cerca de 62,0% de cobertura do solo, os testes de chuva simulada foram novamente realizados, seguindo a mesma metodologia empregada na primeira etapa, com o objetivo de avaliar a influência da cobertura morta e dos padrões de

precipitação nas perdas de terra, água e nutrientes do solo. Também, no momento da realização das chuvas simuladas, foram coletadas amostras de solo para determinação da densidade do solo, macro e microporosidade e volume total de poros (EMBRAPA, 1997).

3.2.4 Coleta da enxurrada para a avaliação das perdas

Conforme Varella (1999), antes de se iniciar os testes e a coleta dos dados de escoamento, as parcelas sofreram um pré-molhamento, com o objetivo de oferecer condições uniformes de umidade. Para tal, o relógio de ciclos do simulador foi regulado para aplicar intensidade de chuva de 110 mm.h^{-1} , durante um tempo suficiente para umedecer o solo sem que houvesse escoamento superficial. Após o pré-molhamento das parcelas, o equipamento ficou desligado por aproximadamente 10 minutos, a fim de permitir uma distribuição de água no perfil e estabilização da umidade na camada superficial do solo.

Antes de cada teste, foi realizada uma coleta de solo em diferentes profundidades para a determinação da umidade do solo. Para não provocar perturbação da camada superficial de solo dentro da área amostral ($0,80 \text{ m}^2$), essa coleta de solo foi efetuada ao lado de cada parcela, fora da área delimitada pelas chapas de aço. Também, em cada parcela, foram anotados os tempos de início do escoamento superficial, os quais foram submetidos à análise da variância.

Para cada tratamento especificado, as amostras da enxurrada foram coletadas em recipientes de 1 litro, num intervalo de tempo de 2 minutos. Caso o recipiente atingisse sua capacidade máxima antes de terminar o tempo de coleta estabelecido, o mesmo era imediatamente substituído por outro, continuando assim a amostragem.

Nas Tabelas de 9 a 12 estão caracterizados os intervalos de coleta, os pontos de alteração na intensidade de precipitação (I_p) e o número de coletas que foi realizado em cada teste.

Tabela 9. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na I_p , amostragens realizadas para o padrão de precipitação avançado (AV)

Tempo de coleta min	Pontos de alteração na I_p	Amostragens	Pontos ou intervalos de coleta
2:00	00:00 a 02:00	1	00:00 a 02:00
	02:00 a 04:00	2	02:00 a 04:00
	04:00 a 06:00	3	04:00 a 06:00
	06:00 a 08:00	4	06:00 a 08:00
	08:00 a 12:00	5	09:00 a 11:00
	12:00 a 14:00	6	12:00 a 14:00
	14:00 a 16:00	7	14:00 a 16:00
	16:00 a 18:00	8	16:00 a 18:00
	18:00 a 22:00	9	19:00 a 21:00
	22:00 a 30:00	10	23:00 a 25:00
		11	27:00 a 29:00
	30:00 a 42:00	12	32:00 a 34:00
		13	38:00 a 40:00
	42:00 a 60:00	14	46:00 a 48:00
		15	55:00 a 57:00

Tabela 10. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de precipitação intermediário (IN)

Tempo de coleta min	Pontos de alteração na Ip	Amostragens	Pontos ou intervalos de coleta
2:00	0:00 a 10:00	1	01:00 a 03:00
		2	07:00 a 09:00
	10:00 a 16:00	3	10:00 a 12:00
		4	13:00 a 15:00
	16:00 a 20:00	5	17:00 a 19:00
		6	20:00 a 22:00
	20:00 a 22:00	7	22:00 a 24:00
		8	24:00 a 26:00
	22:00 a 24:00	9	26:00 a 28:00
		10	29:00 a 31:00
	24:00 a 26:00	11	32:00 a 34:00
		12	34:00 a 36:00
	26:00 a 28:00	13	36:00 a 38:00
		14	38:00 a 40:00
	28:00 a 32:00	15	41:00 a 43:00
		16	44:00 a 46:00
	32:00 a 34:00	17	48:00 a 50:00
		18	51:00 a 53:00
	34:00 a 36:00	19	57:00 a 59:00
19			

Tabela 11. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de precipitação atrasado (AT)

Tempo de coleta min	Pontos de alteração na Ip	Amostragens	Pontos ou intervalos de coleta
2:00	0:00 a 18:00	1	04:00 a 06:00
		2	13:00 a 15:00
	18:00 a 30:00	3	21:00 a 23:00
		4	26:00 a 28:00
	30:00 a 38:00	5	31:00 a 33:00
		6	35:00 a 37:00
	38:00 a 42:00	7	39:00 a 41:00
		8	42:00 a 44:00
	42:00 a 44:00	9	44:00 a 46:00
		10	46:00 a 48:00
	44:00 a 46:00	11	49:00 a 51:00
		12	52:00 a 54:00
	46:00 a 48:00	13	54:00 a 56:00
		14	56:00 a 58:00
	48:00 a 52:00	15	58:00 a 60:00
15			

Tabela 12. Tempo de coleta da enxurrada, amostragens e intervalos de coletas realizadas para o padrão de precipitação constante (CT)

Tempo de coleta min	Amostragens	Pontos ou intervalos de coleta
2:00	1	02:00 a 04:00
	2	06:00 a 08:00
	3	12:00 a 14:00
	4	16:00 a 18:00
	5	22:00 a 24:00
	6	26:00 a 28:00
	7	32:00 a 34:00
	8	36:00 a 38:00
	9	42:00 a 44:00
	10	46:00 a 48:00
	11	52:00 a 54:00
	12	56:00 a 58:00

3.2.5 Avaliação das perdas de solo, água e nutrientes

No final de cada teste as amostras das enxurradas coletadas no campo foram imediatamente agrupadas e encaminhadas ao laboratório, de onde foram retiradas pequenas alíquotas proporcionais ao volume escoado em cada recipiente. Os potes contendo as amostras das enxurradas foram colocados em congelador até que a etapa de campo fosse concluída. Após o término desta fase, as amostras foram analisadas no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia, possibilitando a determinação dos conteúdos totais de P, Ca, Mg e K (mg L^{-1}) por digestão nítrico-perclórica. Para as análises, 20 mL da suspensão da enxurrada foram pipetadas para tubos de digestão e evaporados até 5 mL em blocos de digestão. A solução resultante sofreu ataque com uma mistura de HNO_3 e HClO_4 , conforme preconizado por Tedesco et al. (1997). Neste extrato, foram determinados teores de P e K total, por fotometria de chama, e Ca e Mg total, por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio total na suspensão da enxurrada foi determinado em 20 mL de enxurrada após a digestão sulfúrica (Embrapa, 1997). As perdas totais de nutrientes na água da enxurrada, expressos em g m^{-2} , foram calculadas pelo produto das concentrações dos elementos na enxurrada pelo volume de água escoada por unidade de área.

Para a obtenção das massas de solo e água perdidos na enxurrada, a suspensão de cada garrafa, correspondente a cada tempo de coleta, foi integralmente transferida para recipientes de vidro com massa conhecida. Posteriormente, foram determinadas as massas dos recipientes com a enxurrada em balança de precisão e levados para a estufa de circulação forçada a 60°C , até atingirem massa constante. Para obtenção da massa de água, foi subtraída da massa total da enxurrada de cada amostra (já descontada a tara do recipiente) a massa de sólidos (g) presente após a evaporação em estufa. A massa de solo foi obtida pela pesagem direta de cada recipiente após evaporação da água em estufa. As formulas empregadas estão descritas abaixo:

$$P_A = (P_T - P_R) - P_S \quad (1)$$

$$P_S = (P_{R+S} - P_R) \quad (2)$$

em que,

- P_A - Peso de água da amostra, em g;

- P_T - Peso total da amostra (água + solo + recipiente), em g;
- P_R - Peso do recipiente de vidro, em g;
- P_S - Peso de solo da amostra seco em estufa a 60 °C, em g;
- P_{R+S} - Peso do recipiente mais solo seco em estufa a 60 °C, em g.

Os valores obtidos foram extrapolados para o volume total da enxurrada coletada em cada parcela. Dessa forma, foram quantificadas as massas de solo e de água perdidos pelo escoamento superficial em cada evento de chuva. Os valores da massa de solo e água correspondente a dois minutos de coleta, foram utilizados no cálculo das taxas de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e das taxas de perda de água (mm h^{-1}).

As perdas acumuladas foram calculadas para cada intervalo ou patamar em que ocorreu escoamento, ao multiplicar os valores das taxas de perda de solo e água pelo tempo de duração do intervalo de influência de cada amostragem (em horas).

Para determinação da concentração de nutrientes nos sedimentos, as massas de solo das repetições de cada padrão de precipitação obtidas da secagem da enxurrada, foram misturadas e submetidas a análise química de nutrientes totais (mg kg^{-1}), empregando a mesma metodologia utilizada para a enxurrada (digestão nítrico-perclórica). Para a análise, foi utilizada 1 g de solo. As perdas totais de nutrientes nos sedimentos (g m^{-2}) foram calculadas pelo produto das concentrações dos elementos nos sedimentos pela massa total perdida por unidade de área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Física e Umidade do Solo no Momento dos Testes de Chuva

As variáveis físicas de micro e macroporosidade, porosidade total não apresentaram diferenças estatísticas entres os locais onde foram aplicados os tratamentos de chuva simulada, tanto na condição sem cobertura, como na condição de solo coberto com a palhada da cultura do milho (Tabela 13). Entretanto, no solo sem cobertura a densidade do solo na profundidade de 7,5 cm, mostrou ser maior nas parcelas do padrão avançado em relação ao intermediário e atrasado.

Tabela 13. Caracterização física das parcelas experimentais nas diferentes condições de cobertura e profundidades do solo

Padrões de Precipitação	Macroporosidade (%)				Microporosidade (%)			
	SSC		SCC		SSC		SCC	
	Profundidade (cm)							
	7,5	22,5	7,5	22,5	7,5	22,5	7,5	22,5
Avançado	19,87 A	13,83 A	16,37 A	24,22 A	18,20 A	18,64 A	21,05 A	19,13 A
Intermediário	12,96 A	12,76 A	19,12 A	20,46 A	16,48 A	15,07 A	27,21 A	20,63 A
Atrasado	23,15 A	11,84 A	29,60 A	36,68 A	20,69 A	21,75 A	22,21 A	26,56 A
Constante	20,20 A	12,85 A	27,37 A	17,11 A	17,32 A	18,83 A	19,81 A	18,50 A
Média	19,05	12,82	23,11	24,62	18,18	18,57	22,57	21,21
CV (%)	16,19	14,31	29,35	22,27	15,68	19,37	25,37	12,25
Padrões de Precipitação	Porosidade Total (%)				Densidade do Solo (kg dm ⁻³)			
	SSC		SCC		SSC		SCC	
	Profundidade (cm)							
	7,5	22,5	7,5	22,5	7,5	22,5	7,5	22,5
Avançado	38,07 A	32,47 A	37,43 A	43,35 A	1,42 A	1,47 A	1,49 A	1,58 A
Intermediário	29,44 A	27,82 A	46,33 A	41,09 A	1,24 B	1,38 A	1,44 A	1,58 A
Atrasado	43,85 A	33,60 A	51,81 A	63,24 A	1,22 B	1,46 A	1,47 A	1,60 A
Constante	37,52 A	31,68 A	47,19 A	36,22 A	1,32 AB	1,42 A	1,55 A	1,50 A
Média	37,22	31,39	45,69	45,98	1,42	1,43	1,49	1,57
CV (%)	32,69	33,35	22,36	30,61	1,92	2,08	4,43	2,93

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey ao nível de 5% de significância.

SSC - Solo sem cobertura, SCC – Solo com cobertura morta.

Na condição sem cobertura (SSC), é possível observar maior porosidade na superfície do solo. Já na condição com cobertura (SCC), além da porosidade se mostrar praticamente uniforme nas profundidades avaliadas, é verificado um aumento na magnitude dos valores de todas as variáveis analisadas, após o cultivo do milho. O fato da maior concentração de poros no solo sem cobertura se deve ao revolvimento provocado pelo preparo, como também aos ciclos sucessivos de umedecimento-secagem que ocorrem na superfície do solo no período entre o preparo e a coleta da amostras para a caracterização (Timm et al., 2006).

Schaefer et al. (2002), estudando as perdas por erosão em um Argissolo Vermelho-Amarelo, mostraram valores de macroporos na camada superficial do solo similares aos encontrados neste trabalho. Os resultados obtidos também estão em conformidade com aqueles apresentados por Hill & Cruse (1985). Verifica-se também que as características analisadas, consideradas importantes para estudos de perdas de solo e água, se encontram dentro dos valores médios colocados por outros estudos.

Tanto no solo sem cobertura (Tabela 14), como no solo com cobertura (Tabela 15) é possível notar que não houve diferenças entre os valores de umidade inicial nas diferentes

profundidades do solo das parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos de chuva. Estes resultados evidenciam a eficácia do pré-umedecimento do solo que objetivou, justamente, uniformizar as condições de umidade no perfil do solo das parcelas antes da aplicação das chuvas simuladas.

Tabela 14. Umidade inicial do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e tempo do início do escoamento superficial para os padrões de precipitação no solo sem cobertura morta

Padrões de Precipitação	Umidade inicial do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Início do escoamento superficial min
	----- Profundidade (cm) -----			
	0-10	10-20	20-30	
Avançado	0,37 A	0,21 A	0,28 A	6,7 C
Intermediário	0,27 A	0,22 A	0,24 A	25,7 B
Atrasado	0,31 A	0,28 A	0,26 A	44,1 A
Constante	0,31 A	0,24 A	0,18 A	24,3 B
Média	0,32	0,24	0,24	
CV (%)	23,89	23,23	19,57	14,95

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 15. Umidade inicial do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e tempo do início do escoamento superficial para os padrões de precipitação no solo com cobertura morta

Padrões de Precipitação	Umidade inicial do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Início do escoamento superficial min
	----- Profundidade (cm) -----			
	0-10	10-20	20-30	
Avançado	0,28 A	0,37 A	0,35 A	11,32 C
Intermediário	0,36 A	0,36 A	0,29 A	26,60 B
Atrasado	0,39 A	0,39 A	0,32 A	46,32 A
Constante	0,40 A	0,34 A	0,29 A	*
Média	0,36	0,37	0,31	
CV (%)	12,98	7,83	6,44	16,39

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey ao nível de 5% de significância.

* não foi observado escoamento superficial.

Pode-se observar nas Tabelas 14 e 15, um aumento no conteúdo de água no solo após o cultivo do milho, indicando que o solo coberto com restos cultural apresentou maior umidade antecedente a chuva simulada. Isto pode ser atribuído ao aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo, adicionado pelas raízes da cultura, e também ao aumento e melhor distribuição da porosidade em profundidade do solo. Em um Argissolo Amarelo, Rojas & VanLier (1999) observaram maior retenção de água na camada de 0-0,20 m de profundidade do solo em sistema de plantio convencional, quando comparado a outros sistemas, o que foi relacionado ao aumento da microporosidade do solo. Além disso, a permanência de restos culturais sobre a superfície do solo minimiza as taxas de evaporação, favorecendo uma maior umidade no perfil.

Com os resultados pode-se afirmar que o teor de água no solo, antecedente as chuvas simuladas, não constituiu fonte de variação nas diferentes condições de cobertura do solo. Entretanto, mesmo a umidade do solo semelhante para todos os tratamentos de chuva, os tempos de início do escoamento superficial mostraram-se diferentes entre os padrões de precipitação, independente da condição de cobertura do solo. As diferenças ocorridas no tempo de início do escoamento entre os tratamentos de chuva foram atribuídas às características dos próprios padrões de precipitação aplicados.

O tempo de início do escoamento superficial, a partir do início da chuva, seguiu a

mesma tendência dos padrões de precipitação, sendo o padrão AV aquele que apresentou o menor tempo para o início do escoamento e o padrão AT, o maior tempo, independentes das condições de cobertura do solo. Para o tratamento de chuva AV, a cobertura do solo aumentou o tempo para início do escoamento em mais de 4 segundos em relação ao solo sem cobertura. Este comportamento pode ser explicado tanto pelo fato da unidade média da camada superficial das parcelas do tratamento apresentar-se sensivelmente menor em relação ao solo sem cobertura (Tabelas 14 e 15), como também pela presença dos resíduos que protege, evitando a sua desagregação e reduzindo o escoamento superficial (Alves & Cabeda, 1999). Carvalho et al. (1990) complementam este efeito pelo fato do volume de água permanecer mais tempo retido nos resíduos, retardando a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, facilitando a infiltração da água no solo.

De acordo Eltz et al. (2001), as condições de superfície e a umidade do solo vão se alterando com o passar do tempo a partir do início da chuva. Para cada padrão de precipitação estudado, os pontos de máxima intensidade ocorrem em momentos diferentes a partir do início da chuva e, da mesma forma, a lâmina de água precipitada. Este fato confere diferenças na umidade do solo para cada padrão no momento da ocorrência do pico, ocasionando assim uma maior ou menor desagregação, selamento superficial, capacidade de infiltração, escoamento superficial e transporte de partículas do solo dependendo do padrão de precipitação. Cruz (2006), com base em estudos de erosão sob chuva natural, comenta que o solo com menor teor de umidade possui maior capacidade de infiltração, o que reduz o volume do escoamento superficial.

Estes resultados reforçam o efeito benéfico da presença da cobertura no sentido de reduzir o tempo de duração do escoamento superficial, proporcionando maior infiltração da água no solo. Os resultados então de acordo com Castro et al. (2006), que mostram que uma taxa de 60% da cobertura do solo, formada por resíduo cultural, exerceu influência marcante no tempo de início da enxurrada em solos que sofreram mobilização. Colocam ainda que a cobertura morta protege a superfície do solo da ação de impacto direto das gotas da chuva, minimizando a dispersão das partículas e, conseqüentemente, formação de selos e crostas, o que mantém melhor as capacidades de retenção e infiltração superficiais de água do solo.

É importante ressaltar que nas condições de solo sem cobertura só foi observado escoamento superficial em três repetições do padrão CT, sendo os mesmos de ocorrência baixa e com pequena taxa de descarga. Da mesma forma, foi observado em algumas parcelas do padrão AT, que o escoamento superficial ainda continuava quando foram encerradas as amostragens e a aplicação da chuva.

Obtida pela diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica dos primeiros 10 cm de solo, na Tabela 16 estão apresentadas às lâminas de saturação (em mm) da camada superficial das parcelas experimentais de cada tratamento de chuva. No solo sem cobertura (SSC) a lâmina de saturação dos primeiros 10 cm de solo foi de 1, 2, 13 e 7 mm, para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente. Para o solo coberto por resíduos (SCC), a lâmina de saturação foi de 9, 10, 13 e 7 mm para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente.

Nas condições de solo sem cobertura a lâmina média de saturação, das parcelas onde foram aplicadas chuvas dos padrões AV e IN, mostrou ser superior quando o solo apresentava-se com cobertura morta. Fato não observado para os demais padrões. Apesar desses resultados, pode ser verificado nas Tabelas 14 e 15 que o início do escoamento superficial foi retardo em todos os tratamentos de chuva nas condições de solo coberto, o que reforça ainda mais o benefício da cobertura na conservação do solo.

Tabela 16. Porosidade total (Pt), umidade volumétrica do solo (Us) e lâmina de água para saturar (Ls) os primeiros 10 cm de solo das parcelas experimentais nas diferentes condições de cobertura.

Padrões de Precipitação	Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Us ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)		Ls* (mm)	
	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
Avançado	0,38	0,37	0,37	0,28	1	9
Intermediário	0,29	0,46	0,27	0,36	2	10
Atrasado	0,44	0,52	0,31	0,39	13	13
Constante	0,38	0,47	0,31	0,40	7	7

* Considerando 10 cm de profundidade do solo.

SSC - Solo sem cobertura, SCC – Solo com cobertura morta.

Observa-se que todas as parcelas experimentais de perda de solo apresentam lâmina de saturação inferior a lâmina de chuva aplicada, justificando a ocorrência do escoamento superficial, principalmente no solo sem cobertura morta. Em ambas as condições de cobertura do solo, as parcelas onde foram aplicadas as chuvas do padrão AT, apresentaram a maior lâmina média para saturar o solo na profundidade de 10 cm. Além da característica do próprio padrão (ocorrência da maior intensidade no final da chuva), isto corrobora o fato do retardamento do início do escoamento para este padrão.

4.2 Energia Cinética das Chuvas Simuladas

Na tabela 17 estão apresentados os valores de tempo de duração de cada intensidade de precipitação e energia cinética (Ec) das chuvas simuladas de cada padrões de precipitação.

Tabela 17. Tempo de duração de cada intensidade de precipitação e energia cinética (Ec) das chuvas simuladas de acordo aos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT)

Padrões de Precipitação							
Avançado		Intermediário		Atrasado		Constante	
Tempo (min)	Ec (J m^{-2})	Tempo (min)	Ec (J m^{-2})	Tempo (min)	Ec (J m^{-2})	Tempo (min)	Ec (J m^{-2})
2	7,68	10	38,41	18	69,14	60	691,38
2	23,05	6	34,54	12	69,14		
2	46,09	4	30,73	8	61,46		
2	69,14	2	19,20	4	38,41		
4	169,00	2	23,05	2	23,05		
2	69,14	2	46,09	2	46,09		
2	46,09	2	69,14	2	69,14		
2	23,05	4	169,00	4	169,00		
4	38,41	2	69,14	2	69,14		
8	61,46	2	46,09	2	46,09		
12	69,14	2	23,05	2	23,05		
18	69,14	2	19,20	2	7,68		
		4	30,73				
		6	34,54				
		10	38,41				
Total	691,38		691,38		691,38		691,38

Mesmo com a variação da intensidade de precipitação durante o tempo de ocorrência

das chuvas simuladas, a energia cinética acumulada não variou com relação ao tratamento com intensidade constante, sendo esta igual a 691,38 J m⁻² para todos os padrões de precipitação. Isto evidencia a eficácia da calibração do simulador de chuva na aplicação das diferentes intensidades de precipitação, e também da correta distribuição dessas intensidades durante a ocorrência da chuva, caracterizando com fidelidade cada padrão de precipitação estudado.

Alves Sobrinho (1997) ao desenvolver um simulador de chuva observou que para intensidades de precipitação até 30 mm h⁻¹, a energia cinética da chuva simulada pelo aparelho, utilizando bicos *Veejet* 80.100 e pressão de serviço de 32 kPa, assume valores próximos aos da chuva natural. Já com os bicos *Veejet* 80.150, submetidos às pressões de 28,4 kPa e 35,6 kPa, a energia cinética da chuva simulada aproximou-se mais dos valores de energia da chuva natural, para precipitações de até 60 mm h⁻¹. O autor constatou também que, para os bicos *Veejet* 80.150 produzindo intensidades de precipitação de até 100 mm h⁻¹, a relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo simulador e a energia cinética da chuva natural correspondeu a valores acima de 90%. Utilizando o mesmo simulador de chuva desse estudo, com bicos *VeeJet* 80.150 submetidos a pressões de serviço variando de 13,6 a 34 kPa e intensidades de precipitação variando de 20 a 160 mm h⁻¹, Montebeller et al. (2001) observaram que a relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo simulador e a energia cinética da chuva natural, correspondeu a valores acima de 75% para todas as pressões e intensidades de precipitação estudadas.

4.3 Avaliações das Perdas de Água e Solo

4.3.1 Perda acumulada de solo e água

Na Tabela 18 estão apresentadas as perdas acumuladas de solo e água para cada padrão de precipitação, em diferentes condições de cobertura do solo. Tanto no solo sem cobertura, como no solo com cobertura, não foram observadas diferenças estatísticas entre as perdas provocadas pelos diferentes padrões de precipitação. No entanto, as perdas totais de solo para o solo sem cobertura variaram de 4,8, 6,7, 10,8 e 12,5 g m⁻², para os padrões CT, AV, IN e AT, respectivamente. Já no solo com cobertura, as perdas de solo foram de 1,7, 2,0 e 2,1 g m⁻² para os padrões AV, AT IN, respectivamente, não sendo observado escoamento superficial, e, conseqüentemente, perdas para o padrão CT.

Tabela 18. Perda acumulada de solo e água para os quatro padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo

Padrões de Precipitação	Perda Acumulada de Solo		Perda Acumulada de Água	
	SSC ----- (g m ⁻²) -----	SCC	SSC ----- (L m ⁻²) -----	SCC
Avançado	6,7 Aa	1,7 Aa	2,8 Aa	0,9 Aa
Intermediário	10,8 Aa	2,1 Ab	3,9 Aa	2,5 Aa
Atrasado	12,5 Aa	2,0 Ab	4,8 Aa	2,7 Aa
Constante	4,8 A	*	3,9 A	*
CV (%)	69,23	58,50	95,50	67,00

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si por Tukey a 5%.

SSC - Solo sem cobertura morta, SCC – Solo com cobertura morta.

* não foi observado escoamento superficial.

Apesar da não haver diferença estatística, nota-se que no solo sem cobertura o padrão de precipitação AT provocou perdas de solo superiores aos padrões CT, AV e IN em 61,6%, 46,4% e 13,6%, respectivamente. Já para o solo com cobertura morta, o padrão IN foi o que

provocou a maior perda de solo, porém somente superou os padrões AV e AT em 19% e 4,7%, respectivamente.

Comportamento semelhante foi observado para as perdas de água. No solo sem cobertura, o padrão AT apresentou uma lâmina de escoamento de $4,8 \text{ L m}^{-2}$, após 1 h de precipitação, mostrando ser superior aos padrões AV, IN e CT em cerca de 42%, 19% e 19%, respectivamente. Os padrões de precipitação AV, IN e AT proporcionaram maiores valores de perda de solo e água do que o padrão CT que, por sua vez, não proporcionou escoamento e conseqüentemente perdas quando o solo apresentou-se com cobertura. A cobertura do solo eliminou totalmente as perdas para o padrão CT, confirmando a hipótese de que o padrão de chuva CT, extensamente empregado em estudos de erosão hídrica no Brasil, não retrata de forma coerente os processos erosivos influenciados pelo padrão natural das chuvas. Resultados semelhantes são apresentados por Mehl (2000).

Comparando as condições de cobertura do solo, nota-se que a presença da cobertura afetou significativamente as perdas. Pode-se constatar que as perdas acumuladas de solo para os padrões IN e AT, no solo sem cobertura, foram superiores estatisticamente aos valores de perda encontrados no solo com cobertura morta. Os resultados evidenciam o benefício da cobertura morta sobre o solo no controle da erosão do solo.

A presença de resíduos culturais contribui para uma diminuição média das perdas acumuladas de solo em cerca de 75%; 81% e 84% para os padrões AV, IN e AT, respectivamente. Com relação à redução das perdas acumuladas de água, os valores médios observados foram de 68%; 36% e 44%, respectivamente para os mesmos padrões. Para o padrão constante, esta redução chegou a 100%. Esses resultados mostram que a cobertura do solo reduz de forma mais eficiente às perdas de solo quando comparada à redução nas perdas de água, corroborando com Silva et al. (1986), Hernani et al. (1997), Carvalho et al. (2003) e Silva et al. (2005d).

As perdas acumuladas de solo refletiram de forma mais acentuada as diferenças existentes entre os padrões de precipitação do que para as perdas acumuladas de água. Estes resultados estão de acordo com Beutler et al. (2003), que concluíram que as perdas de solo são mais afetadas pelo sistema de preparo e cultivo do que as perdas de água.

Segundo Reichert et al. (2001), o solo preparado convencionalmente e desprovido de cobertura é mais susceptível ao selamento superficial, o que diminui a infiltração da água no solo e aumenta a lâmina de escoamento. Isto pode explicar o fato encontrado neste trabalho em relação às maiores perdas observadas no solo sem cobertura morta. Da mesma forma, Alves et al. (1995) concluíram que as perdas de solo e água aumentaram significativamente ao longo do tempo, proporcionalmente à redução da cobertura morta do solo.

Carvalho et al. (2002), estudando as perdas de solo e água em um Argissolo roçado, verificaram que após 35 minutos, uma chuva com intensidade de precipitação constante de 30 mm h^{-1} e energia cinética igual a 138 J m^{-2} , provocou perdas de solo e água na ordem de $2,86 \text{ g m}^{-2}$ e $0,00221 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($2,21 \text{ L m}^{-2}$), respectivamente, estando essas em concordância com as obtidas neste trabalho.

Aplicando uma chuva de 55 mm h^{-1} em um Argissolo sob diferentes condições de cobertura e preparo, após 35 minutos de chuva, Carvalho et al. (2003) verificaram perdas de solo e água em torno de $7,7 \text{ g m}^{-2}$, $41,0 \text{ g m}^{-2}$ e $0,00504 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($5,04 \text{ L m}^{-2}$), $0,00949 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($9,49 \text{ L m}^{-2}$), respectivamente, para o solo arado e gradeado e com ou sem cobertura morta.

Silva et al. (2005b) estudando atributos físicos, químicos e erosão hídrica em um Latossolo, submetido a uma chuva constante de 60 mm h^{-1} , verificaram perdas de solo na ordem de $7,5 \text{ g m}^{-2}$ e $1,96 \text{ g m}^{-2}$, e de água na ordem de $5,45 \text{ L m}^{-2}$ e $6,62 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente, para os sistemas de sucessão milho-pousio em preparo convencional do solo e sucessão milho-pousio em plantio direto.

Vale salientar que em algumas parcelas não foi escoamento superficial, fato ocorrido,

provavelmente, em virtude da variabilidade espacial na área, tendo em vista que esse comportamento foi observado tanto em parcelas experimentais em solo sem cobertura (padrão CT), como para o solo com cobertura morta (padrões CT e AV). No solo com cobertura, a não ocorrência de escoamento pode ser atribuída tanto às diferenças pontuais das características do terreno como também ao próprio efeito da cobertura sobre o solo. Os resultados podem ainda estarem associados a outros fatores pontuais relacionados ao solo, tais como, a taxa de infiltração de água, condutividade hidráulica, pequenas depressões ou rugosidade do terreno, poros artificiais provocados por raízes ou fauna do solo, pequenos pontos compactados, bem como outras características inerentes ao solo da parcela experimental submetida ao teste.

Os coeficientes de variação, observados na Tabela 18, revelam uma grande variabilidade dos dados de perda tanto de solo como de água. Este fato pode ser explicado pela ocorrência de variabilidades pontuais do terreno nas parcelas experimentais, já que esta possuiu somente 0,8 m². Grego & Vieira (2005) ressaltam que, mesmo em parcelas experimentais pequenas, o tamanho não determina seu grau de homogeneidade das características, sugerindo que se analise a variabilidade espacial das propriedades do solo em conjunto, antes de adotar um delineamento experimental. Silveira et al. (2000), também observou que o solo sem cobertura apresentou grandes variações nas perdas de solo, atribuindo o resultado ao fato da área ter permanecido em pousio, sem nenhum preparo por 6 meses.

Nas Figuras 15 e 16 estão apresentadas, respectivamente, as perdas acumuladas de solo e água, no solo sem cobertura, em função dos padrões de precipitação. Nessas Figuras, é possível observar mais claramente que após 60 minutos de chuva, o padrão AT provocou as maiores perdas acumuladas de solo e água, fato ocorrido em virtude do momento da aplicação do pico de intensidade de precipitação, favorecendo um maior escoamento superficial e, conseqüentemente a um maior carreamento de sedimentos. Além disso, como é possível constatar na Tabela 8, que a camada superficial do solo em estudo possui cerca de 0,260 kg kg⁻¹ de argila, sendo 73 % dela na forma dispersa, o que constitui, de acordo com Levy et al. (1993), um importante fator na ocorrência de encrostamento superficial, afetando a taxa de infiltração e o escoamento superficial de água. Por isso, a existência de selamento superficial pode também ter contribuído para que esse resultado fosse observado.

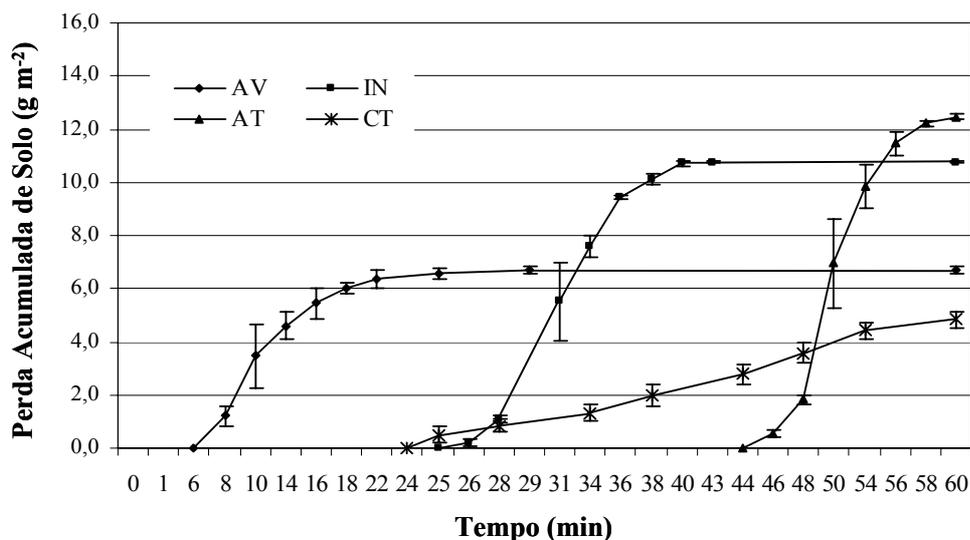


Figura 15. Perda acumulada de solo (g m⁻²) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo sem cobertura morta.

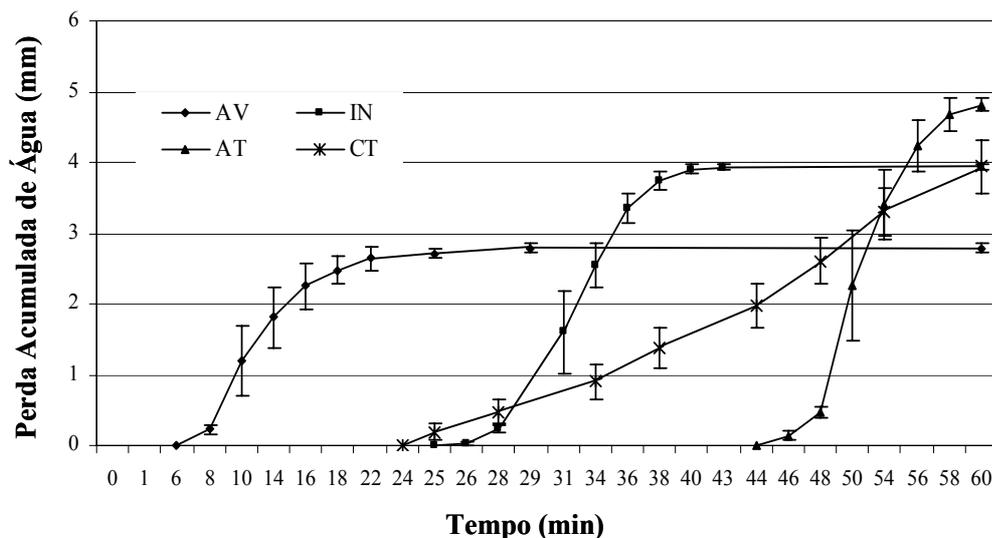


Figura 16. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo sem cobertura morta.

A ocorrência dos picos de maior intensidade leva à quebra dos agregados de maior instabilidade do solo, assim, podendo ocasionar uma diminuição da porosidade do solo, dificultando de maneira acentuada a movimentação de água no perfil. Sidiras et al. (1984) evidenciaram que a desagregação das partículas do solo aumentou com a intensidade e a duração do evento chuvoso. Nas condições do estudo, os autores constataram que o incremento de precipitação de 30 mm h^{-1} para 60 mm h^{-1} , promoveu um aumento de 1,8, 1,4 e 1,7 vezes na quantidade de solo desagregado nas parcelas descobertas, e de 1,7, 2,3 e 4,6 vezes nas parcelas com resíduos vegetais, para o preparo convencional, escarificação e plantio direto, respectivamente.

Segundo Reichert et al. (1992), o salpico de partículas com o impacto das gotas de chuva ocasiona a liberação de partículas que obstruem os poros do solo. Além disso, Morin & van Winkel (1996) citam que a dispersão das argilas do solo é a causa da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da velocidade de infiltração. Cruz (2006), trabalhando no mesmo solo da área experimental com chuva natural, verificou que em condição de solo exposto (sem cobertura), a forma de erosão mais observada foi a em entressulcos, uma vez que o impacto das gotas de chuva diretamente sobre a superfície do solo promoveu o desprendimento das partículas do solo pelo salpico, que contribuiu para o processo de formação de uma superfície de selamento.

A tendência observada de maiores perdas para o padrão AT, provavelmente ocorreu porque o pico de máxima intensidade é atingido, quando o solo já apresenta umidade elevada, o que possibilita uma maior desagregação das partículas e maior carreamento de solo, principalmente neste intervalo crítico da precipitação.

Cruz (2006), trabalhando com parcelas experimentais de erosão, evidenciou que as maiores perdas de solo e água foram provocadas por chuva natural caracterizada com o padrão AT, mesmo não expressando alta energia cinética. Da mesma forma, Mehl (2000) concluiu que o padrão de precipitação AT foi o responsável pelas maiores perdas acumuladas e taxas máximas de perdas de água e solo, quando comparado aos padrões AV, IN e CT. No estudo, o autor evidenciou perdas de solo de 0,378; 0,464; 0,665 e 0,192 kg m^{-2} e de água na ordem 15,5; 13,9; 16,9 e 7,5 mm para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente. As perdas encontradas por Mehl (2000) são expressivamente superiores às encontradas neste estudo. No entanto, vale ressaltar que as condições de pesquisa foram distintas, a começar pela lâmina de precipitação empregada (35 mm), pico de intensidade de precipitação (120

mm h⁻¹) e também a declividade da rampa na área estudada (0,12 m m⁻¹).

Os dados mostram que o padrão CT apresentou as menores perdas de solo e água, indicando que chuvas com intensidade constante de 30 mm h⁻¹, no solo estudado, propiciaram menor influência nas perdas de solo e água, com ausência de picos de maior intensidade. Portanto, é possível inferir que, para as condições deste estudo, taxas de aplicação de água inferiores a 30 mm h⁻¹ somente provocará escoamento expressivo em longos tempos, sendo útil, inclusive, para um melhor planejamento e manejo de sistemas de irrigação.

Nas Figuras 17 e 18 são apresentados os gráficos das perdas acumuladas de solo e água, respectivamente, para o solo com cobertura morta. As curvas que caracterizam as perdas de solo e água seguem as mesmas características do padrão de referência, mantendo também semelhanças entre si, alterando apenas a magnitude e o tempo de início e estabilização das perdas. O padrão IN, seguido pelo AT, promoveu as maiores perdas acumuladas de solo (Figura 17). De forma contrária, para as perdas acumuladas de água (Figura 18), o padrão AT apresentou os maiores valores em relação aos demais.

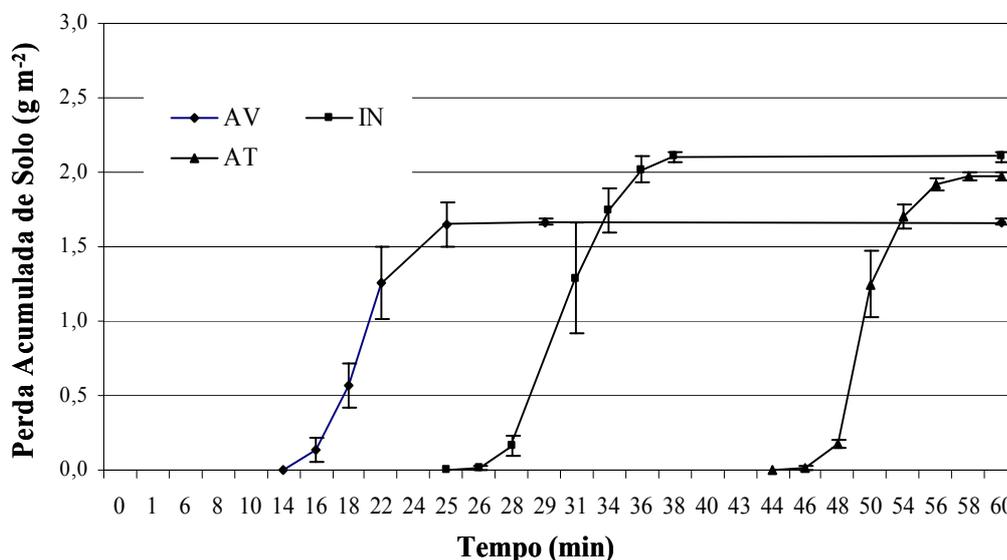


Figura 17. Perda acumulada de solo (g m⁻²) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo com cobertura morta.

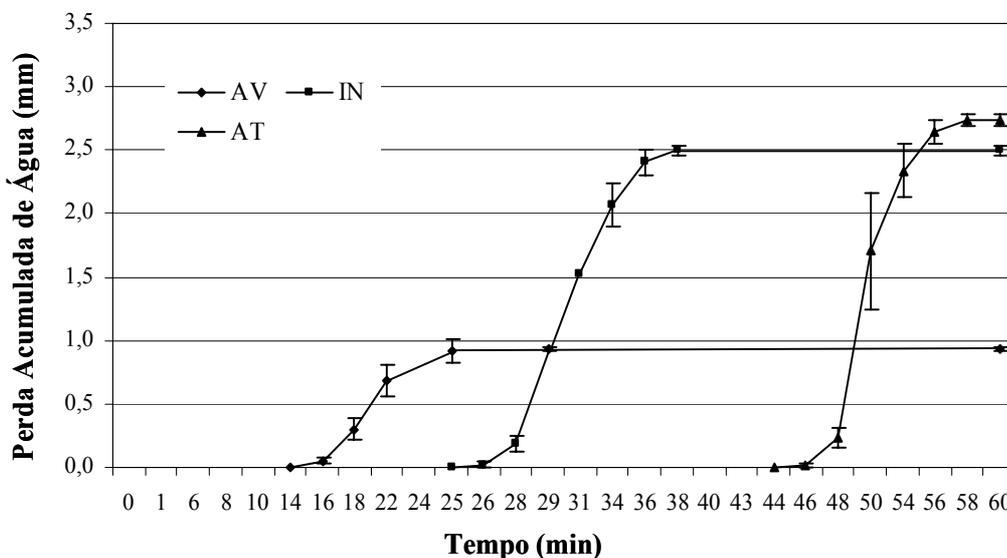


Figura 18. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) em solo com cobertura morta.

Volk et al. (2004) confirmam que as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, resultantes do seu manejo, que governam as perdas de solo por erosão hídrica são bem distintas daquelas que governam as perdas de água pelo mesmo fenômeno. Bertol et al. (1987) colocam que as perdas de água foram mais influenciadas pelos métodos de preparo do solo do que pela cobertura morta. Os resultados confirmam também o colocado por Beutler et al. (2003) e Cruz (2006), que concluíram que as perdas de solo são mais afetadas pelo sistema de preparo e cultivo do que as perdas de água.

Comparando as diferentes condições de cobertura, nos dados apresentados nas Figuras 15, 16, 17 e 18, é possível notar com mais evidência as diferenças ocorridas. O uso da cobertura com palhada de milho proporcionou uma redução expressiva nas perdas de solo, o que não aconteceu com as perdas de água, entre os diferentes padrões, cessando totalmente o escoamento para o padrão CT. Tal comportamento pode ser explicado em virtude das maiores velocidades de escoamento superficial, que ocorreram no solo sem cobertura, aliado ao preparo no sentido do declive. Estas características favoreceram o aumento no volume de solo desagregado pela formação de pontos preferências do escoamento da água no terreno, que por sua vez, proporcionou aumento na sua capacidade de transporte.

Alves et al. (1995), utilizando um simulador de chuva, concluíram que a perda de água não sofreu influência significativa do manejo dos resíduos culturais no solo. Cruz (2006) evidenciou que baixos níveis de cobertura do solo aliado ao preparo no sentido do declive, favoreceram o aumento do volume de partículas desagregadas, que são lançadas para áreas adjacentes tendendo sempre a se deslocar do local de origem para áreas mais baixas do terreno, formando uma camada sobre o solo e reduzindo sua capacidade de infiltração. Neste momento, forma-se uma lâmina sobre o solo e o impacto das gotas de chuva sobre esta lâmina favorece o transporte de partículas juntamente com a água, pelo aumento da turbulência do regime.

A cobertura do solo controla a turbulência da enxurrada, retardando o início do escoamento no momento inicial da chuva em relação ao solo sem cobertura. No padrão AV, o pico de precipitação ocorre logo no primeiro terço do tempo de duração da chuva, no momento que o solo provavelmente não tinha atingido sua taxa de infiltração estável. Com isto, os resíduos de milho sobre o terreno aumentaram o tempo de permanência da água sobre o terreno, contribuindo com a infiltração da água no solo. Efeito contrário foi verificado para os padrões IN e AT, nos quais o pico de maior intensidade de precipitação ocorreu quando o solo já se apresentava com a umidade elevada em relação ao primeiro caso, com a frente de molhamento em um estado mais profundo no solo, e com uma velocidade de redistribuição de água no perfil provavelmente mais lenta. A seqüência desses fenômenos contribuiu para o acúmulo de água e a conseqüente formação da enxurrada logo que iniciou o pico de maior intensidade de aplicação.

Os resultados apresentados corroboram com os encontrados por Cassol & Lima (2003), que estudando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho distrófico típico sob chuva simulada, observaram que os resíduos deixados sobre a superfície do terreno, foram capazes de reduzir significativamente a perda total de solo em entressulcos, em decorrência do efeito da cobertura da palha na redução da desagregação do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Braida & Cassol (1999).

4.3.2 Taxas de perdas de solo e água

A Tabela 19 mostra os valores das taxas máximas de perda de solo e de água para os padrões de precipitação. Os dados evidenciam que independente das condições de cobertura do solo, os padrões de precipitação AV, IN e AT, não influenciam, de forma significativa, as taxas máximas de perda de solo e de água. Contudo, os resultados mostram valores muito superiores de perda para estes padrões em relação ao padrão CT. Da mesma forma, nota-se

que as taxas de perdas de solo foram afetadas pelas condições de cobertura do solo. No solo sem cobertura, as taxas máximas de perdas de solo foram de 33,7; 66,2; 86,2 e 9,9 g m⁻² h⁻¹, para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente. Para o solo com cobertura, os valores da taxas alcançadas foram de 13,2; 16,8 e 16,1 g m⁻² h⁻¹, para os padrões AV, IN e AT, respectivamente, sendo superiores ao padrão constante que não apresentou escoamento.

Tabela 19. Taxa máxima de perda de solo e de água para quatro padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo

Padrões de Precipitação	Taxa Máxima de Perda de Solo		Taxa Máxima de Perda de Água	
	SSC	SCC	SSC	SCC
	----- (g m ⁻² h ⁻¹) -----		----- (L m ⁻² h ⁻¹) -----	
Avançado	33,7 Aa	13,2 Aa	18,4 Aa	7,4 Aa
Intermediário	66,2 Aa	16,8 Ab	28,6 Aa	20,2 Aa
Atrasado	86,2 Aa	16,1 Ab	34,4 Aa	22,1 Aa
Constante	9,9 A	*	8,3 A	*
CV (%)	88,71	59,04	98,04	67,08

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si por Tukey a 5%.

SSC - Solo sem cobertura morta, SCC – Solo com cobertura morta.

* não foi observado escoamento superficial.

A presença dos restos culturais sobre o solo, em relação à condição de solo nu, reduziu as taxas de perda de solo para os padrões AV, IN e AT em cerca de 61%; 75% e 81%, respectivamente. Para o padrão CT, a presença de cobertura eliminou completamente o escoamento superficial e as perdas. As taxas de perdas de água mostraram-se reduzidas pela cobertura do solo em 60%; 29% e 36 % para os padrões AV, IN e AT, respectivamente.

Com estes resultados pode-se inferir que os diferentes padrões de precipitação não influenciaram significativamente os picos de perda de solo, em relação ao padrão CT, quando aplicados em solo exposto. Entretanto, em condições de cobertura do solo por resíduos culturais de milho, os padrões influenciaram significativamente tanto os picos de perda de solo como os de água, em relação ao padrão CT, que é normalmente utilizado por diversos pesquisadores da área de conservação do solo.

Lopes et al. (1987b) concluíram que o aumento da taxa de cobertura do solo, independente do tipo de resíduo, diminuiu acentuadamente a velocidade do escoamento superficial e reduziu o arraste de sedimentos de maior tamanho. Da mesma forma, Cassol et al. (2004) concluíram que o aumento na cobertura do solo com resíduos vegetais elevou a altura da lâmina de escoamento e a rugosidade hidráulica e reduziu a velocidade média do escoamento, provocada pelo aumento das forças viscosas, promovida pela interposição física dos resíduos ao escoamento, resultando na redução na taxa de desagregação do solo. Esta hipótese ainda pode ser confirmada observando a Figura 18, que expressa a relação entre a água perdida pela enxurrada e lâmina da chuva aplicada (coeficiente de escoamento), para os tratamentos de chuva nas diferentes condições de cobertura. É evidente a diferença observada entre os coeficientes de escoamento entre as duas condições de cobertura do solo.

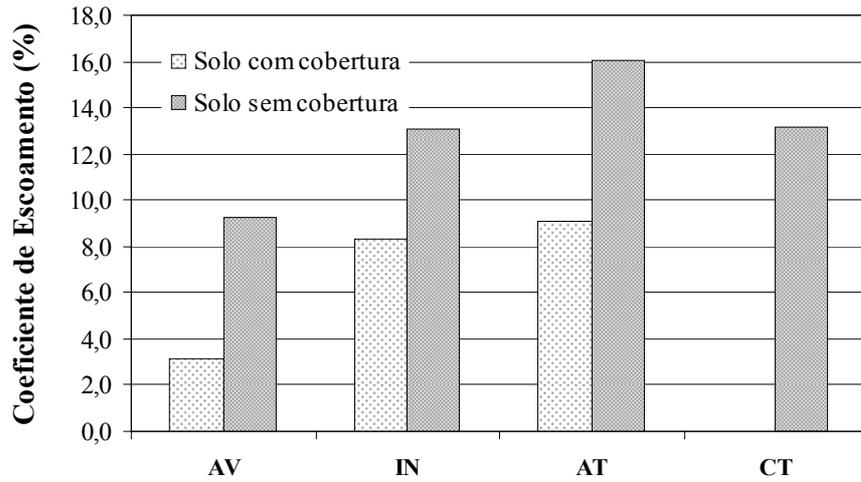


Figura 19. Coeficientes de escoamento superficial para os padrões de precipitação em diferentes condições de cobertura do solo.

As Figuras 20 e 21 apresentam os gráficos das taxas de perdas de solo e de água provocadas pelos padrões de precipitação em solo sem cobertura morta.

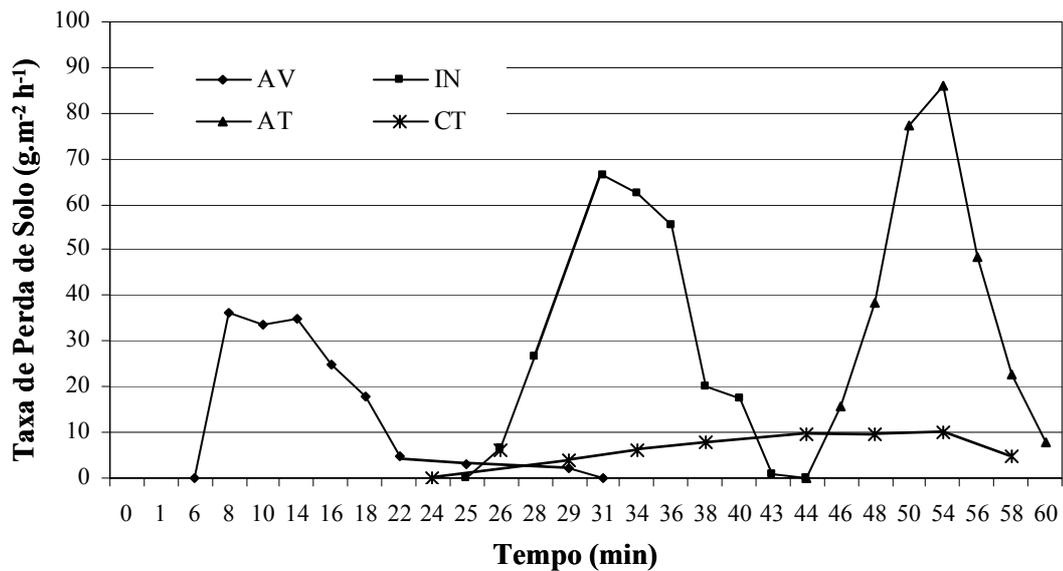


Figura 20. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) no solo sem cobertura morta

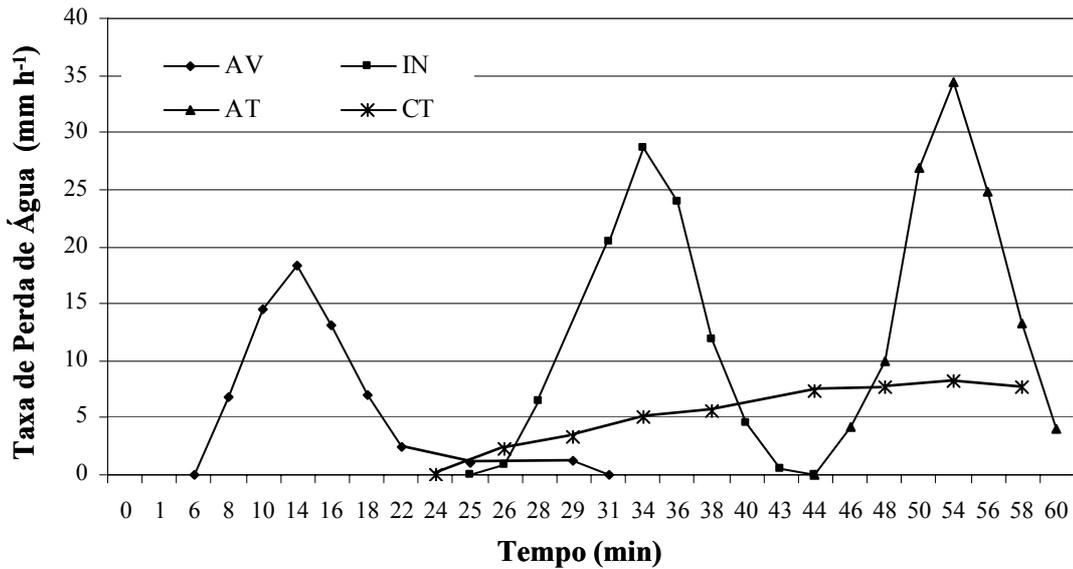


Figura 21. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) no solo sem cobertura morta

O padrão CT apresentou taxas de perdas de solo e água crescentes até determinado tempo após o início da chuva, atingindo o ponto máximo, com tendência ao decréscimo. Resultados similares são apresentados por Cassol & Lima (2003). Os autores aplicaram uma chuva simulada com intensidade constante de 60 mm h^{-1} durante 70 minutos, em solo descoberto ou com a palha incorporada, e evidenciaram que as taxas de perda de solo são crescentes até um determinado ponto depois do início da precipitação, apresentando a partir de então comportamento decrescente.

As Figuras 22 e 23 apresentam os gráficos das taxas de perdas de solo e de água provocadas pelos padrões de precipitação em solo com cobertura morta.

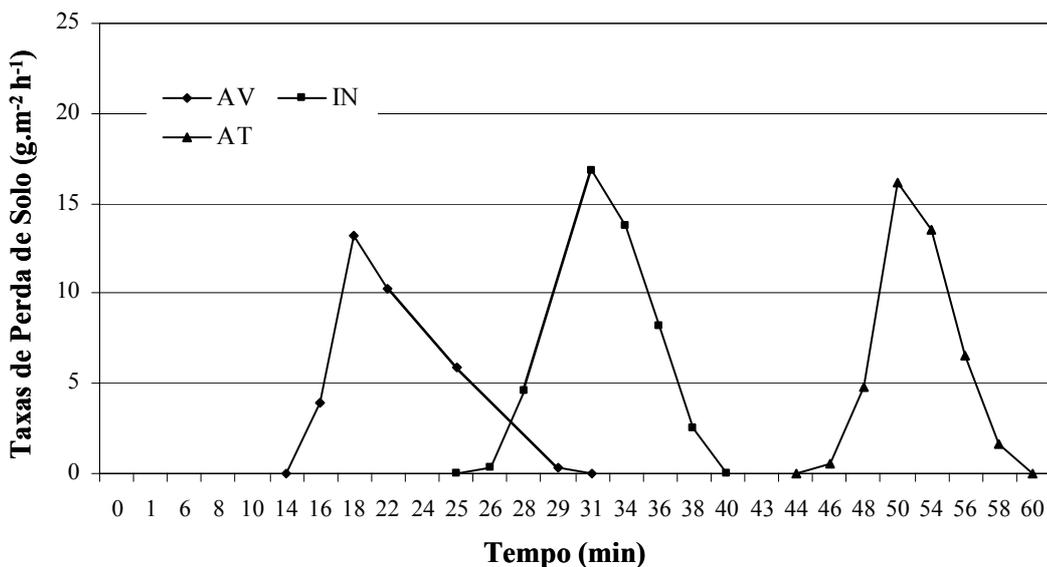


Figura 22. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) no solo com cobertura morta.

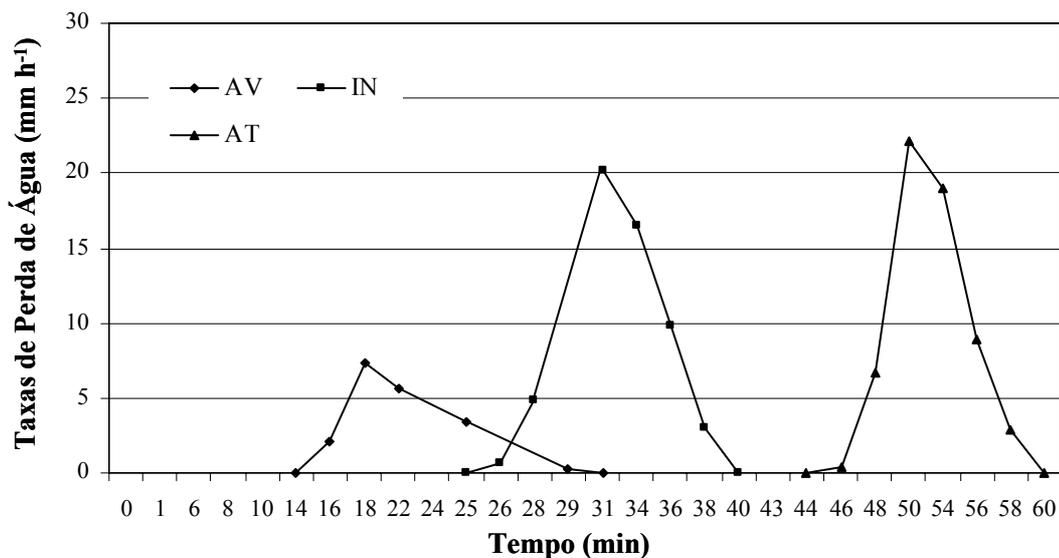


Figura 23. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) no solo com cobertura morta.

Em ambas as condições de cobertura do solo, quando se têm altas intensidades de precipitação ou quando se aproxima o ponto de máxima intensidade, são observados altos valores de escoamento. Este comportamento pode ser explicado pela própria dinâmica do teste. Quando a aplicação da chuva atinge intensidades superiores à taxa de infiltração do solo naquele momento, há um acúmulo de água na superfície e conseqüentemente o escoamento superficial nesses pontos. Por outro lado, quando a taxa de aplicação de água é baixa o escoamento também é baixo, podendo até nem ocorrer quando a intensidade de precipitação for inferior a taxa de infiltração estável (TIE) de água no solo.

Coelho et al. (2000) comentam que em condições de intensidade de precipitação abaixo da TIE, o microrrelevo superficial comporta-se de maneira estável, apresentando uma superfície espelhada crescente (acúmulo de água) sobre o solo. Sob condição de intensidade de precipitação acima da TIE, os autores observaram que a superfície espelhada se estabilizou mais rapidamente, apresentando, posteriormente, a formação de canais preferenciais de escoamento de água sobre o solo (erosão laminar). Segundo Chow et al. (1988), a taxa de infiltração é um processo dinâmico, não dependente apenas da porosidade, permeabilidade de horizontes subsuperficial e umidade antecedente, mas também de processos dinâmicos que ocorrem durante o fenômeno como selamento superficial gerado pela gota da chuva e redução do potencial mátrico do perfil causado pelo avanço da frente de molhamento.

A proteção do solo pela palhada de milho foi capaz de evitar mais efetivamente a remoção de partículas do solo em baixas intensidades de precipitação. Assim, além de proteger contra os impactos diretos das gotas da chuva, a cobertura fez com que a enxurrada atuasse no sentido de remover somente as partículas nos primeiros centímetros da camada superficial do solo. Estes resultados estão de acordo como Lopes et al. (1987b).

4.4 Perdas de Nutrientes na Água e nos Sedimentos da Enxurrada

Nas Tabelas 20 e 21 são apresentadas às perdas de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada medidos sob os padrões de precipitação AV, IN, AT e CT para o solo sem cobertura e com cobertura morta, respectivamente. Tanto em solo sem cobertura com em solo com cobertura, as perdas totais de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada não foram diferentes significativamente entre os tratamentos, indicando que nas condições deste

estudo, o tipo de padrão de precipitação não influenciou nas perdas totais de nutrientes do solo.

Tabela 20. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo sem cobertura morta

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes na água da enxurrada				
	Ca	Mg	K	N	P
	----- (10 ⁴ g m ⁻²) -----				
Avançado	262,5 A	107,9 A	140,5 A	118,9 A	*
Intermediário	490,9 A	155,3 A	271,2 A	138,7 A	
Atrasado	450,5 A	154,6 A	257,7 A	190,9 A	
Constante	416,1 A	130,8 A	394,8 A	172,0 A	
CV (%)	79,74	91,62	91,65	105,22	

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes nos sedimentos da enxurrada				
	Ca	Mg	K	N**	P
	----- (10 ⁴ g m ⁻²) -----				
Avançado	3,2 A	2,2 A	2,2 A		0,4 A
Intermediário	2,9 A	1,8 A	2,7 A		0,4 A
Atrasado	6,2 A	1,5 A	2,3 A		0,4 A
Constante	2,8 A	1,0 A	1,0 A		0,1 A
CV (%)	152,44	149,22	130,48		131,40

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey a 5% de significância.

*Elemento não detectado pela metodologia empregada.

** Elemento não determinado devido a falta de material para análise.

Tabela 21. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo com cobertura morta

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes na água da enxurrada				
	Ca	Mg	K	N	P*
	----- (10 ⁴ g m ⁻²) -----				
Avançado	28,6 A	29,7 A	53,42 A	26,9 A	
Intermediário	177,1 A	94,8 A	192,3 A	23,6 A	
Atrasado	177,1 A	93,5 A	119,0 A	88,5 A	
Constante	-	-	-	-	-
CV (%)	105,41	76,44	80,29	123,24	

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes nos sedimentos da enxurrada				
	Ca	Mg	K	N**	P
	----- (10 ⁴ g m ⁻²) -----				
Avançado	0,1 A	0,1 A	0,1 A		0,02 A
Intermediário	0,1 A	0,1 A	0,1 A		0,02 A
Atrasado	0,2 A	0,1 A	0,1 A		0,02 A
Constante	-	-	-	-	-
CV (%)	72,58	69,78	59,79		62,02

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey a 5% de significância.

*Elemento não detectado pela metodologia empregada.

** Elemento não determinado devido a falta de material para análise.

Nota-se que as maiores perdas de nutrientes ocorreram em suspensão nas enxurradas, conforme resultados obtidos por Bertol et al. (2005) e Távora et al. (1985). Este comportamento é explicado pelo fato da perda de água ter ocorrido em magnitudes bem superiores às perdas de solo, o que condicionou maiores perdas de nutrientes na água da enxurrada. Bertol et al. (2005) concluíram que as concentrações de Ca e Mg foram maiores nos sedimentos do que na água da enxurrada superficial, enquanto as perdas totais desses elementos foram maiores na água do que nos sedimentos.

Na água da enxurrada não foram registradas perdas de fósforo, provavelmente por ter ocorrido em concentrações inferiores à sensibilidade do aparelho, o que condicionou concentração insuficiente para que a mesma fosse detectada pela metodologia empregada. Este fato se justifica devido aos baixos valores desse elemento no solo (Tabela 8). Segundo Schick et al. (2000), pelo fato deste elemento estar adsorvido aos colóides do solo, o maior transporte se dá nas frações de argila e silte implicando em maiores perdas nos sedimentos da enxurrada. Nuñez et al. (2003), comentam que a forma inorgânica do fósforo nos solos pode chegar a 90 % e que o elemento pode ser perdido por erosão tanto na forma solúvel como na oclusa. Como o elemento é fortemente adsorvido pelas argilas (Sposito, 1989), uma maior proporção é transportada na forma adsorvida juntamente com as partículas do solo, fato que pode explicar a não ocorrência do elemento em suspensão na água da enxurrada, influenciando na sua ausência na fração líquida da enxurrada. É importante salientar que, em função da pequena quantidade de solo, as análises de nitrogênio nos sedimentos não foram realizadas.

Para o potássio, as maiores perdas também foram registradas na água da enxurrada, conforme resultados encontrados por Hernani et al. (1999). Os autores colocam que, normalmente as perdas de potássio em solução (na água da enxurrada) são maiores que as encontradas no sedimento, em função da maior solubilidade deste elemento.

As perdas de nutrientes nos sedimentos da enxurrada foram relativamente baixas quando comparadas às perdas na água da enxurrada. As baixas quantidades de nutrientes perdidos nos sedimentos foram influenciadas, principalmente, pelas baixas perdas de solo provocadas pelos tratamentos de chuva, concordando com os resultados apresentados por Bertol et al. (2004a). Da mesma forma, as perdas de Ca e Mg foram diretamente influenciadas pelas perdas de água.

Comparando os resultados mostrados nas Tabelas 16 e 17, nota-se que a cobertura do solo com resíduos da cultura do milho reduziu significativamente as perdas ocorridas no solo, corroborando com os resultados apresentados por Bertol & Miquelluti (1993). Os autores colocam que o solo descoberto perdeu cerca de três vezes mais P e oito vezes mais Ca e mais Mg do que o solo cultivado com milho.

Os menores valores de perda total de nutrientes, tanto na água quanto nos sedimentos da enxurrada, são explicados pelas próprias quantidades de água e sedimentos perdidos nesta condição de cobertura do solo. Assim, as baixas quantidades de sedimento perdidas por erosão hídrica, especialmente nos tratamentos com cultivo do solo, influenciaram mais expressivamente as perdas totais de nutrientes, principalmente nos sedimentos da enxurrada, do que as concentrações dos elementos nessas frações da erosão. Resultados semelhantes foram também encontrados por Guadagnin et al. (2005) para as perdas de nitrogênio num Cambissolo Húmico.

Conforme Hernani et al. (1999), em áreas agrícolas maiores perdas de cálcio e magnésio foram verificadas em sistemas de preparo convencional sem cobertura vegetal e as menores em plantio direto, com o solo coberto de resíduos. Bertol & Miquelluti (1993a) concluíram que as perdas totais de fósforo e cálcio mais magnésio foram superiores no solo descoberto, quando comparadas ao solo cultivado.

Daniel et al. (1994) colocam que as concentrações de nutrientes na água de enxurrada

varia com a concentração destes no solo. Em diferentes cultivos, as variações nos conteúdos de nutrientes encontrados nas enxurradas são normais, pois dependem de fatores que influenciam a mineralização do elemento no solo, especialmente aqueles relacionados com o clima, como os que influenciam a atividade biológica e volume de chuvas precipitadas (Bertol et al., 2004b).

Silva et al. (2005a) comentam também que as concentrações de nutrientes presentes na erosão hídrica são relacionadas com as concentrações destes na camada superficial do solo. Schaefer et al. (2002) verificaram uma diminuição substancial nas perdas de nutrientes com o aumento da cobertura do solo, corroborando com os resultados deste estudo. Assim, os resultados apresentados evidenciam que os retos culturais de milho deixados sobre o solo após a colheita, minimizam os impactos da erosão e o conseqüente empobrecimento do solo, principalmente daqueles cultivados em declive. Resultados semelhantes são colocados por Carvalho et al. (2003).

A Tabela 22 apresenta os valores das perdas absolutas de Ca, Mg e K para os padrões de chuva nas diferentes condições de cobertura do solo.

Tabela 22. Perda absoluta de Ca, Mg e K para quatro padrões de precipitação em razão das condições de cobertura do solo

Padrões de Precipitação	Ca		Mg		K	
	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
	----- (10 ⁴ g m ⁻²) -----					
Avançado	265,7	28,7	110,1	29,8	142,7	53,5
Intermediário	493,8	177,2	157,1	94,9	273,9	192,4
Atrasado	456,7	177,3	156,1	93,6	260,0	119,1
Constante	418,9	0	131,8	0	395,8	0
Média geral	408,8	95,8	138,8	54,6	268,1	91,3

SSC - Solo sem cobertura morta, SCC – Solo com cobertura morta.

Nota-se que a cobertura do solo foi capaz de reduzir as perdas de Ca em cerca de 89 %, 64 % e 61 %, respectivamente, para os padrões AV, IN e AT. Para o padrão CT, esta redução alcançou o 100 %, devido a eliminação total do escoamento pelos restos culturais. As perdas de Mg tiveram uma redução de cerca de 73 %, 40 %, 40 % e 100 %, respectivamente, para os padrões AV, IN, AT e CT. Para o K, as reduções foram similares às ocorridas para o magnésio. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Schaefer et al. (2002). Segundo os autores, as perdas absolutas de nutrientes são reduzidas substancialmente com o aumento da porcentagem de cobertura do solo, seguindo a ordem Ca>Mg>K>P. No presente estudo, a ordem crescente preferencial de perdas foi: Ca>K>Mg, corroborando com Hernane et al., (1987).

5 CONCLUSÕES

As taxas de perdas de solo e água para o padrão CT se mostraram inferiores em relação aos padrões AV, IN e AT, indicando que o uso deste padrão pode não caracterizar o processo erosivo frente às chuvas naturais.

As perdas totais de solo, água e nutrientes para os diferentes padrões de precipitação não apresentaram diferenças significativas, tanto em solo nu, como em solo com cobertura.

Nas condições experimentais, a via preferencial de perdas de nutrientes foi em suspensão na água da enxurrada.

A cobertura do solo com resíduos de milho, reduziu substancialmente as taxas e perdas de solo, água e nutrientes, indicando que a palhada deixada sobre o solo após a colheita, auxilia de maneira efetiva no controle da erosão, principalmente em terras cultivadas em declive.

6 RECOMENDAÇÕES

A cada experimento utilizando o simulador de chuva empregado neste estudo, recomenda-se que sejam devidamente verificados os componentes do aparelho, bem como lubrificados adequadamente. Também, objetivando melhorar a aferição e diminuir eventuais erros, a cada experimento deve-se fazer a calibração do simulador de chuva em função do experimento desejado, tanto em laboratório quanto em campo.

Durante a realização de qualquer teste, deve-se ter atenção especial ao manômetro regulador da pressão de serviço do sistema, pois qualquer variação não observada influirá na intensidade de precipitação e conseqüentemente na lâmina total precipitada.

Quando se tratar de experimentos que quantificará nutrientes perdidos, principalmente na água da enxurrada, recomenda-se que a água utilizada nos ensaios seja de boa qualidade de um mesmo reservatório, e seja coletadas amostras para análise a cada captação.

Deve-se ter muita atenção no momento do cravamento do aparato ou chapas de aço que delimitam as parcelas experimentais de perda de solo e água, pois podem perturbar de forma significativa as condições físicas do solo dentro das mesmas. Neste sentido, o ideal seria que as delimitações já permanecessem cavadas no solo no local em que os experimentos vão ser conduzidos, principalmente quando estes forem para avaliar o efeito de cobertura do solo, seja por plantas vivas em desenvolvimento ou retos culturais.

Por fim, devem-se conduzir estudos com os objetivos de desenvolver adaptações adequadas no simulador de chuva para resolver o problema da aplicação intermitente, bem como desenvolver programas computacionais a fim de automatizá-lo em função do que se deseja experimentar a campo, diminuindo assim a preocupação do operador com a digitação de comandos no relógio controlador do aparelho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M.; BRADFORD, J. M. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil & Tillage Research*, Amsterdan, v. 49, p. 277-287, 1999.
- ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p. 127-132, 1995.
- ALVES, M.C.; CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podizólico Vermelho-escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p. 753-761, 1999.
- ALVES SOBRINHO, T. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. Viçosa-MG, Universidade federal de Viçosa, 1997. 85p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)
- ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO, R.M. DE; MONTEBELLER, C.A. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetros de aspersão. *Revista Engenharia Rural*, v.12, único, p. 15-19, 2001.
- AMORIM, R. S. S. *Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas Brasileiras*. Viçosa-MG, Universidade federal de Viçosa, 2003. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M.L.P. Relação entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p. 133-138, 1984.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, p. 187-192, 1987.
- BERTOL, I.; MIQUELLUTI, D.V. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.10, p.1205-1213-1213, 1993.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª aproximação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.4, p.515-521, 1993.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Distrófico sob diferentes preparo do solo e rotação e cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p. 267-271, 1994a.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.9, p.1453-1458, 1994b.
- BERTOL, I. SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e suas distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.455-464, 2002.
- BERTOL, I.; MELO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. *Scientia Agricola*, v.60, n.3, p.581-586, jul./Sept., 2003.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004a.

- BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.1045-1054, 2004b.
- BERTOL, I; GUADAGNIN, J.C.; GONZÁLEZ, A. P.; AMARAL, A.J. DO; BRIGNONI, L.F. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. *Scientia Agricola*, Piracicaba-Braz, v.62, n.6, p.578-584, Nov./Dez. 2005.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4, ed. São Paulo, Ícone, 355 p. 1999.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba: Editora Livrocere, 392p. 1985.
- BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.
- BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG. v. 23, p. 711-721. 1999.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 4.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 595p. 1976.
- CAMPOS FILHO, O.R.; SILVA, I.F. da; ANDRADE, A.P.de; LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.9, p.1363-1370, 1992.
- CARDOSO, C.O.; ULLMANN, M.N.; BERTOL, I. Análise das chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p. 131-140, 1998.
- CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n. 2, p. 227-234, 1990.
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erosividade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p. 279-286, 1997.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S. DA.; CEDDIA M.B.; LANA, A.M.Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho amarelo, submetidos a diferentes intensidade de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S. DA.; LANA, A.M.Q.; SILVA, W.A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-amarelo. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.11, n.1-4, p.15-22, 2003.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

- CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. *Pesquisa em erosão do solo no Brasil*. p.399-420. In: ARAÚJO, Q.R. (organizador). 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus - BA: editora UESC, 605p. 2002.
- CASSOL, A.E.; LIMA, V.S. de. Erosão em entressucos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.38, n.1, p.117-124, 2003.
- CASSOL, A.E.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial de desagregação do solo em entressucos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.39, n.7, p.685-690, 2004.
- CASTRO, L.G.; COGO, N.P.; VOLK, L. B. da S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 339-352, 2006.
- CHAVES, H.M.L.; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.2, p.141-147, 1993.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, Y.W. *Applied hydrology*. New York, McGraw-Hill, 572p. 1988.
- CICHOTA, R.; VAN LIER, Q.J.; LEGUIZAMÓN ROJAS, C.A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em argissolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.789-798, 2003.
- COELHO, R.D.; MIRANDA, J.H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: Parte II acúmulo de água sobre a superfície do terreno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.2, p.142-145, 2000.
- COGO, N. P., BERTOL, I. *O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos científicos e princípios*. In: NUERNBERG, N.J. (Ed) Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 160p. 1998.
- 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*, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.
- COSTA, E.L. *Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para estudos de infiltração de água no solo*. Lavras-MG, Universidade Federal de Lavras, 1996, 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)
- CRUZ, E.S. da. *Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo*. Seropédica-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006, 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do solo)
- DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; EDWARDS, D.R.; WEDEPOHL, R. & LEMUNYON, J.L. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. *J. Soil Water Conserv.*, v.40, p. 30-38, 1994.
- DECHEN, S.C.F.; PROCHNOW, D. Erosão e produtividade. *O Agrônomo*, Campinas, v.55, n.1, p.22-24, 2003. (Informações Técnicas)
- DIAS, A. S.; SILVA, J.R.C. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p. 335-345, 2003.

ELTZ, F.L.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Buno-Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p. 117-125, 1984.

ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U.; REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.485-493, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise do solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisas de solos, 212p.1997.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005.

FLANAGAN, D.C., FOSTER, G.R., MODENHAUER, W.C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, Michigan, v. 31, n. 2, p. 414-420, 1988.

FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A.; NOVAIS, L.F. *Equações de chuva intensas no estados de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Companhia de saneamento de Minas Gerais, V.1, 65p. 2001.

GALINDO, I.C.de L. *Relação entre erodibilidade e características de solos representativos do nordeste brasileiro*. Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1990. 93p. Tese (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo)

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASOL, 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.

HERNANI, L.C.; SAKAL, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I, F. Influência de métodos de limpeza de terrenos sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP: perdas por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.4, p.215-219, 1987.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados - MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.4, p.667-76, 1997.

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

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; MARIA, I.C. DE; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. *A erosão e seu impacto*. p.47-60. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 174p. 2002.

- HILL, R.L.; CRUSE, R.M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, p.1270-1273, 1985.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de água e solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.1033-1044, 2004.
- LEVY, G.J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science*, Baltimore, v.155, p.15-22, 1993.
- LIMA G.L.; AQUINO, R.F.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. Perdas por erosão hídrica em Cambissolo e Latossolo sob três padrões de chuvas erosivas para Lavras (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXX. Recife-PE, 2005. *Resumos expandidos...* Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD ROM.
- LOYOLA, J. M. T.; PREVEDELLO, C. L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.783-787, 2003.
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n. 1, p.71-75, 1987a.
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanhos dos sedimentos transportados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n. 2, p.192-197, 1987b.
- MACEDO, J.R. de; OTONNI FILHO, T.B.; MENEGUELLI, N. do A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo podzólico vermelho-amarelo de Seropédica, RJ. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.12, p. 2043-2053, 1998.
- MARIA, I.C. de; LOMBARDI NETO, F. Razão de perda de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, p. 263-270, 1997.
- MARQUES, J.J.G.S.M. *Estimativas de comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade dos solos com horizonte B textural no Brasil*. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 1996. 119p. Tese (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P.; SILVA, M.L.N. Índices de erosividade das chuvas, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos Cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p. 753-761, 1997.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; Erosividade das chuvas de Sete Lagoas, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.5, p.285-288, 1998.
- MEHL, H.U. *Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entre sulcos*. Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2000, 53p. Tese (Mestrado em Agronomia)
- MEIRELLES, M.S.P.; BUENO, M.C.D.; DIAS, T.C.S.; COUTINHO, H.L.C. Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII. Goiânia-GO, abril 2005. *Anais* Goiânia, INPE, p. 2259-2266, 2005.
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V; CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitosolo Háplico submetido a chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.901-909, 2003.

- MEYER, L. D; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, Michigan, v.22 n.1 p.100-103 1979.
- MONTEBELLER, C.A.; CARVALHO, D.F.; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES, A.C.S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuva pendular. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.1, p.1-5, 2001.
- MORIN, J. & VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. *Soil Science Society of America Journal*, v.60, p.1223-1227, 1996.
- NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Consequência de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. *Bragantia*, Campinas, v.62, n.1, p.101-109, 2003.
- OLIVEIRA, V.P.S. DE. *Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação*. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003, 156p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. DE; URCHEI M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. *Acta Scientiarum*. Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, 2006.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.3, p.423-429, 2003.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p. 207-213, 2004.
- PREVEDELLO, C.L. LOYOLA, J.M.T.; COSTABILE, M.S., HORODENSKI, J. Solução numérica para o processo da infiltração da água no solo. *Scientia Agraria*, v.3, n.1-2, p.29-39, 2002.
- REICHERT, J.M; VEIGA, M; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.3, p.289-298, 1992.
- REICHERT, J. M.; SCHÄFER, M. J.; ELTZ, F. L. F.; NORTON, L, D. Erosão em sulcos e entressulcos em função do formato de parcela em Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília-DF, v. 36, n.7, p. 965-973, 2001.
- ROSSONI, H.A.V.; SILVA, F.G.; PRUSKI, F.F.; OLIVEIRA, J.R.S. Influência do perfil de precipitação nas perdas de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXX. Recife-PE, 2005. *Resumos expandidos...* Recife, Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2005. CD ROM.
- ROJAS, C.A.L.; VAN LIER, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um Podzólico em função de sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.5, n.1, p.105-115, 1999.
- SANTOS, R.D.; ANJOS, L.H.C. *Formas e classes de erosão*. Seropédica - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto de Agronomia - Departamento de solos, 2005. 13p. Erodibilidade dos solos - Palestra apresentada no CPGA-CS em 24/04/2005

- SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em sistemas de culturas em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, p. 287-291, 1997.
- SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.28, n. 2, p. 251-254, 1984.
- SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O.R.; OLIVEIRA, F.A.P. Efeitos de diferentes cobertura vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p. 289-292, 1986.
- SILVA, M.L.N. Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de Latossolos sob cerrado. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 1994. 119p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)
- SILVA, F.G. da; ROSSONI, H.A.V. *Influencia de diferentes perfis de precipitação nas perdas de água e solo*. Viçosa - MG, Universidade Federal Viçosa, 2004. 51p. Monografia (Projeto final de curso para obtenção do título de Engenheiro Ambiental)
- SILVA, A.M. da; SILVA, M.L. N; CURI, N; LIMA, J.M. de; AVANZI, J.C; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005a.
- SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão hídrica entressulcos sob chuva simulada, em sistema de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.144-153, 2005b.
- SILVA, F.G. da; ROSSONI, H.A.V.; PRUSKI, F.F.; OLIVEIRA, J.R.S. Perdas de solo sob diferentes perfis de precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXX. Recife-PE, 2005. *Resumos expandidos...* Recife, Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2005c. CD ROM
- SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho Amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, maio/ago., 2005d.
- SILVA, M. A. S. da; MAFRA, Á.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência Rural*, v.35, n.3, mai-jun, 2005e.
- SILVEIRA, R. C. da; SALVADOR, N.; Uso de um simulador de chuvas no estudo de perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais de milho. *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v.24, n.3, p.718-729, 2000.
- SOUZA, M.D. *Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 20p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 37).
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 234p.

SCHICK, J.; BERTOLI, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em cambissolo húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 24, p. 427-436, 2000.

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, v.27, p.141-152, 2003.

TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.C.R.; HERNANDEZ, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, E.G.S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latosso Vermelho-Amarelo Distrófico de Ubajara (CE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p. 63-66, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1997. 174p.

TIMM, L.C.; PIRES, L.F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R.C.J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M. de; BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.63, n.1, p.55-64, Jan./Feb. 2006.

VARELLA, C.A. *Efeito do sistema de cultivo nas perdas de água e solo*. Seropédica - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999, 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes de seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *American Geophysies V. Transactionas*, Washington. v.39, p.285-291, 1958.