



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE DOURADOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E EROSÃO HÍDRICA, SOB
CHUVA SIMULADA, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
AGRICULTURA-PECUÁRIA**

ELÓI PANACHUKI

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL

2003



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE DOURADOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA**

**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E EROSÃO HÍDRICA, SOB
CHUVA SIMULADA, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
AGRICULTURA-PECUÁRIA**

ELÓI PANACHUKI

Engenheiro Agrônomo

Orientador:

Prof. Dr. TEODORICO ALVES SOBRINHO

Co-orientadores:

Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS TADEU VITORINO

Dr. MÁRIO ARTEMIO URCHEI

Prof. Dr. DANIEL FONSECA DE CARVALHO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Produção Vegetal.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL

2003

**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E EROSÃO HÍDRICA, SOB
CHUVA SIMULADA, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
AGRICULTURA-PECUÁRIA**

ELÓI PANACHUKI

Engenheiro Agrônomo

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como
requisito à obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovado em: ____ / _____ de ____

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho
UFMS-DCA
(Orientador)

Dr. Mário Artemio Urchei
EMBRAPA-CPAO
(Co-orientador)

Prof. Dr. Daniel Fonseca De Carvalho
UFRRJ
(Co-orientador)

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
UFLA-DCS
(Membro da banca)

A minha esposa Patricia e a minha filha Leticia,
pela ajuda, pelo carinho e compreensão
durante a execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus

Ao professor Dr. Teodorico Alves Sobrinho, pela amizade e pela valiosa orientação na elaboração deste trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino, pela amizade e co-orientação e a ajuda durante a execução do trabalho.

Ao Dr. Mário Artemio Urchei, por gentilmente disponibilizar a estrutura e equipamentos da EMBRAPA, necessários para execução da parte prática do trabalho.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pelos ensinamentos e experiências transmitidos.

Aos alunos de iniciação científica Fabio Estevão Marcheti e Cristiane Veronese, pela valiosa colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos Funcionários da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em especial a Nilton Mizael Rodrigues.

Aos Funcionários da EMBRAPA, em especial ao amigo Ilson França Soares.

Aos meus pais, em especial à minha mãe Camilia pelo exemplo de vida.

Ao meu irmão Elio pelo apoio e incentivo aos estudos.

A todos que, de alguma forma colaboraram na execução do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Infiltração de água no solo.....	03
2.1.1 Infiltrômetros de aspersão	05
2.1.2 Modelos para a estimativa da infiltração de água no solo.....	08
2.1.3 Métodos para determinação da infiltração de água no solo.....	09
2.1.4 Manejo do solo e infiltração de água no solo	09
2.2. Perdas de solo e de água	13
2.3 Manejo do solo e as perdas de solo e de água	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Aspectos Gerais	20
3.2 Taxa de infiltração de água no solo	25
3.3 Determinação das perdas de solo e de água	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Atributos físicos.....	29
4.2 Infiltração de água no solo.....	32
4.3 Equações para a estimativa da taxa de infiltração	34
4.4 Perdas de solo e de água	40
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE QUADROS

PÁGINA

QUADRO 1.	Histórico das espécies vegetais cultivadas nos três sistemas de avaliação experimental, no período compreendido entre 1995 e 2003	22
QUADRO 2.	Valores médios da densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$), macroporosidade (%), microporosidade do solo (%) e volume total de poros (%) nas profundidades de 0 a 5cm e de 5 a 20cm, correspondentes aos três sistemas experimentais	29
QUADRO 3.	Valores médios do diâmetro médio geométrico (DMG) e do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, coletados em duas profundidades, dos diferentes sistemas, submetidos às diferentes intensidades de precipitação	30
QUADRO 4.	Valores médios da massa seca ($g\ m^{-2}$) coletada na superfície das parcelas experimentais.....	31
QUADRO 5.	Valores médios de umidade inicial do solo, intensidade de precipitação aplicada, energia cinética da chuva simulada, tempo de início de escoamento superficial e valores médios das taxas de infiltração inicial e estável (final) para os tratamentos aplicados.....	32
QUADRO 6.	Parâmetros e índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração estável pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis..	35
QUADRO 7.	Equações de Horton e Kostiakov-Lewis ajustadas.....	41
QUADRO 8.	Valores médios de umidade inicial do solo (% à base massa), tempo de início do escoamento superficial (T_i), intensidade de precipitação aplicada (I_p real) e energia cinética (E_c) dos testes realizados para determinação das perdas de massa de solo e volume de água escoado.	40
QUADRO 9.	Valores Médios de perdas de solo ($g\ m^{-2}$) e de água ($10^{-3}\ m^3\ m^{-2}$) acumulados em áreas cultivadas no sistema de integração agricultura-pecuária com pastagem e com plantio direto, sob diferentes intensidades de precipitação simulada	42

LISTA DE FIGURAS

		PÁGINA
FIGURA 1.	Vista geral do InfiAsper/UFMS.	07
FIGURA 2.	Sistema regulador da intensidade de precipitação (obturador rotativo, manômetro, bicos e registro), (Alves Sobrinho,1997).	21
FIGURA 3.	Coletor de escoamento com o protetor de respingos e o recipiente coletor (Alves Sobrinho, 1997).	21
FIGURA 4.	(a) Parcela do Sistema A, sob cultivo de pastagem; (b) parcela do Sistema B, com a cultura de aveia cultivada sob plantio direto e (c) parcela do Sistema C, sob cultivo de pastagem contínua.....	23
FIGURA 5.	(a) Parcela do Sistema A, com cultivo de pastagem e (b) parcela do Sistema B, com resteva de soja, cultivada sob plantio direto.....	24
FIGURA 6.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem em integração (Sistema A) sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.	37
FIGURA 7.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem em integração (Sistema A) sob uma intensidade de precipitação de 100mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.	37
FIGURA 8.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de plantio direto com aveia (Sistema B) sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.....	38
FIGURA 9.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de plantio direto com aveia (Sistema B) sob uma intensidade de precipitação de 100 mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.....	38
FIGURA 10.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem contínua (Sistema C) sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.	39
FIGURA 11.	Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem contínua (Sistema C) sob uma intensidade de precipitação de 100 mm h ⁻¹ em função do tempo de coleta.....	39

- FIGURA 12.** Perdas acumuladas de solo (g m^{-2}) na área de pastagem (Sistema A) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação durante 35 minutos.....45
- FIGURA 13.** Perdas acumuladas de solo (g m^{-2}) na área de plantio direto com resteva de soja (Sistema B) em integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos45
- FIGURA 14.** Perdas acumuladas de água ($10^{-3}\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$) na área de pastagem (Sistema A) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.....46
- FIGURA 15.** Perdas acumuladas de água ($10^{-3}\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$) na área de plantio direto com resteva de soja (Sistema B) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.....46
- FIGURA 16.** Perdas acumuladas de solo durante o intervalo de tempo de 35 minutos de coleta, nos dois sistemas de cultivo, para cada intensidade de precipitação aplicada.....47
- FIGURA 17.** Perdas acumuladas de água durante o intervalo de tempo de 35 minutos de precipitação, nos dois sistemas de cultivo, para cada intensidade de precipitação aplicada.47

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um processo de degradação do solo que pode ser causado tanto por fatores naturais quanto por interferência antrópica, que na maioria das vezes resulta num processo de erosão acelerada. Esse desgaste do solo deve ser melhor compreendido quando se objetiva a manutenção ou o aumento da produtividade agrícola e a conservação ambiental, favorecendo a sustentabilidade de agroecossistemas.

O sucesso de uma exploração agropecuária equilibrada depende, em grande parte, da investigação e controle dos aspectos referentes aos agentes causadores da erosão, tais como as chuvas e os atributos do solo dos quais decorre a sua tendência, de vir pela ação do homem, favorecer ou dificultar o processo erosivo, já que as atividades humanas constituem os principais agentes catalisadores desses processos.

Sabe-se que na agropecuária intensiva, com o uso e o manejo muitas vezes inadequados do solo, ocorre a substituição da cobertura de vegetação natural de grandes áreas, e disso decorre o processo de degradação do solo e dos recursos hídricos. Essa deterioração tem como conseqüência uma série de mudanças físicas, químicas, biológicas e hidrológicas, provocando a diminuição da capacidade produtiva do solo.

Alguns atributos físicos do solo podem ser alterados pelas práticas de manejo e, dessa maneira a taxa de infiltração de água no solo modifica-se, permitindo, em alguns casos, o aumento do escoamento superficial e a aceleração das perdas de solo e de água, alterando o equilíbrio hidrológico natural do sistema. Os valores da taxa de infiltração estável são imprescindíveis aos modelos utilizados na descrição de infiltração de água no solo, e também ao planejamento e ao manejo dos sistemas de irrigação, drenagem e conservação de solo e de água.

Dessa maneira, pode-se dizer que o conhecimento referente ao comportamento do solo quanto à infiltração de água e as perdas de solo e de água em cada sistema de exploração agrícola é de grande importância, pois permite que sejam estabelecidas comparações em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos entre os sistemas em uso, possibilitando a escolha daquele que melhor se adapta às condições específicas de cada região.

Na região centro-sul do estado de Mato Grosso do Sul, o sistema de integração agricultura-pecuária, entendido como sistema conservacionista do solo, vem sendo bastante difundido. Entretanto, ainda são raros os trabalhos relacionados à infiltração de

água e as perdas de solo e de água nessa modalidade de uso da terra. Assim, considerando a importância de se obterem maiores conhecimentos sobre as características de infiltração de água no solo e perdas de solo e de água, este trabalho teve como objetivos: Avaliar a adequação dos modelos matemáticos de Horton e de Kostiakov-Lewis para a estimativa da taxa de infiltração de água no solo em sistema de integração agricultura-pecuária e em pastagem contínua e estimar as perdas de solo e de água no sistema de integração agricultura-pecuária, através do uso de simulador de chuva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Infiltração de água no solo

O processo de infiltração é de importância prática, pois, muitas vezes, determina o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, responsável pelo fenômeno da erosão durante precipitações pluviais. Assim, o conhecimento desse processo e das suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas (Reichardt *et al.*, 1996).

Segundo Pott & De Maria (2003), vários fatores condicionam o movimento de água no solo, os quais têm sido relatados por diversos autores a saber: a porosidade (Perroux & White, 1988; Everts & Kanwar, 1992), a densidade do solo (Sales *et al.*, 1999), a cobertura do solo (Roth *et al.*, 1985; Sidiras & Roth, 1987), a textura e o grau de agregação do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), o selamento superficial (Reichert *et al.*, 1992; Chaves *et al.*, 1993), a umidade inicial (Araújo Filho & Ribeiro, 1996), a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (Klar, 1984).

A magnitude da infiltração é severamente reduzida pela formação ou presença do selamento superficial, fenômeno motivado pela pequena porosidade desta camada e à dominância de poros de pequeno diâmetro. Segundo Reichert *et al.* (1992), a textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com impacto das gotas de chuva, o que contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo.

Além do impacto da gota, Morin & Van Winkel (1996) citam a dispersão físico-química das argilas do solo como causas da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da taxa de infiltração. Dessa forma, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo pode reduzir a capacidade de infiltração de água no solo e propiciar a formação de escoamento superficial. Assim, principalmente em países tropicais, a chuva passa a ter fundamental importância em estudos hidrológicos, pela sua capacidade de produzir erosão.

A infiltração é definida como a entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera. O termo taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o

tempo, atingindo um valor final constante (Libardi, 1995 e Bernardo, 1995). Esse valor constante, denominado de taxa de infiltração estável, é um importante atributo para a elaboração de projetos de irrigação, de drenagem, conservação do solo e manejo da irrigação. No entanto, conforme relata Urchei & Fietz (1999b), seu valor geralmente apresenta grande variabilidade, o que pode implicar em problemas, sobretudo quando é adotado um valor não representativo da área de interesse. As principais causas dessa variabilidade estão relacionadas às propriedades do solo e da água, além do método utilizado para sua determinação.

A taxa de infiltração é definida como a taxa de variação da infiltração acumulada ao longo do tempo, sendo representada pela equação 1.

$$i = \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

em que:

i = taxa de infiltração da água no solo, LT^{-1} ;
 I = infiltração acumulada, L; e
 t = tempo, T.

Assim, a partir de dados de lâmina de água infiltrada em intervalos de tempos conhecidos, determinados no campo para as condições desejadas pode-se construir modelos de I em função de t .

A redução da taxa de infiltração com o tempo pode ser compreendida a partir da aplicação da equação de Darcy às condições de escoamento em meio não saturado (equação 2). No início do processo, o valor da profundidade da frente de umedecimento é pequeno. Desta forma, ter-se-á um valor do gradiente hidráulico muito elevado e, portanto, uma taxa de infiltração alta. Com o tempo, o valor de Z vai aumentando até que, para elevados tempos após o início do processo de infiltração, o valor do gradiente $[(\psi + Z)/Z]$ vai tendendo a 1 e, conseqüentemente, a taxa de infiltração tende a um valor aproximadamente igual à condutividade hidráulica do solo saturado.

$$q = -K(\theta) \frac{\partial}{\partial z} (\psi + Z) \quad (2)$$

em que:

q = densidade de fluxo, LT^{-1} ;

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo para um teor de umidade θ , LT^{-1} ,

ψ = potencial matricial da água no solo, L; e

Z = potencial gravitacional da água no solo, L.

2.1.1 Infiltrômetros de aspersão

Infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva são ferramentas de pesquisa projetadas para aplicar precipitações de água de forma similar às chuvas naturais. Contudo, as características da chuva devem ser simuladas adequadamente, os dados de escoamento superficial e erosão analisados cuidadosamente e os resultados, interpretados de maneira sensata, para que sejam obtidas, informações de confiança para as condições em que as chuvas simuladas são aplicadas (Silveira & Salvador, 2000).

A estimativa da taxa de infiltração estável, através do uso de chuva natural, é onerosa e demorada. Em decorrência disso, a pesquisa na área de engenharia e conservação do solo e de água, enfatiza o uso de equipamentos denominados infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva, que permitem controlar as características relativas à intensidade, duração e frequência da precipitação para se medir a infiltração no campo e ajustar modelos matemáticos que descrevem a infiltração de água em diferentes condições de solo e, ou sistemas de cultivo. Bubenzer & Meyer (1965) estão entre os pioneiros no desenvolvimento de simuladores de chuva para estudos de erosão em laboratórios e consideram que o uso destes equipamentos torna-se necessário na obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão em períodos curtos.

Segundo Moore *et al.*, (1983), o simulador de chuvas deve permitir o ajuste das características da precipitação, ou seja, intensidade e duração. Para isto, deve permitir o ajuste de uma ampla faixa de intensidades de precipitação de modo a reproduzir as características da chuva da região geográfica em questão.

Para que um infiltrômetro tipo simulador de chuvas seja considerado satisfatório, é necessário que ele preencha às seguintes condições:

- a) apresentar relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural acima de 75% (Meyer e McCune, 1958);
- b) aplicar água de modo contínuo na parcela experimental ou, no mínimo, executar duas aplicações por segundo, compondo assim uma aplicação não intermitente (Morin *et al.*, 1967); e
- c) permitir o uso de parcela experimental com área superior a 0,50 m², caracterizada como parcela alvo de precipitação, pois experimentos cuja área útil é inferior a 0,50 m² estão sujeitos a resultados tendenciosos (Smith, 1976).

Alves Sobrinho (1997) desenvolveu um infiltrômetro de aspersão (Figura 1), de construção simples e fácil operação no campo, cujas características de precipitação relativas a diâmetro de gotas, velocidade e energia cinética de impacto no solo das gotas produzidas são semelhantes às daquelas da chuva natural. O infiltrômetro desenvolvido, denominado InfiAsper/UFMS, possibilita a determinação da infiltração em uma parcela experimental de 0,70 m² e foi caracterizado quanto a diâmetro volumétrico médio de gotas produzidas, uniformidade de distribuição de água na parcela experimental, intensidade de precipitação, velocidade e energia cinética de impacto no solo da chuva produzida. Os resultados obtidos na avaliação do InfiAsper/UFMS permitiram as seguintes conclusões:

- a) os bicos modelos Veejet 80.100 e Veejet 80.150 mostraram-se mais adequados à obtenção de diâmetros de gotas e energia cinética similares à da chuva natural. Quando posicionados a 2,30 m de altura e operando à pressão de 32,7 kPa (Veejet 80.100) e 35,6 kPa (Veejet 80.150), estes bicos formaram gotas com diâmetros volumétricos médios de 1,8 mm e 2,0 mm, respectivamente;
- b) a uniformidade de distribuição de água das precipitações produzidas pelo infiltrômetro na parcela experimental, expressa pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen, apresentou valores variando entre 82 e 87%;
- c) o equipamento permitiu ajustes na intensidade de precipitação entre 19 e 308 mm h⁻¹ e aplicação praticamente contínua de água;

d) a energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro, tanto provido com os bicos Veejet 80.100 à pressão de 32,7 kPa quanto com os bicos Veejet 80.150 à pressão de 35,6 kPa, foi semelhante à energia cinética da chuva natural, para precipitações até 30 e 60 mm h⁻¹, respectivamente. A partir desses valores, a energia cinética da chuva simulada foi menor do que aquela da chuva natural atingindo uma diferença de 13% para precipitação de 160 mm h⁻¹ obtida com o bico Veejet 80.150; e

e) a relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro e a energia cinética da chuva natural correspondeu a valores acima de 90% para intensidades de precipitação entre 40 e 100 mm h⁻¹, para os bicos modelos Veejet 80.100 e 80.150, respectivamente.

O infiltrômetro de aspersão denominado InfiAsper/UFMS, desenvolvido por Alves Sobrinho (1997), pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1. Vista geral do InfiAsper/UFMS.

2.1.2 Modelos para a estimativa da infiltração de água no solo

Existem diversos modelos que podem ser usados para descrever o processo de infiltração de água no solo. Fisicamente um dos mais bem fundamentados, segundo a literatura especializada, é o modelo de Richard's; porém neste o fluxo de água no perfil do solo é regido principalmente pelo gradiente de potencial matricial (ψ), com relação à profundidade do solo (Z). Sabe-se que ψ é uma função da umidade (θ) e que essa função, pelo fenômeno da histerese, não é unívoca, dificultando, portanto, o seu uso em estudos hidrológicos (Silva & Kato, 1998).

Um modelo embasado fisicamente, supondo que o solo assemelha-se a um feixe de microtubos, é o de Green-Ampt, o qual fornece a taxa de infiltração instantânea em função de parâmetros físicos do solo e do total infiltrado (equação 3):

$$i = K_0 \left[1 + \psi \frac{(\theta_s - \theta)}{I} \right] \quad (3)$$

em que:

i = taxa de infiltração;

K_0 = é a condutividade hidráulica do solo saturado, $L.T^{-1}$;

I = infiltração acumulada;

ψ = potencial matricial;

θ_s = umidade do solo correspondente à saturação, em base decimal; e

θ_i = umidade do solo no início do processo de infiltração, em base decimal.

Mein & Larson (1973) citados por Silva & Kato (1998), integraram a equação proposta por Green-Ampt, nos limites de integração próprios, conforme a duração da chuva. A partir daí, o modelo de Green-Ampt passou a ser conhecido na literatura como modelo de Green-Ampt modificado por Mein & Larson (GAML), o qual fornece o total infiltrado de acordo com a intensidade das chuvas e sua duração. A obtenção dos parâmetros constituintes desse modelo envolve muitas determinações de campo e rotinas computacionais dificultando sua aplicação e utilização rotineira.

O modelo de Kostiakov, descrito por Prevedello (1996), é um modelo para cálculo da infiltração acumulada onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais. Outro modelo empírico, todavia mais consistente do que o de Kostiakov, é o modelo de Horton. De acordo com esse modelo, conforme descreve Prevedello (1996), a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que operam na superfície do solo, tais como selamento superficial devido ao impacto das gotas de chuva e fenômenos de expansão e contração do solo.

2.1.3 Métodos para determinação da infiltração de água no solo

Existem diversos métodos para a determinação da infiltração de água no solo. Dentre eles, destacam-se os infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva (Alves Sobrinho, 1997), os infiltrômetros de cilindros concêntricos (Bernardo, 1995), os permeômetros (Reynolds *et al.*, 1992), os infiltrômetros de tensão ou permeômetros de disco (Borges *et al.*, 1999), os infiltrômetros de pressão (Elrick & Reynolds, 1992).

Métodos que não consideram o impacto da gota da chuva podem superestimar a infiltração da água, originando problemas no dimensionamento de projetos conservacionistas, gerando problemas de erosão do solo. Em geral, quando se utiliza o infiltrômetro de aspersão para determinação da infiltração de água no solo, são menores os valores estimados para a taxa de infiltração estável em relação aos obtidos com outros métodos (Pott & De Maria, 2003).

A determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para tanto, torna-se necessário adotar métodos, cuja determinação baseia-se em condições semelhantes àquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido, uma vez que a taxa de infiltração é muito influenciada pelas condições de superfície e conteúdo de umidade do solo (Pruski *et al.*, 1997).

2.1.4 Manejo do solo e infiltração de água no solo

O solo é um meio poroso e heterogêneo, cujas propriedades podem ser alteradas com o tempo e conforme o sistema de manejo praticado. A infiltração de água no solo é

um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela sua superfície, podendo ser influenciada pelas suas propriedades intrínsecas e pelo modo como a água atinge sua superfície (Carduro & Dorfman, 1988). A taxa de infiltração de água no solo é talvez, isoladamente, a propriedade que melhor reflete as condições físicas gerais do solo, sua “qualidade” e estabilidade estrutural (Cabeda, 1984).

Segundo Bertol *et al.* (2001), práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos provocam alterações nas propriedades físicas do solo que podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Assim, o solo cultivado tende, com o tempo, a ter a estrutura original alterada, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo. Em decorrência disso, observa-se uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial.

Em geral, o preparo convencional altera mais acentuadamente as condições físicas do solo, pela desagregação superficial, favorecendo, quando da incidência de chuva, o aparecimento de crosta superficial, e pela compactação subsuperficial, além de diminuir a infiltração de água e facilitar o processo erosivo. Em decorrência dos problemas causados pelo preparo convencional, surgiram os preparos conservacionistas, que proporcionam menor mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície com os resíduos culturais. O plantio direto é um tipo de preparo conservacionista que procura minimizar a mobilização do solo. Apenas ao longo das linhas de semeadura é que ocorre revolvimento, apresentando entre estas uma superfície de baixa rugosidade, porém com alta cobertura residual, que protege o solo (Alves & Cabeda, 1999).

O preparo do solo exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. Entretanto, se a superfície não estiver protegida com vegetação ou cobertura morta, a chuva e o vento, atuando na superfície do solo, reduzem a taxa de infiltração. A aração profunda é também um fator para aumentar a infiltração, enquanto práticas que exercem compressão no solo podem diminuí-la. O cultivo em contorno, retardando a enxurrada, favorece a infiltração. O fator mais importante na taxa de infiltração é a cobertura vegetal que está no solo durante a chuva. As chuvas de elevada intensidade ocorridas em situações em que o solo não está protegido pela cobertura vegetal ou pela cobertura morta, promovem compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração

torna-se reduzida; porém em condições de adequada cobertura superficial, o efeito é amenizado (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

De acordo com Chaves et al.(1993), o impacto das gotas de chuva contribuem para a redução da taxa de infiltração por duas maneiras: em primeiro lugar pela diminuição da rugosidade superficial, reduzindo as chances de empoçamento, e em segundo, pela formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade menor do que a do solo subjacente. Essa camada recebe o nome de selo superficial e, depois de seca, torna-se uma crosta superficial, podendo reduzir a permeabilidade do solo em até 90%.

Lal (1974), citado por Alves & Cabeda (1999), verificou uma redução de 40 e 73% na infiltração acumulada, numa área cultivada com milho, por um ano, e em outra preparada e sem cobertura durante o mesmo período, respectivamente, comparadas com uma área sob floresta.

Com o uso de simulador de chuvas, Derpsch *et al.*(1991), compararam o preparo convencional, o preparo mínimo e o plantio direto, verificando que a taxa de infiltração foi superior no plantio direto e menor no preparo convencional. Os resultados foram diametralmente opostos quando os mesmos sistemas de manejo do solo foram testados utilizando-se um infiltrômetro de anéis. Assim, ao contrário das determinações obtidas com o simulador, observou-se maior taxa de infiltração estável no preparo convencional do solo e a menor, no plantio direto.

Silva & Kato (1998), promovendo simulações de chuva, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa, quando desprovido de cobertura vegetal, obtiveram taxa de infiltração estável variando de 51,6 a 78 mm h⁻¹, proporcionando um valor médio de 61,3 mm h⁻¹. Na presença de cobertura morta os valores variaram de 56 a 96 mm h⁻¹, e o valor médio ficou em 76,3 mm h⁻¹, evidenciando dessa maneira a importante função desempenhada pela cobertura vegetal no favorecimento à elevação da taxa de infiltração de água no solo.

Por meio de infiltrômetros de anéis concêntricos, Sales *et al.* (1999), estimaram uma taxa de infiltração estável de 56,6 mm h⁻¹ em um Latossolo Roxo, de textura muito argilosa (653 g Kg⁻¹ de argila) com volume igual a 16,8% de macroporos, e num Podzólico Vermelho-Amarelo, de textura argilosa (422 g Kg⁻¹ de argila) com volume igual a 7,8% de macroporos, observaram uma taxa de infiltração estável de 12,1 mm h⁻¹.

Alves & Cabeda (1999), trabalhando sob dois métodos de preparo (plantio direto e plantio convencional) e usando chuva simulada com duas intensidades, concluíram que a

infiltração acumulada e a taxa de infiltração estável foram maiores no plantio direto. Nesse sistema, não houve diferença na taxa de infiltração estável para as duas intensidades estudadas. Porém para o preparo convencional, foi menor sob a chuva de maior intensidade.

Cassol *et al.* (1999) estudando a infiltração da água por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha, aplicaram chuva simulada com intensidade média de 120 mm.h^{-1} e encontraram os valores da taxa de infiltração estável iguais a 7,1; 13,7; 17,0; 18,5 e $46,5 \text{ mm.h}^{-1}$, respectivamente, para área testemunha, gradagem, plantio direto, convencional e subsolagem. Os pesquisadores sugerem que, possivelmente, a camada limitante à infiltração, nesse experimento, foi devida a uma compactação subsuperficial. O efeito em profundidade das hastes do subsolador quebrando esta camada foi, provavelmente, a razão das maiores taxas de infiltração estável no tratamento subsolagem em relação aos demais.

Urchei & Fietz (1999b), avaliando a variabilidade da taxa de infiltração estável de um Latossolo Roxo muito argiloso, em dois sistemas de manejo, usando o método do infiltrômetro de duplo cilindro (anéis concêntricos), observaram valores médios para a taxa de infiltração estável de $92,2 \text{ mm h}^{-1}$ no plantio convencional e $92,8 \text{ mm h}^{-1}$ no plantio direto, porém com variações nos valores observados de 13 a 328 mm h^{-1} .

Pesquisando sobre a infiltração de água em solo cultivado sob diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, Alves Sobrinho *et al.* (2003), utilizando um infiltrômetro de aspersão calibrado para aplicar uma intensidade de precipitação de 60 mm h^{-1} , estimaram para as áreas de plantio direto nas sucessões soja-nabo; soja-aveia; soja-pousio e área de plantio convencional, valores da taxa de infiltração estável, respectivamente iguais a 31,5; 45,1; 22,6; e $14,50 \text{ mm h}^{-1}$. Silva (2003), trabalhando em condições semelhantes e no mesmo local, encontrou nas áreas de plantio convencional com ervilhaca $25,7 \text{ mm h}^{-1}$ e em pousio $13,9 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto nas áreas de plantio direto com ervilhaca obteve $28,7 \text{ mm h}^{-1}$ e em pousio $27,2 \text{ mm h}^{-1}$, evidenciando maiores valores de taxa de infiltração estável nas áreas de plantio direto.

2.2 Perdas de solo e de água

O solo é o recurso natural mais intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, em decorrência de seu uso e manejo inadequados. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista da propriedade agropecuária (Roque *et al.*, 2001).

Algumas práticas de manejo do solo e de culturas, segundo Carpenedo & Mielniczuk (1990), promovem alterações nas propriedades físicas do solo, principalmente, na sua estrutura, podendo tais alterações ser permanentes ou temporárias e, ainda, influenciarem grandemente o processo erosivo. Assim, o solo submetido ao cultivo intensivo tende a ter alterada a sua estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo.

A precipitação e o escoamento superficial, de acordo com Amorim *et al.*(1999), afetam o desprendimento e transporte das partículas de solo de forma bastante diferenciada, por isso, o conhecimento da influência de cada um desses fatores na erosão, que ocorre em áreas entre sulcos e nos sulcos, é muito importante para o entendimento do processo de erosão hídrica.

Nesse sentido, deve-se considerar que, para a utilização sustentável do solo é necessário o conhecimento desses fatores que influenciam a intensidade da erosão hídrica, que variam de um local para outro. Neste contexto, a potencialidade das chuvas em provocar erosão constitui, um dos fatores mais importantes para a avaliação da erosão hídrica dos solos através de modelos de predição (Silva *et al.*, 1997).

Tanto para as condições de chuva natural, quanto para chuva simulada ou irrigação por aspersão, Carvalho *et al.*(2002), consideram que 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 energia de diferentes magnitudes. O impacto das gotas associado ao escoamento superficial, constituem os mecanismos responsáveis pela erosão entre sulcos.

O processo erosivo consiste de três eventos seqüenciais caracterizados pelo desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo. O desprendimento é definido

como a liberação de partículas dos agregados e, uma vez desprendidas elas podem permanecer próximas ao agregado ou serem transportadas (Carvalho *et al.*, 2002).

O desprendimento ou desagregação das partículas, segundo Bahia *et al.* (1992), ocorre pelo efeito integrado da energia de impacto das gotas de água e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo, assim, o estágio inicial e mais importante do processo da erosão hídrica.

Reichert *et al.* (1992), afirmam que as forças responsáveis pela desagregação do solo podem ser divididas em: abrasão por implementos de cultivo; impacto de água (gotas de chuva); cisalhamento pela água (escoamento); e entrada de água nos agregados. Os mesmos autores consideram ainda que, a energia cinética da chuva tem sido a principal medida usada para descrever o potencial da chuva em causar desestruturação de agregados na superfície e erosão do solo.

A susceptibilidade do solo à erosão hídrica torna-se mais expressiva à medida em que a densidade superficial do solo é aumentada, pois com isso ocorre um correspondente decréscimo da taxa de infiltração e um resultante favorecimento da taxa de escoamento superficial. Entretanto, com o aumento da densidade há um aumento do cisalhamento hidráulico crítico. O cisalhamento hidráulico crítico constitui-se no cisalhamento abaixo do qual não ocorre desagregação de partículas do solo por um fluxo concentrado de enxurrada (Martins Filho *et al.*, 2001).

Considerando o escoamento superficial, pode-se dizer que este inicia-se quando a intensidade de precipitação torna-se maior do que a taxa de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido ultrapassada. Associado ao escoamento, ocorre o transporte de partículas do solo, que sofrem deposição somente quando sua velocidade for reduzida. Além das partículas de solo em suspensão, são também transportados nutrientes, matéria orgânica, sementes e agroquímicos que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, poluem os cursos de água. (Griebeler *et al.*, 2001).

Em relação ao controle da erosão hídrica, Amaral Filho (1992) considera que devem ser adotadas medidas que reduzam o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, diminuindo, assim, a sua desagregação e favorecendo, conseqüentemente, a infiltração de água no solo.

Os modelos que estabelecem a predição da erosão hídrica podem ser empíricos ou matemáticos. Sua aplicação no planejamento de uso do solo é útil, pois possibilita, de

acordo com Bertol *et al.*(2000), comparar perdas efetivas de solo com a tolerância de perda permitida para determinado tipo de solo, tanto do ponto de vista agrícola, quanto ambiental. Para isso, é necessário quantificar os fatores componentes envolvidos nos modelos de erosão hídrica e, posteriormente, validar o referido modelo para cada local e condição edafoclimática.

O conhecimento e a quantificação das características físicas associadas ao potencial erosivo das precipitações de uma região são fundamentais na determinação de índices de erosividade adequados. No Brasil existem poucos estudos sobre características físicas das precipitações. Também são poucos os dados de perdas de solo registrados em experimentos de chuva natural (Debarba & Amado, 1997). Estes fatos têm dificultado o teste ou o desenvolvimento de índices de erosividade adaptados às nossas condições (Eltz *et al.*, 2001).

A erodibilidade do solo representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas. Portanto, refere-se à sua predisposição a erosão. É o fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo (Silva *et al.*, 2000).

A erosão hídrica pode ser estudada, de acordo com Silva *et al.*(2000), a partir de três maneiras diferentes de se determinar a erodibilidade do solo. A primeira, envolve a determinação em condições de campo, sob chuva natural, mas este método é oneroso e muito demorado.

O segundo método é semelhante ao primeiro, porém baseia-se na quantificação da erodibilidade do solo em função das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada, através da correlação entre as características da chuva e suas respectivas perdas de solo (Wischmeier & Smith, 1978).

O terceiro método baseia-se em equações de regressão que contenham como variáveis independentes propriedades mineralógicas, físicas e químicas ou relações destas, altamente relacionadas com a erodibilidade do solo; como exemplo deste, podem ser mencionados os trabalhos de Lombardi Neto & Bertoni (1975), Denardin (1990), Marques *et al.* (1997), Silva *et al.* (2000).

O efeito da cobertura e manejo do solo na redução da erosão varia amplamente de acordo com a variação da erosividade da chuva e erodibilidade do solo, para cada cultura e cada tipo de manejo do solo. Assim, há grande dificuldade na quantificação das perdas

promovidas pelo processo erosivo em virtude das inúmeras combinações possíveis de erosividades, culturas, sistemas de cultivos e tipos de preparo e manejo, para cada solo (Bertol *et al.*, 1994).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a determinação das perdas de solo por efeito de fenômenos de erosão pode ser feita de várias maneiras. A escolha de cada processo depende, principalmente, da natureza das perdas a serem determinadas, como do tipo de práticas conservacionistas, das condições ecológicas locais e das possibilidades do pesquisador. A determinação de perdas de solo pode ser feita por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles que se baseiam na coleta, na medição e na análise do material escoado, com auxílio de instalações coletoras e medidoras especiais. Os métodos indiretos são baseados nos vestígios deixados no solo, ou nas diferenças apresentadas em relação ao solo não erodido, sendo mais imprecisos do que os baseados no estudo do material transportado no escoamento superficial.

A variação da intensidade durante a chuva poderia ser incluída nos modelos de predição de perdas de solo e de água por erosão (Eltz *et al.*, 2001). Os trabalhos de perdas de solo e de água, utilizando aparelhos simuladores de chuvas, são uma maneira de apressar a obtenção de dados importantes a respeito de práticas de manejo do solo e culturas visando à conservação do solo e da água. Segundo Agassi & Bradford (1999), citados por Eltz *et al.*, (2001), a principal limitação na utilização de 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, além das dificuldades de se compararem os resultados obtidos, tendo em vista o uso de consideráveis diversificações de simuladores de chuva, intensidades de chuva e tipos de parcela.

Nos estudos de perdas de solo e de água por erosão, vem sendo utilizada a aplicação de chuvas simuladas de intensidade constante. Com isso, negligencia-se importante componente das chuvas naturais, que é a variação da intensidade durante a sua ocorrência. As características das chuvas mudam de região para região e, assim, um único padrão pode não ser o mais representativo para todas as regiões (Eltz *et al.*, 2001).

2.3 Manejo do solo e as perdas de solo e de água

A diversidade de transformações químicas, físicas e biológicas que ocorrem nos solos em que é conduzida a exploração agropecuária, de acordo com Tormena *et al.*(2002),

permitem caracterizá-los como sistemas complexos que retêm e transmitem água, ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular, para maximizar a produção das culturas.

Neste contexto, os sistemas de preparo do solo devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima, da cultura e de seu manejo, eles podem promover a degradação da qualidade física do solo, com restrições ao crescimento radicular. Nas regiões tropicais, sistemas de preparo com mínima perturbação do solo e que propiciem a manutenção de resíduos na superfície são necessários para o controle da erosão, redução da degradação do solo e do meio ambiente. O controle da erosão é fundamental para reduzir o processo de degradação do solo e práticas eficientes exigem a manutenção da cobertura do solo (Tormena *et al.*, 2002).

Para as condições de solo, clima e espécies cultivadas anualmente sob motomecanização nas regiões Sul, Centro-Sul e Centro-Oeste do Brasil, o manejo adequado do solo deve englobar um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem as seguintes condições: retenha ao máximo a água das chuvas onde ela encontra o solo; incremente a taxa de infiltração de água no solo; reduza a velocidade de escoamento superficial da água não infiltrada no solo; aumente a capacidade de armazenamento de água no solo e proporcione boas condições físico-químicas para o desenvolvimento das culturas (Barcelos *et al.*, 1999).

De acordo com Levien & Cogo (2001), a maior intensidade de preparo do solo está normalmente associada à redução de cobertura, rugosidade, porosidade e ao aumento do grau de pulverização da camada superficial, favorecendo a formação do selamento, crosta e compactação subsuperficial, concorrendo para aumentar os riscos de erosão.

Uma das causas da degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária. Portanto, neste sistema de manejo deve-se evitar o uso de máquinas pesadas e retirar os animais da área comum lavoura-pecuária, quando o solo estiver com umidade acima da faixa de friabilidade (Albuquerque *et al.*, 2001).

Segundo Alves & Cabeda (1999), o preparo convencional altera mais acentuadamente as condições físicas do solo em relação aos sistemas mais conservacionistas, pela desagregação superficial, favorecendo, quando da incidência de

chuva, o aparecimento de crosta superficial (superfície de selamento), e pela compactação subsuperficial, além de diminuir a infiltração de água e facilitar o processo erosivo.

Nascimento & Lombardi Neto (1999) compararam o efeito de três espécies de leguminosas em relação às perdas de solo e foi constatado que a mucuna preta proporcionou a maior capacidade de proteção contra a erosão, seguida da crotalária no início do ciclo e do labe-labe nos estádios mais próximos do florescimento.

Hernani *et al.* (1997), desenvolveram estudos visando quantificar as perdas de solo por erosão em diferentes sistemas de preparo em Latossolo Roxo de Dourados (MS). Neste estudo os autores concluíram que o plantio direto foi o sistema mais eficiente no controle de perdas de solo e de água. As perdas médias de solo por erosão, relativas aos sistemas de plantio direto, escarificação e gradagem niveladora, gradagem pesada e gradagem niveladora e aração com arado de discos e duas gradagens niveladoras, sem cobertura vegetal, foram, respectivamente 0,8; 2,8; 5,3; 7,3 t ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, estes trabalhos foram feitos com parcelas fixas e com chuva natural, o que dificulta a condução do trabalho em outras condições de solo e de manejo.

Comparando diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo, Schick *et al.* (2000) concluíram que a semeadura direta é mais eficaz no controle das perdas de solo, reduzindo-as em 68% e 52% em relação à aração associada a duas gradagens e escarificação associada a uma gradagem, respectivamente. E as perdas de água seguem a mesma tendência, sendo menos influenciadas do que as perdas de solo.

Em trabalho com perdas de solo e de água associadas a diferentes métodos de preparo do solo, Cogo *et al.* (2003), consideram que a cobertura do solo proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas de chuva, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial e aumenta a infiltração de água e atuando ainda na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, da capacidade erosiva da enxurrada.

Afirmam ainda, que os preparos conservacionistas do solo podem reduzir de 50 a 95% nas perdas de solo, em relação ao preparo convencional. E, dentre os preparos conservacionistas mais investigados, as perdas de solo na semeadura direta têm, de modo geral, sido menores do que nos preparos reduzidos. No entanto, as perdas de água, de modo geral, têm sido variadas e bem menos influenciadas pela cobertura superficial morta do que as perdas de solo, podendo ser superiores ora na semeadura direta (Vieira *et al.*,

1978), ora no preparo reduzido, ora no preparo convencional (Nunes *et al.*, 1987), ou mesmo semelhantes entre os diferentes métodos de preparo do solo (Bertol *et al.*, 1994), dependendo de condições, tais como: regime de chuva, tipo de solo, topografia e seqüência/rotação cultural utilizada no sistema global de manejo do solo na propriedade.

Em experimento que estabelece uma relação comparativa entre diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha, Cassol *et al.* (1999), concluíram que as maiores perdas de solo ocorreram no plantio convencional e as menores perdas ocorreram no plantio direto, em razão da boa cobertura e, provavelmente, da maior estabilidade dos agregados, e as maiores perdas de água foram verificadas na área onde não houve revolvimento do solo.

Dedecek *et al.* (1986), determinaram as perdas de solo e de água em Latossolo Vermelho-Escuro, no cerrado, sob chuva natural e concluíram que a manutenção de uma vegetação permanente, como a *Brachiaria decumbens*, reduziu em 95% as perdas de solo e de água.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos gerais

O trabalho foi realizado em área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS (latitude Sul 22°14', longitude a Oeste de Greenwich 54° 49', e altitude média de 452 m), no período compreendido entre março e julho de 2003 em solo classificado como Latossolo Vermelho aluminoférrico típico de textura muito argilosa, com 710 g kg⁻¹ de argila, 175 g kg⁻¹ de silte e 115 g kg⁻¹ de areia. O clima regional classificado pelo sistema internacional de Köppen é do tipo Cwa, clima úmido e inverno seco, com precipitação média anual de 1500 mm e temperatura média anual de 22° C. A declividade média da área experimental é de 0,03 m m⁻¹.

As avaliações referentes à infiltração de água no solo e perdas de solo e de água a campo, sob diferentes tratamentos e sistemas de cultivo, foram feitas utilizando-se o infiltrômetro de aspersão InfiAsper/UFMS (Figura 1), desenvolvido por Alves Sobrinho (1997).

O infiltrômetro foi calibrado para aplicar intensidades de precipitação de 40, 60, 80 e 100 mm h⁻¹, ajustando-se a abertura e o número de fendas no obturador (Figura 2) e a pressão de serviço em 32 kPa. Para a calibração do infiltrômetro foi utilizada uma bandeja, de 1,0 m de comprimento por 0,7 m de largura colocada sob a área de ação do equipamento para obtenção do volume precipitado. A intensidade de precipitação (I_p), em mm h⁻¹, era, então, determinada pela relação:

$$I_p = \frac{V}{A.t} \quad (4)$$

em que:

V = volume coletado, L;

A = área de coleta, correspondente à área da bandeja (0,70 m²);

t = duração da precipitação, h.

A área de ação do equipamento, ou área da parcela experimental (0,70 m²), foi contornada por um dispositivo de formato retangular (Figura 3), construído em chapas de

aço galvanizado número 16, para permitir a obtenção do volume de água escoado superficialmente.

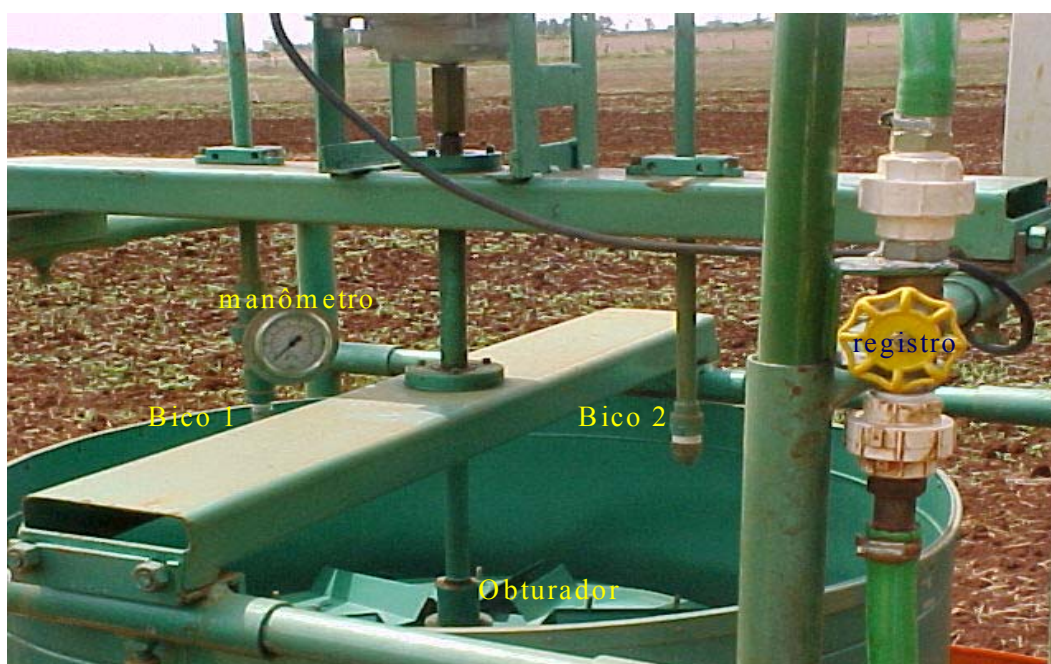


Figura 2. Sistema regulador da intensidade de precipitação (obturador rotativo, manômetro, bicos e registro), (Alves Sobrinho,1997).

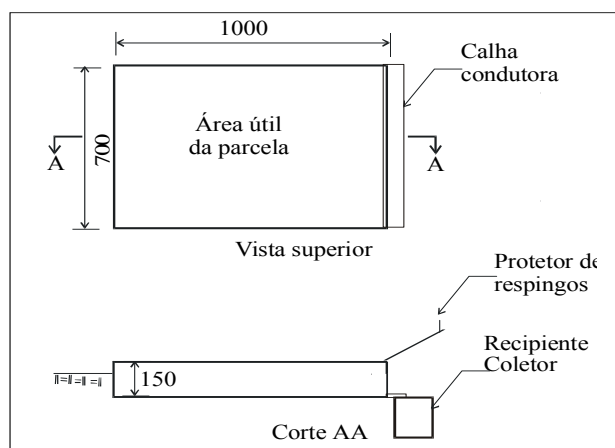


Figura 3. Coletor de escoamento com o protetor de respingos e o recipiente coletor (Alves Sobrinho, 1997) (Dimensões em mm).

O histórico de uso das áreas correspondentes aos sistemas de cultivos experimentais, com as respectivas culturas que vem sendo utilizadas desde 1995, está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Histórico das espécies vegetais cultivadas nos três sistemas de avaliação experimental, no período compreendido entre 1995 e 2003.

Ano	Sistemas			Ano	Sistemas		
	A	B	C		A	B	C
95	Milho	Milho	BD	99/00	Soja	BD	BD
95/96	Soja	BD	BD	00	Aveia	BD	BD
96	Aveia	BD	BD	00/01	Soja	BD	BD
96/97	Soja	BD	BD	01	Aveia	BD	BD
97	Aveia	BD	BD	01 /02	BD	Soja	BD
97/98	BD	Soja	BD	02	BD	Aveia	BD
98	BD	Aveia	BD	02/03	BD	Soja	BD
98/99	BD	Soja	BD	03	BD	Aveia	BD
99	BD	Aveia	BD				

BD: *Brachiaria decumbens*.

A diferença entre a lâmina de água aplicada e a lâmina de escoamento superficial medida experimentalmente, corresponde à lâmina infiltrada. A lâmina de escoamento superficial é obtida pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental.

A taxa de infiltração de água no solo foi avaliada em três sistemas distintos, denominados de Sistemas A, B e C. Na área experimental correspondente ao Sistema A havia pastagem e na área do Sistema B aveia (15 dias após a emergência) cultivada sob o sistema de plantio direto, enquanto que na área do Sistema C pastagem contínua (cultivada desde 1995). As áreas dos Sistemas A e B foram cultivadas sob o sistema de integração agricultura-pecuária.

As parcelas experimentais utilizadas para avaliar a infiltração de água, correspondentes aos Sistemas A, B e C em estudo, podem ser visualizadas na Figura 4.

a)



b)





Figura 4. (a) Parcela do Sistema A, sob cultivo de pastagem; (b) parcela do Sistema B, com a cultura de aveia cultivada sob plantio direto e (c) parcela do Sistema C, sob cultivo de pastagem contínua.

As estimativas das perdas de solo e de água foram realizadas em dois sistemas distintos, correspondentes aos mesmos Sistemas A e B utilizados nas avaliações de infiltração de água no solo. No período dos testes de campo a área experimental correspondente ao Sistema A estava sendo cultivada com pastagem, enquanto na área do Sistema B havia resteva de soja, cultivada sob plantio direto.

As parcelas experimentais utilizadas para as determinações de perdas de solo e de água, correspondentes ao sistema de integração agricultura-pecuária, podem ser visualizadas na Figura 5.

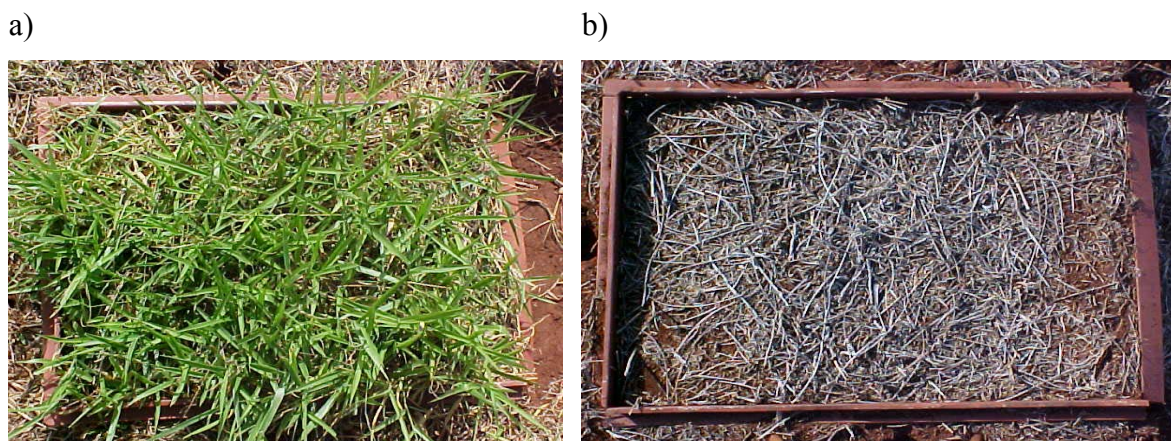


Figura 5. (a) Parcela do Sistema A, com cultivo de pastagem e (b) parcela do Sistema B, com resteva de soja, cultivada sob plantio direto.

Nas áreas experimentais foram retiradas amostras de solo para análises físicas de:

- Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo. Foram coletadas amostras indeformadas de solo, usando os anéis volumétricos centralizados nas profundidades de 2,5cm e 13,75cm. As análises foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

- Estabilidade de agregados: as amostras para essa determinação consistiram-se de blocos de solo com estrutura natural, que após secos ao ar, os blocos foram passados em peneiras de 9,52 e 4,76 mm, sendo empregados nas análises posteriores aqueles agregados retidos na peneira de 4,76 mm.

Assim sendo, a análise de estabilidade de agregados pelo peneiramento úmido foi realizada pelo peneiramento durante 15 minutos, em jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,105mm, dentro de recipiente que continha água, conforme proposição de Yoder (1936).

Adotou-se como índice de estabilidade o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), sendo que os cálculos desses dois índices foram feitos seguindo a proposta de Kemper & Rosenau (1986).

Em cada parcela experimental, foram ainda avaliadas, a massa de matéria seca dos restos culturais, a umidade inicial do solo, tempo de início de escoamento superficial e energia cinética da precipitação, conforme descrição a seguir:

- Massa da matéria seca: foram coletados os restos culturais presentes em cada parcela experimental, colocados em sacos de papel e secos em estufa com circulação de ar com temperatura entre 55 e 60°C, até peso constante, e posteriormente determinada a massa da matéria seca.

- Umidade inicial do solo: antes do início dos testes com o InfiAsper/UFMS, foram coletadas amostras de solo em três profundidades (0 - 5; 5 - 10 e 10 - 20 cm), para determinação da umidade inicial do solo.

- Tempo de início do escoamento superficial: com o objetivo de verificar o intervalo de tempo entre o início da aplicação da chuva simulada e o momento em que se inicia o escoamento superficial.

- Energia cinética: foram anotadas a altura do bico precipitador, a pressão de serviço e a intensidade de precipitação, no final de cada teste com o simulador de chuvas. A determinação da energia cinética foi feita por meio de programa computacional desenvolvido por Alves Sobrinho *et al.* (2001).

3.2 Taxa de infiltração de água no solo

A obtenção dos volumes escoado e infiltrado, para determinação da estimativa da taxa de infiltração, foi conduzida em três sistemas de cultivo (Sistemas A, B e C), e para verificar o possível efeito da intensidade de precipitação, utilizou-se duas intensidades de precipitação: 60 mm h⁻¹ e 100 mm h⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x3, correspondente a duas intensidades de precipitação e três sistemas de cultivo, com três repetições, totalizando 18 parcelas experimentais.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com a posterior aplicação do Teste de Tukey a 5% de significância para a comparação de médias. A análise estatística foi feita utilizando o programa SANEST (Sistema de Análise Estatística).

Antes do início dos testes, foram coletadas amostras de solo para a avaliação da umidade, nas camadas de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20cm.

A coleta da água escoada foi feita na calha coletora em intervalos de tempo de 1, 2, 3, 5, 10 e 15 minutos, com cinco repetições em cada intervalo, até que o volume escoado superficialmente se tornasse constante. Após as tomadas de dados em cada repetição era verificada a intensidade de precipitação aplicada durante o teste.

Com os dados de infiltração obtidos, foram ajustadas equações para taxa de infiltração conforme modelos propostos por Horton e Kostiakov-Lewis, descritos por Prevedello (1996). Os modelos de Horton e Kostiakov-Lewis, para infiltração acumulada em função do tempo, são representados pelas equações 5 e 6, respectivamente.

$$I = i_f t + \frac{i_o - i_f}{\beta} [1 - \exp(-\beta t)] \quad (5)$$

$$I = \kappa t^\alpha + i_f t \quad (6)$$

em que,

I = infiltração acumulada, mm

i_f = taxa de infiltração final, mm h⁻¹;

t = tempo de infiltração, h

i_o = taxa de infiltração inicial, mm h⁻¹;

α , β e κ são parâmetros determinados estatisticamente a partir de valores de I e t .

As equações utilizadas para estimar a taxa de infiltração em um determinado instante, foram obtidas das equações (5) e (6), derivando-as em relação ao tempo. Assim, as equações de taxa de infiltração instantânea para cada modelo, podem ser representadas conforme as equações (7) e (8).

$$i = i_f + (i_o - i_f) \exp(-\beta t) \quad (7)$$

$$i = \alpha \kappa t^{\alpha - 1} + i_f \quad (8)$$

Os parâmetros α , β e κ foram estimados utilizando-se o método de Gauss-Newton, minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores de infiltração obtidos com o infiltrômetro de aspersão, com o uso do programa computacional DataFit.

Foram utilizados na avaliação os seguintes índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF), representados pelas equações (9), (10) e (11):

$$CMR = \left(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right) / \sum_{i=1}^n O_i \quad (9)$$

$$CA = \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 \quad (10)$$

$$EF = \left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{P})^2 \right] / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \quad (11)$$

em que,

O_i e P_i são, respectivamente, os valores observados e estimados, n é o número de observações e \bar{O} a média aritmética das observações.

Com as equações de taxa de infiltração foram gerados gráficos de taxa de infiltração em função do tempo, para os diferentes tratamentos, a fim de melhor analisar e discutir os resultados.

3.3 Determinação das perdas de solo e de água

Antes de se iniciar a coleta dos dados de escoamento superficial, as parcelas receberam um pré-molhamento com o objetivo de oferecer condições de umidade mais uniforme a todas elas, constituindo-se um pré-requisito antes da aplicação da chuva artificial (Cogo *et al.*, 1984). Para isso, o simulador foi calibrado para aplicar uma intensidade de chuva de 60 mm h^{-1} , durante tempo suficiente para saturar o solo, sem que houvesse escoamento superficial e, conseqüentemente, carreamento de solo para a calha coletora.

Após um intervalo de tempo de 24 h de ter sido feito o pré-molhamento das parcelas, as avaliações de perdas de solo e de água tiveram início, com a coleta de sete amostras do volume escoado em cada parcela, em recipientes de 1 litro, em intervalos de 5 minutos entre cada amostra, conforme Varela (1999). A coleta da primeira amostra teve início quando foi verificado o escoamento inicial de água na calha coletora. Se, após decorridos os 5 minutos, o recipiente não estivesse completamente cheio, a coleta era interrompida, o frasco vedado e era imediatamente iniciada a coleta da amostra seguinte. Ao contrário, se durante o intervalo de 5 minutos o recipiente ficasse completamente cheio, a coleta era interrompida e o tempo registrado. Neste caso, a amostragem seguinte era feita após decorridos os 5 minutos do início da coleta anterior.

O intervalo de tempo compreendido entre o início da aplicação da chuva artificial e o início da coleta foi identificado como tempo de início do escoamento superficial e registrado para cada parcela do experimento.

No final da avaliação de campo as amostras eram encaminhadas para o laboratório e permaneciam em frascos vedados até serem feitas as medições da massa de solo e do volume de água escoado. Este procedimento foi realizado no laboratório de Solos do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da UFMS, onde as amostras eram colocadas em becker de um litro e acrescentadas gotas de ácido HCl, para que houvesse a floculação do material sólido em suspensão. Em seguida, foi retirado o excesso de água e seu volume quantificado e registrado, as amostras de material sólido colocadas em estufa, à temperatura de 60°C , por período de tempo necessário visando à completa evaporação da água contida nas mesmas. A umidade retida nas amostras foi determinada e acrescida ao volume de água registrado. A massa do material sólido foi determinada por pesagem,

sendo que logo após a secagem do material foi determinada a densidade de partícula, conforme Embrapa (1997).

Em cada sistema de cultivo (A e B) foi instalado um experimento referente a perdas de solo e de água. As determinações das perdas de solo e de água foram feitas em quatro tratamentos para cada uma das áreas experimentais (Sistemas A e B). Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, ocorrendo, portanto, um total de 16 parcelas experimentais em cada um dos sistemas em que foi instalado o experimento. Os quatro tratamentos correspondem aos valores de intensidade de precipitação (Trat 1: 40 mm h⁻¹; Trat 2: 60 mm h⁻¹; Trat 3: 80 mm h⁻¹ e Trat 4: 100 mm h⁻¹). Em cada sistema de cultivo foram comparadas as perdas de solo e de água referentes às diferentes intensidades de precipitação e posteriormente, foi aplicada a análise conjunta entre o Sistema A e o Sistema B, com o objetivo de comparar o efeito da mesma intensidade de precipitação aplicada aos dois sistemas de cultivo.

Para avaliar o efeito dos tratamentos nos sistemas de cultivo, e obter uma estimativa da variância residual, foi feita análise de variância dos dados obtidos, com a posterior aplicação do Teste de Tukey a 5% de significância, para a comparação de médias. A análise estatística foi feita utilizando-se o programa SANEST (Sistema de Análise Estatística).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos

Os valores médios de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros do solo nas duas profundidades e nos sistemas experimentais A, B e C em estudo (correspondentes respectivamente à pastagem em sistema de integração agricultura-pecuária, plantio direto em sistema de integração agricultura-pecuária e pastagem contínua) são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Valores médios da densidade do solo (Mg m^{-3}), macroporosidade do solo (%), microporosidade do solo (%) e volume total de poros (%) nas profundidades de 0 a 5cm e de 5 a 20cm, correspondentes aos três sistemas experimentais.

Sistema	Densidade do solo (Mg m^{-3})		Macroporosidade (%)		Microporosidade (%)		V.T.P. (%)	
	Profundidade (cm)							
	0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20
A	1,29Aa	1,27Aa	10,53Ba	13,66Aa	46,34Aa	44,61Aa	56,87Aa	58,67Aa
B	1,25Aa	1,37Aa	15,78Aa	6,84Bb	43,83Aa	47,19Aa	59,62Aa	54,04Aa
C	1,35Aa	1,29Aa	7,17Ba	9,43Ba	47,96Aa	47,54Aa	55,13Aa	56,97Aa

Sistema A: Pastagem no sistema de integração agricultura-pecuária; Sistema B: Plantio direto com resteva de soja no sistema de integração agricultura-pecuária; Sistema C: Pastagem contínua; Médias seguidas com a mesma letra maiúscula na mesma coluna e minúscula na mesma linha, para a mesma variável, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Analisando-se os dados obtidos (Quadro 2), verifica-se que para a densidade do solo, microporosidade e volume total de poros do solo não houve diferença significativa nos três sistemas, considerando as duas profundidades avaliadas. Embora a densidade do solo tenha sido semelhante nos três sistemas e nas duas profundidades avaliadas, verifica-se uma tendência de menor densidade na camada mais profunda das áreas com pastagem. Este fato pode ser atribuído a influencia do sistema radicular das gramíneas, que geralmente contribuem para uma melhor estrutura do solo principalmente pela deposição de matéria orgânica, pois, segundo Vitorino (1986) as maiores densidades nas posições mais profundas, podem ser decorrentes da redução da matéria orgânica.

Nos sistemas de cultivo em que havia pastagem, o sistema radicular estava bem desenvolvido ao longo de todo o perfil, com grande concentração nos primeiros 20 cm.

No Sistema A, a macroporosidade foi maior na profundidade de 5 a 20 cm, enquanto no Sistema B foi menor na profundidade de 5 a 20 cm. No Sistema C a macroporosidade não diferiu estatisticamente nas duas profundidades avaliadas. Em relação à porosidade do solo, observa-se (Quadro 2) que na faixa de 0 a 5 cm do Sistema B, ocorreu uma macroporosidade superior em comparação com os sistemas A e C (pastagens). Os maiores valores de macroporosidade estão associados com os menores valores de densidade do solo, fato que é evidenciado por uma correlação negativa ($r = -0,93$) entre esses atributos.

O Quadro 3 apresenta os valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e médio ponderado (DMP) dos agregados, após a superfície do solo ser submetida às diferentes intensidades de precipitação.

Quadro 3. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) e de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, em duas profundidades, dos diferentes sistemas, submetidos às diferentes intensidades de precipitação.

		Intensidade de precipitação (mm h^{-1})							
		40		60		80		100	
		Profundidade (cm)							
Sistemas		0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20	0 - 5	5 - 20
DMG	A	2,23A	0,89A	2,77B	1,29B	2,71A	1,26A	2,51B	1,37B
	B	1,65B	0,85A	1,78C	0,63C	1,71B	1,12A	1,99C	1,00C
	C	-	-	4,25A	3,45A	-	-	4,12A	3,58A
DMP	A	3,65A	1,95A	3,98B	2,51B	4,00A	2,25A	3,89B	2,66B
	B	2,79B	1,61A	2,98C	1,19C	2,14B	1,94A	3,10C	1,92C
	C	-	-	4,61A	4,26A	-	-	4,53A	4,15A

DMG: Diâmetro médio geométrico (mm); DMP: Diâmetro médio ponderado (mm); Médias seguidas com a mesma letra maiúscula na mesma coluna, para a mesma variável, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Comparando somente os sistemas cultivados na integração agricultura-pecuária, observa-se no Quadro 3 que o Sistema A apresentou na camada de 0 a 5 cm os maiores

valores de DMG e DMP, em relação ao Sistema B. Nos tratamentos em que o sistema C também foi analisado, este foi o que apresentou os maiores valores de DMG e DMP.

Essa diferença entre os sistemas representa uma melhor estrutura física nas áreas sob pastagem, principalmente no caso da pastagem contínua, possivelmente ocasionada pela ação do sistema radicular das gramíneas e da maior taxa de matéria orgânica que atua como elemento estabilizador dos agregados, promovendo a formação de agregados maiores e mais estáveis.

Analisando os valores do Quadro 3, observa-se uma diminuição do DMG e do DMP dos agregados, à medida em que aumenta a profundidade, corroborando com os dados de Lima *et al.* (2003), que consideram esta ocorrência provavelmente motivada pela diminuição dos teores de carbono-orgânico à medida que aumenta a profundidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Vitorino (1986), que também relaciona este fato com a maior taxa de matéria orgânica na região superficial do solo, considerando ainda que a maior estabilidade de agregados na superfície pode estar relacionada com os fenômenos de expansão e contração, mais nítidos nessa parte do perfil do solo.

Os dados relativos à massa seca coletada nas parcelas dos três sistemas de cultivo, são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Valores médios da massa seca (g m^{-2}) coletada na superfície das parcelas experimentais.

Sistemas	Intensidade de precipitação (mm.h^{-1})			
	40	60	80	100
A	1488,48 A	1553,53 A	1613,17 A	1516,90 A
B	398,71 B	391,57 B	420,51 B	387,51 B
C	-	1295,45 A	-	1487,26 A

Médias seguidas com a mesma letra maiúscula, não diferem entre si, a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Observa-se no Quadro 4, que os Sistemas A e C, apresentaram uma quantidade maior de massa seca, em relação ao Sistema B. A diferença estatística significativa ocorreu apenas entre os sistemas, porém não foi verificada para as avaliações do mesmo sistema.

4.2 Infiltração de água no solo

Os valores médios observados para umidade inicial do solo, intensidades de aplicação simulada e real de água, energia cinética da chuva simulada na parcela e taxas de infiltração inicial e estável (final), estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5. Valores médios de umidade inicial do solo, intensidade de precipitação aplicada, energia cinética da chuva simulada, tempo de início de escoamento superficial e valores médios das taxas de infiltração inicial e estável (final) para os tratamentos aplicados.

Profundidade (cm)	Sistema A		Sistema B		Sistema C	
	Intensidade de precipitação (mm h ⁻¹)					
	60	100	60	100	60	100
	Umidade inicial do solo (% à base massa)					
0 – 5	24,24	31,95	20,74	30,23	23,64	31,09
5 – 10	25,07	30,54	20,36	29,77	24,59	30,71
10 – 20	25,50	29,69	21,57	29,41	25,02	30,99
	Intensidade de aplicação (mm h ⁻¹)					
-	60,26	93,44	59,47	96,84	60,86	100,07
	Energia cinética da chuva simulada (J m ⁻²)					
-	1847,32 (91,56%)	1356,86 (88,24%)	2614,71 (91,64%)	1640,60 (87,98%)	1865,71 (91,49%)	2623,71 (87,74%)
	Tempo de início do escoamento superficial (min.)					
	18,32	1,48	58,27	3,87	12,7	1,16
	Tempo para atingir a taxa de infiltração estável (min.)					
	76	36	109	42	76	65
	Taxa de infiltração (mm h ⁻¹)					
Inicial (i ₀)	58,86	88,18	58,90	95,13	54,77	98,57
Estável	45,63Aa	36,01Ba	49,24Aa	25,90Bb	42,86Aa	40,67Aa

Sistema A: Sistema de integração agricultura-pecuária com pastagem; Sistema B: Sistema de integração agricultura-pecuária com aveia; Sistema C: Sistema de cultivo sob pastagem contínua; Médias seguidas com a mesma letra maiúscula na mesma linha, para as duas intensidades de precipitação e no mesmo sistema, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey; Médias seguidas com a mesma letra minúscula na mesma linha, para a mesma intensidade de precipitação aplicada nos três sistemas, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Para a mesma intensidade de precipitação e no mesmo sistema, a umidade inicial do solo apresentou valores muito próximos nas três profundidades coletadas, porém a análise dos dados indica, em média, uma variação de umidade significativa entre as duas intensidades de precipitação aplicadas no mesmo sistema, pois os testes correspondentes à intensidade de 60 mm h⁻¹ foram conduzidos num período bastante seco, enquanto que com

a intensidade de 100 mm h^{-1} foram realizados após um período chuvoso, o que proporcionou maior umidade ao solo, visto que nestes testes não houve pré- molhamento.

A variação de umidade inicial do solo entre os testes correspondentes às intensidades de 60 mm h^{-1} e 100 mm h^{-1} , possivelmente, foi um dos fatores que favoreceu a ocorrência da expressiva diferença entre os intervalos de tempo para início do escoamento superficial de água no solo.

Os valores obtidos para as intensidades de precipitação efetivamente aplicadas, apresentaram-se ligeiramente diferentes das que foram planejadas, em função das características operacionais e da montagem do equipamento no campo.

Observando-se os valores da taxa de infiltração inicial e estável (final) apresentados no Quadro 5, verifica-se que à medida em que aumenta o valor da intensidade de precipitação, diminui o valor da taxa de infiltração estável, para as duas intensidades de precipitação aplicadas nos três sistemas em estudo. Alves & Cabeba (1999), utilizando diferentes métodos de preparo do solo, observaram que no preparo convencional ocorreu diminuição significativa na taxa de infiltração à medida que variou a intensidade de precipitação de $63,4 \text{ mm h}^{-1}$ para $87,9 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto que no plantio direto a taxa de infiltração estável não apresentou variação.

Analisando o Quadro 5, nos três sistemas de cultivo, observamos que na área de agricultura, que estava sendo cultivada com aveia sobre a resteva de soja (Sistema B), houve maior variação na taxa de infiltração estável, do que nas áreas com pastagem (Sistemas A e C), à medida em que promoveu-se o aumento da intensidade de chuva. Atribui-se este processo à menor taxa de cobertura do solo, visto que, de acordo com Barcelos *et al* (1999), os restos culturais sobre a superfície do solo interceptam e dissipam a energia cinética da chuva e do escoamento superficial, diminuindo a desagregação e o transporte de partículas, prevenindo a formação do selamento superficial, diminuindo a velocidade de escoamento, aumentando o tempo de contato da água com o solo e permitindo, portanto, maior infiltração de água no solo.

Para a intensidade de precipitação de 60 mm h^{-1} os valores da taxa de infiltração estável não apresentaram diferença estatística entre os sistemas em estudo. Com relação à intensidade de precipitação de 100 mm h^{-1} , o sistema que estava sendo cultivado com aveia (Sistema B), apresentou taxa de infiltração estável menor do que nos sistemas de integração com pastagem (sistema A) e pastagem contínua (sistema C). Os sistemas sob

pastagem (Sistemas A e C) não diferiram entre si com relação à aplicação de 100 mm h^{-1} de chuva simulada.

Mesmo para as situações em que não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, pode-se observar que existiu uma tendência de maior infiltração de água (Quadro 5) para os tratamentos com os menores valores de densidade do solo na camada de 0 a 5 cm do solo (Quadro 2).

Os maiores valores obtidos para o diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado (Quadro 3), estão associados com os sistemas que apresentaram menor variação na taxa de infiltração de água no solo, quando foram submetidas a diferentes intensidades de precipitação. Este fato demonstra que os sistemas com maiores valores para estes índices e, portanto, com melhor estabilidade de agregados, são mais resistentes à desagregação superficial.

Evidencia-se, através da análise dos resultados, a interferência de alguns atributos do solo na magnitude da taxa de infiltração estável, especialmente a macroporosidade, densidade do solo e a estabilidade de agregados. A cobertura do solo com pastagens proporcionou condições mais favoráveis à infiltração de água no solo, considerando a maior intensidade de precipitação testada (100 mm h^{-1}), sobretudo pela quantidade de palha existente na superfície do solo associada com o seu desenvolvimento radicular, o que reduz o problema relativo ao selamento superficial.

Como pode ser observado, analisando o Quadro 5, as áreas de integração com pastagem (Sistema A) e com aveia (Sistema B) apresentaram maior taxa de infiltração estável com o uso da menor intensidade de precipitação (60 mm h^{-1}). Na pastagem contínua (Sistema C) não houve diferença na taxa de infiltração estável, para as duas intensidades de precipitação aplicadas. Esses resultados evidenciam a importância da cobertura vegetal e do sistema radicular na magnitude da infiltração de água em sistemas agrícolas.

4.3 Equações para a estimativa da taxa de infiltração

Os parâmetros α , β e κ ajustados para os modelos, e os índices estatísticos, estão apresentados no Quadro 6. As equações de Horton e Kostiakov-Lewis ajustadas estão apresentadas no Quadro 7. As curvas de taxa de infiltração estimadas pelos modelos e os dados observados nas determinações de campo estão apresentados nas Figuras de 6 a 11.

Pode-se afirmar que, de modo geral, a qualidade do ajuste dos modelos foi satisfatória. Tal afirmação se baseia na análise dos coeficientes de determinação (R^2) das regressões não lineares ajustadas em cada tratamento estudado, com destaque para a equação de Horton, que apresentou valores de R^2 sempre acima de 88%.

Quadro 6. Parâmetros e índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração estável pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis.

Parâmetros e índices	Sistema A		Sistema B		Sistema C	
	Intensidade de Precipitação (mm h^{-1})					
	60	100	60	100	60	100
Modelo de Horton						
β	0,04794	0,17059	0,01526	0,11736	0,02159	0,08599
CMR	-0,00297	0,00817	0,00225	0,00286	-0,00247	0,00841
CA	0,76234	1,38100	1,68508	1,66114	1,30287	0,89728
EF	0,00424	0,00031	0,00326	0,00012	0,00265	0,00018
Modelo de Kostiakov-Lewis						
α	0,58983	0,22560	0,72234	0,35273	0,68336	0,44663
κ	24,73808	249,72211	18,51004	231,12733	22,49855	143,53990
CMR	-0,00333	-0,02573	-0,00312	-0,05300	-0,0045	-0,02016
CA	1,41895	1,27276	2,34914	1,61838	2,08693	1,31612
EF	0,00424	0,00031	0,00326	0,00012	0,00264	0,00017

Quadro 7. Equações de Horton e Kostiakov-Lewis ajustadas.

Tratamentos	Modelos	
	Horton	Kostiakov-Lewis
Sistema A (60 mm h^{-1})	$i = 45,63 + 13,23 \text{ Exp.}(-0,04794t)$	$i = 45,63 + 14,59126 t^{-0,41017}$
Sistema A (100 mm h^{-1})	$i = 36,01 + 52,17 \text{ Exp.}(-0,17059t)$	$i = 36,01 + 56,33731 t^{-0,7744}$
Sistema B (60 mm h^{-1})	$i = 49,24 + 9,66 \text{ Exp.}(-0,01526t)$	$i = 49,24 + 13,37054 t^{-0,27766}$
Sistema B (100 mm h^{-1})	$i = 25,90 + 69,23 \text{ Exp.}(-0,11736t)$	$i = 25,90 + 81,052554 t^{-0,64727}$
Sistema C (60 mm h^{-1})	$i = 42,86 + 11,91 \text{ Exp.}(-0,02159t)$	$i = 42,86 + 15,37461 t^{-0,31664}$
Sistema C (100 mm h^{-1})	$i = 40,67 + 57,90 \text{ Exp.}(-0,08599t)$	$i = 40,67 + 64,10922 t^{-0,55337}$

Analisando-se o coeficiente de massa residual (CMR), observa-se que a equação de Horton, subestima a taxa de infiltração estável, comportamento indicado pelos valores positivos do índice CMR, com exceção da equação de Horton para os Sistemas A e C ao receberem a intensidade de precipitação de 60 mm h^{-1} , onde a equação de Horton superestimou a taxa de infiltração estável. A equação de Kostiakov-Lewis superestimou a taxa de infiltração estável em todos os tratamentos, comportamento esse, indicado pelos valores negativos do índice CMR. Este índice estatístico também confirma o melhor ajuste da equação de Horton, pois apresentou desvios mais próximos de zero.

O índice coeficiente de ajuste (CA) foi, em geral, melhor na equação de Horton, pois, neste modelo matemático apresentou valores, para os três sistemas avaliados e para as duas intensidades de precipitação mais próximas da unidade. O índice de eficiência (EF) foi semelhante nas duas equações, mostrando que não houve diferença entre elas e entre os tratamentos.

Analisando as curvas apresentadas nas Figuras de 6 a 11, verifica-se que o modelo de Kostiakov-Lewis tende a superestimar os valores ajustados e que a equação de Horton apresentou um melhor ajuste, com um R^2 sempre superior a 88%, e em todos os casos superior ao R^2 ajustado pelo modelo de Kostiakov-Lewis.

Urchei e Fietz (1999a), utilizando infiltrômetro de duplo cilindro para obtenção de dados de campo sobre infiltração em solo classificado como Latossolo Roxo, avaliaram a adequação das equações de Horton e de Kostiakov-Lewis e concluíram que a equação de Kostiakov-Lewis é mais adequada para estimar a taxa de infiltração nessas condições.

Trabalhando em dois sistemas de manejo do solo, Alves Sobrinho *et al.*(2003) e Silva (2003), através do uso de um simulador de chuvas, avaliaram também a adequação das equações de Horton e de Kostiakov-Lewis, e concluíram que para estimar a taxa de infiltração nessas condições, a equação de Horton é a mais adequada.

As curvas de taxa de infiltração estimadas pelos modelos de Horton e de Kostiakov-Lewis e pelos dados observados nas determinações de campo são apresentadas nas Figuras de 6 a 11. A análise destas figuras demonstra que no mesmo sistema em estudo, à medida que é aumentada a intensidade de precipitação, há uma tendência de redução na taxa de infiltração estável.

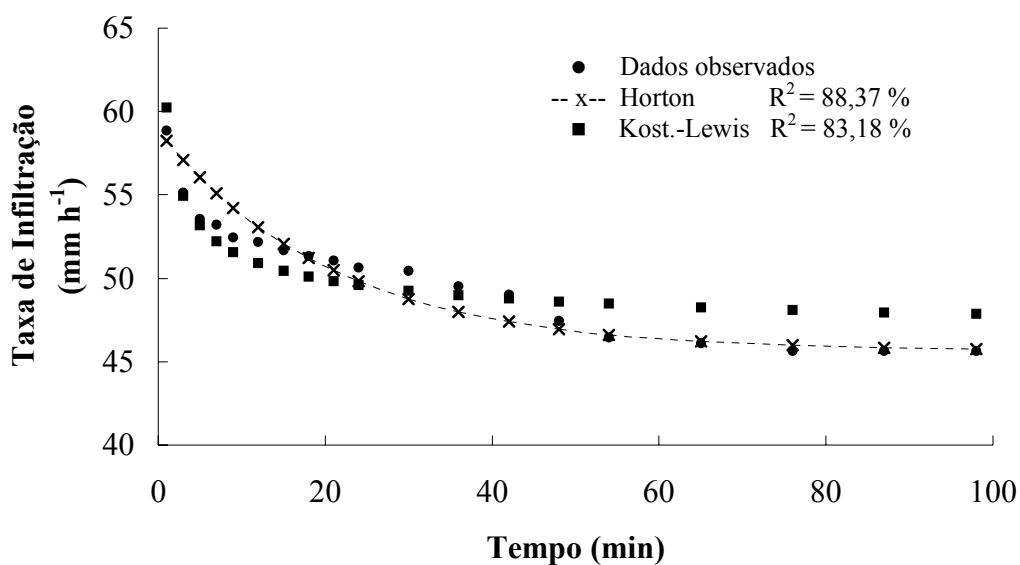


Figura 6. Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem em integração (Sistema A), sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h^{-1} em função do tempo de coleta.

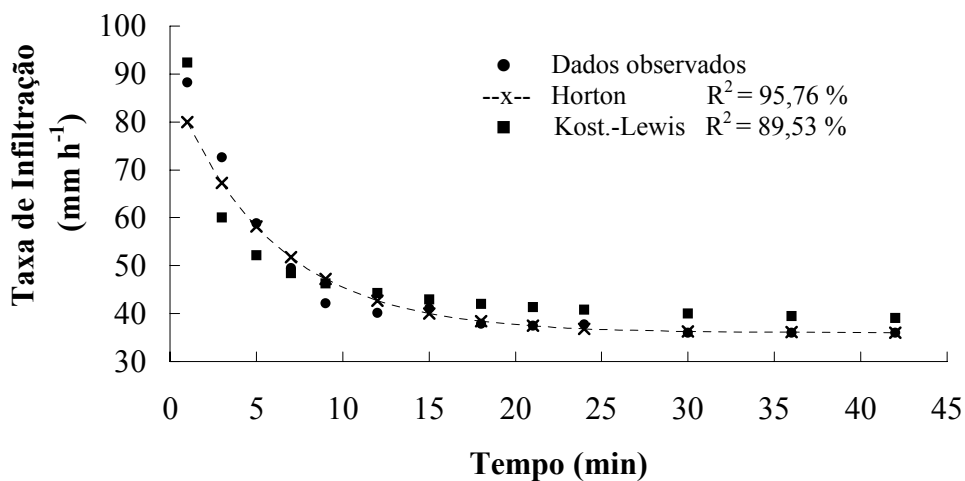


Figura 7. Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem em integração (Sistema A), sob uma intensidade de precipitação de 100 mm h^{-1} em função do tempo de coleta.

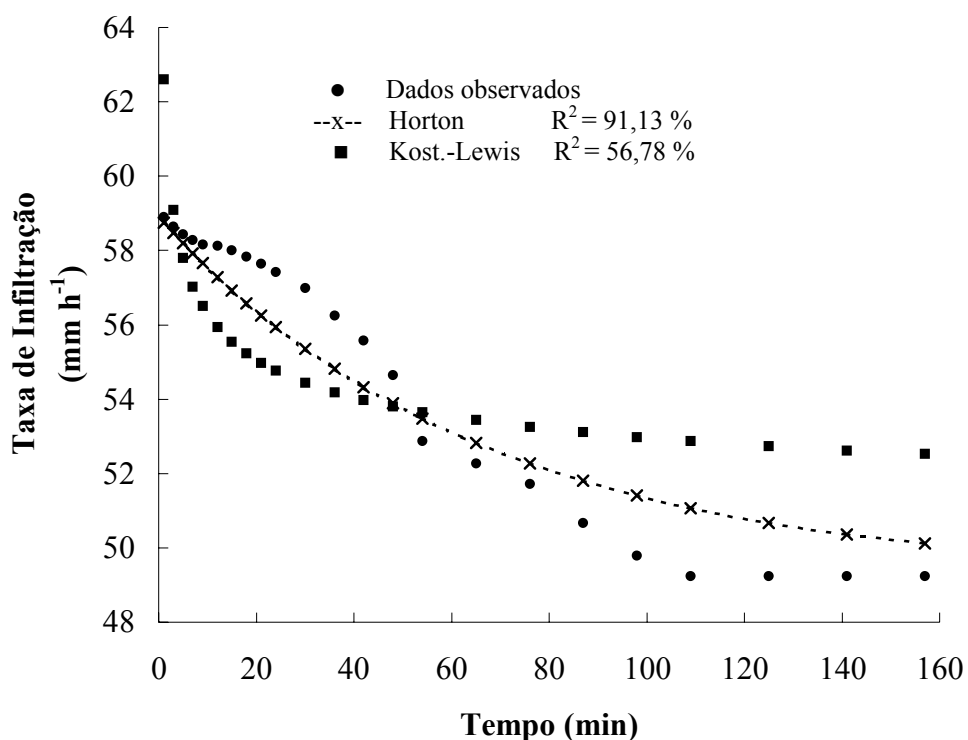


Figura 8. Taxa de infiltração observada e estimada na área de plantio direto com aveia (Sistema B), sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h⁻¹ em função do tempo de coleta.

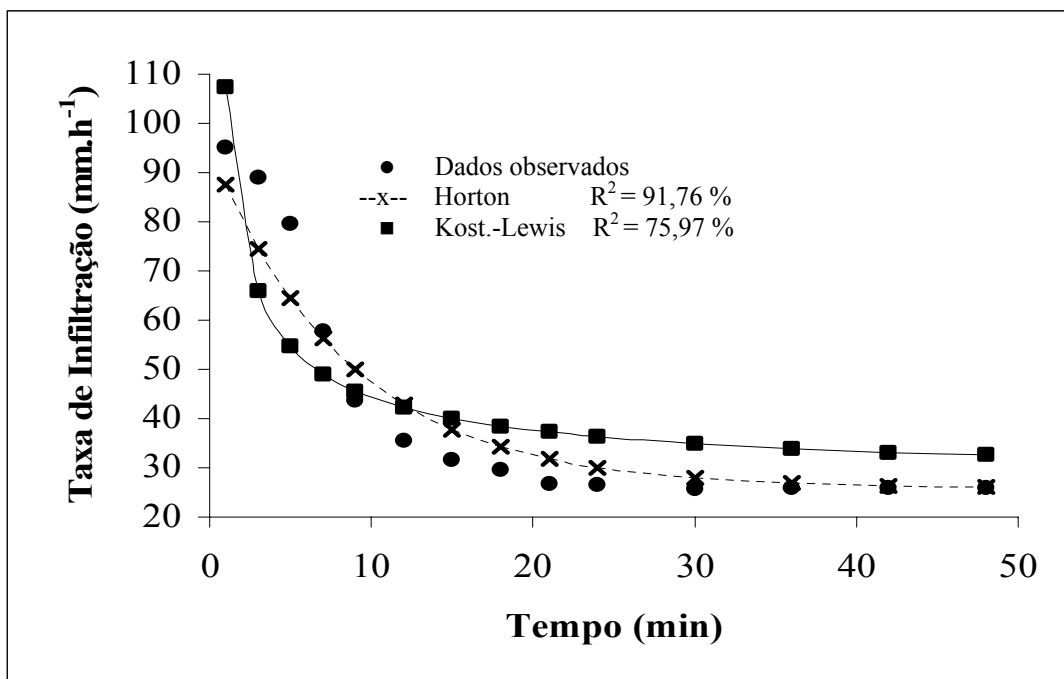


Figura 9. Taxa de infiltração observada e estimada na área de plantio direto com aveia (Sistema B), com uma intensidade de precipitação de 100 mm h⁻¹ em função do tempo de coleta.

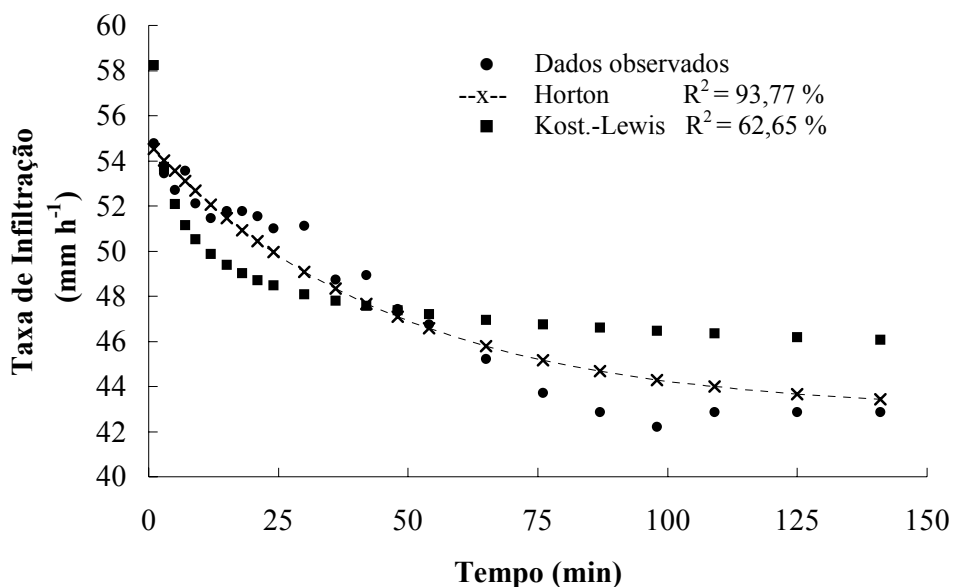


Figura 10. Taxa de infiltração observada e estimada na área de pastagem contínua (Sistema C) sob uma intensidade de precipitação de 60 mm h⁻¹ em função do tempo de coleta.

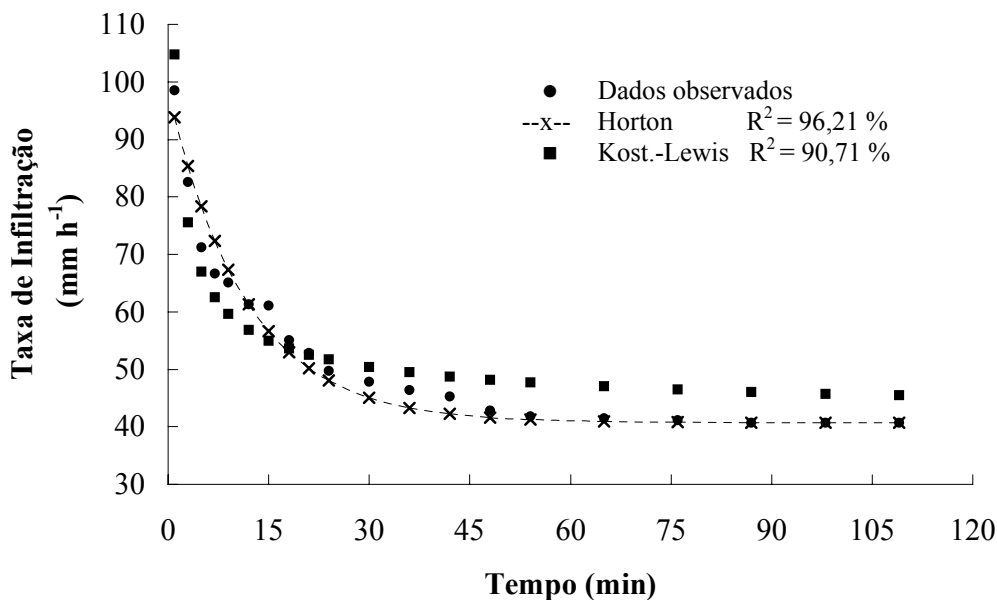


Figura 11. Taxa de infiltração observada e estimada na pastagem contínua (Sistema C) sob uma intensidade de precipitação de 100 mm h⁻¹ em função do tempo de coleta

4.4 Perdas de solo e de água

Os valores médios de umidade inicial do solo, tempo de início do escoamento superficial, intensidade de precipitação e energia cinética dos testes realizados para determinação das perdas de massa de solo e volume de água escoado, são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Valores médios de umidade inicial do solo (% à base massa), tempo de início do escoamento superficial (Ti), intensidade de precipitação aplicada (Ip real) e energia cinética (Ec) dos testes realizados para determinação das perdas de massa de solo e volume de água escoado.

a. Sistema A						
Ip	Ui (%)	Ui (%)	Ui (%)	Ti	Ip real	Ec
mm h ⁻¹	0 – 5cm	5 – 10cm	10 – 20cm	min.	mm h ⁻¹	J m ⁻²
40	27,00Aa	26,39 Aa	27,10 Aa	34,59	37,42	528,29
60	26,41 Aa	26,12 Aa	26,20 Aa	14,20	59,26	836,62
80	28,36 Aa	26,60 Aa	26,90 Aa	4,97	80,31	1133,80
100	29,13 Aa	28,29 Aa	28,01 Aa	3,46	100,28	1415,73

b. Sistema B						
Ip	Ui (%)	Ui (%)	Ui (%)	Ti	Ip real	Ec
mm h ⁻¹	0 – 5cm	5 – 10cm	10 – 20cm	min.	mm h ⁻¹	J m ⁻²
40	29,29 Aa	29,25 Aa	29,58 Aa	46,35	39,60	559,06
60	30,04 Aa	29,76 Aa	30,03 Aa	20,67	59,01	833,09
80	29,18 Aa	28,98 Aa	29,48 Aa	8,37	78,64	1110,22
100	29,16 Aa	29,33 Aa	29,86 Aa	6,15	95,24	1344,58

Médias seguidas com a mesma letra maiúscula na mesma coluna e minúscula na mesma linha, para a mesma variável, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

A análise estatística realizada para os dados de umidade inicial foi efetuada com o objetivo de constatar a eficiência do pré-molhamento, conferindo condições equivalentes de umidade em todas as áreas que receberam os tratamentos. Ao analisar os dados da umidade inicial (Quadro 8), observa-se que não houve diferença estatística significativa entre eles. Esse fato pode ser atribuído ao pré-molhamento das parcelas, que foi realizado de maneira efetiva.

Em todas as situações, observa-se uma diminuição do tempo de início de escoamento superficial a medida em que a intensidade de precipitação é aumentada. A análise dos dados do Quadro 8 evidencia uma correlação negativa entre a intensidade de

precipitação e o tempo de início do escoamento superficial nos dois sistemas de cultivo ($r_A = - 0,93$ e $r_B = - 0,94$).

O sistema A (pastagem) apresentou, em geral, menor intervalo de tempo para o início do escoamento superficial em todos os tratamentos, em relação ao sistema B (plantio direto), e isso pode ser justificado pelo fato de que as áreas de agricultura, mesmo no sistema de plantio direto, apresentam maiores irregularidades na superfície do solo do que nas de pastagem, promovendo maior retenção de água da chuva e detenção superficial da enxurrada no interior das mini depressões que surgem pelo uso de equipamentos agrícolas, além de que no Sistema B, considerando a profundidade de 0 a 5 cm, o valor da macroporosidade do solo foi maior, permitindo melhor infiltração de água no solo.

Comparando o sistema de plantio convencional, o cultivo mínimo e o sistema de plantio direto, Barcelos *et al.* (1999) observam que, o tempo de início de escoamento foi inferior no sistema de plantio direto, por apresentar menor rugosidade superficial em relação aos demais, visto que, no plantio convencional e no cultivo mínimo são utilizadas determinadas práticas agronômicas que promovem a formação de irregularidades na superfície do solo que favorecem a maior retenção do escoamento superficial.

Os valores de intensidade de aplicação não foram exatamente iguais, nos quatro tratamentos, devido às características operacionais e de montagem do equipamento no campo. No entanto, o percentual relativo de suas respectivas energias cinéticas foi superior a 88%, bem acima, portanto, do valor mínimo necessário proposto por Meyer e McCune (1958) que é de 75%. Considerando-se que a energia cinética da chuva é uma das propriedades que determinam a maior ou menor desagregação superficial do solo (Agassi & Bradford, 1999) contribuindo para a formação do selamento superficial, pode-se assumir que as variações observadas na intensidade de precipitação realmente aplicada em cada tratamento, em relação às planejadas, não influenciaram na magnitude dos valores de energia cinética.

Os valores médios da massa de solo e volume de água escoado após 35 minutos de aplicação de precipitação pluviométrica simulada com intensidades de 40, 60, 80 e 100 mm h⁻¹ sobre os dois sistemas de cultivo são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9. Valores Médios de perdas de solo (g m^{-2}) e de água ($10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$) acumulados em áreas cultivadas no sistema de integração agricultura-pecuária com pastagem e com plantio direto, sob diferentes intensidades de precipitação simulada.

Tempo (min.)	Sistema A				Sistema B			
	Intensidade de Precipitação (mm h^{-1})							
	40	60	80	100	40	60	80	100
a. Perdas de solo (g m^{-2})								
05	0,32	0,26	0,93	1,31	0,40	0,71	0,91	0,63
10	0,54	0,52	1,45	2,50	0,84	1,22	1,41	2,01
15	0,77	0,68	2,03	3,44	1,20	1,63	2,06	3,78
20	0,91	0,97	2,68	4,29	1,57	2,08	2,67	5,67
25	1,06	1,34	3,40	5,11	1,93	2,50	3,25	7,31
30	1,20	1,63	4,03	5,71	2,39	2,74	3,80	8,91
35	1,33Cb	1,89BCa	4,49ABa	6,18Ab	2,78Ba	3,07Ba	4,38Ba	10,50Aa
b. Perdas de água ($10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$)								
05	0,26	1,34	2,02	3,02	0,11	0,10	0,47	0,44
10	0,61	2,91	4,48	7,73	0,26	0,31	1,06	1,71
15	1,14	4,65	7,16	13,02	0,44	0,57	1,82	3,52
20	1,48	6,49	10,18	18,44	0,64	0,86	2,70	5,47
25	2,29	8,38	13,97	23,85	0,85	1,21	3,54	7,51
30	2,88	10,41	17,79	29,13	1,08	1,58	4,47	9,77
35	3,45Ca	12,43BCa	21,04ABa	34,64Aa	1,34Ba	2,00Bb	5,50Bb	12,14Ab

Médias seguidas com a mesma letra maiúscula para as diferentes intensidades de precipitação na mesma área experimental, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey; Médias seguidas com a mesma letra minúscula para a mesma intensidade de precipitação nas duas áreas experimentais não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Observando o Quadro 9, verifica-se que não houve diferença significativa nas perdas de solo do Sistema A, quando submetido às chuvas simuladas com intensidades de 40 e 60 mm h^{-1} . No Sistema A, a chuva simulada de 60 mm h^{-1} permitiu perdas de solo, estatisticamente, iguais às ocorridas com as chuvas de 40 e 80 mm h^{-1} , diferindo apenas em relação à correspondente a 100 mm h^{-1} .

No Sistema B (plantio direto) não houve diferença de perdas de solo para as precipitações de 40, 60 e 80 mm h^{-1} , porém estas diferiram mais acentuadamente em comparação com a de 100 mm h^{-1} .

Estabelecendo uma análise comparativa entre os dois sistemas de cultivo, verifica-se que na mesma intensidade de precipitação não ocorreu diferença significativa entre as perdas de solo para as intensidades de 60 e 80 mm h^{-1} , ocorrendo, porém, nas intensidades de 40 e 100 mm h^{-1} . Entretanto, pode-se dizer que em média, houve tendência

de maiores perdas de solo na área de agricultura com plantio direto do que na área de pastagem (Quadro 9).

Os resultados de Silva (2003), corroboram essa tendência, pois trabalhando em condições semelhantes, em dois sistemas de cultivo e com diferentes culturas, e utilizando o mesmo simulador de chuvas, calibrado para uma intensidade de 60 mm h^{-1} e aplicada durante 35 minutos, observou que nas situações de maior revolvimento do solo ocorreram maiores perdas de solo, com valores variando de 1,09 a $47,75 \text{ g m}^{-2}$.

Dechen et al. (1981), trabalhando sobre um Latossolo Roxo em condições de chuva natural, em Campinas (SP), constataram que, em geral, as gramíneas foram mais eficazes do que as leguminosas na diminuição das perdas de solo, em todos os estádios de desenvolvimento das culturas, atribuindo este fato ao sistema radicular das gramíneas que atua como importante agente reestruturador da camada arável, tornando o solo mais resistente à ação do impacto desagregador das gotas de chuva.

Os maiores valores do diâmetro médio geométrico e ponderado encontrados para o Sistema A em relação ao B (Quadro 3), caracterizando uma melhor estrutura física no Sistema A, podem ter influenciado no processo erosivo, proporcionando menores perdas de solo no sistema sob pastagem. Pode-se ainda considerar que tais diferenças relativas às perdas de solo também estejam associadas à maior quantidade de massa vegetal presente na área do sistema A (Quadro 4), pois a mesma favorece a absorção do impacto das gotas de chuva, proporcionando menor desagregação superficial.

As perdas de água no Sistema B, não apresentaram diferenças significativas entre as intensidades de precipitação de 40, 60 e 80 mm h^{-1} , porém foram diferentes em relação às de 100 mm h^{-1} . Em geral, pode-se afirmar que o aumento da intensidade de precipitação proporciona maiores perdas de água.

Comparando a mesma intensidade de precipitação aplicada nos dois sistemas de cultivo, verifica-se que, com exceção da intensidade de 40 mm.h^{-1} , houve diferença com relação aos volumes de água escoados para as demais intensidades aplicadas (60, 80 e 100 mm h^{-1}).

Os maiores valores médios para o escoamento superficial, ocorridos no Sistema A (pastagem), podem ter sua ocorrência associada à menor rugosidade superficial e a possibilidade da presença de uma camada delgada de solo com estrutura laminar, motivada pelo pisoteio animal, o que está de acordo com Vitorino (1986) que verificou que o pisoteio animal nos períodos mais úmidos pode promover uma compactação na camada

superficial em decorrência da formação de uma fina camada com estrutura laminar. As parcelas com a pastagem registraram uma quantidade de massa vegetal bem maior que a área de plantio direto, porém deve-se lembrar que a mesma não se encontrava totalmente depositada sobre a superfície, constituindo, na maior parte, uma massa vegetal viva, com certa elevação em relação à superfície, não proporcionando a mesma resistência ao escoamento superficial conferida pela resteva de soja (Sistema B).

Analisando os dados do Quadro 9, pode-se considerar que, assim como apresentado por Amorim *et al.*(2001) e Carvalho *et al.*(2002), com um aumento dos valores de energia cinética, foi observado um aumento da vazão de escoamento superficial, proporcionado pelo aumento da intensidade de precipitação.

Este fato pode ter ocasionado uma concentração do escoamento, com a formação de caminhos preferenciais de escoamento de água aumentando, a partir de certo tempo de aplicação, a sua capacidade de transporte.

Com os dados do Quadro 9, foram ajustadas equações de regressão, tendo como variáveis dependentes a massa de solo e o volume de água escoado e como variável independente, o tempo de duração da chuva simulada.

As equações geradas com os respectivos coeficientes de determinação e as curvas ajustadas, para as perdas de solo e de água no sistema de integração agricultura-pecuária em áreas de pastagem (Sistema A) e de plantio direto (Sistema B) estão apresentadas, respectivamente, nas Figuras de 12 a 15.

Com relação às perdas de solo ocorridas no intervalo de tempo de 35 minutos, o melhor ajuste ocorreu com as regressões polinomiais, caracterizando um processo onde as perdas de solo estão associadas através de modelos quadráticos em relação ao tempo.

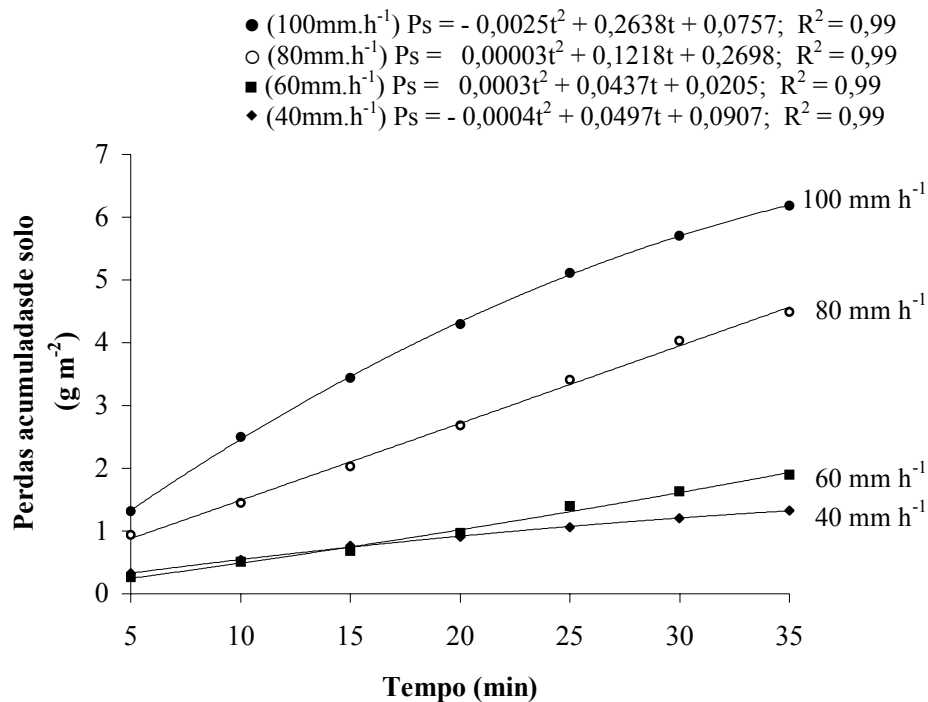


Figura 12. Perdas acumuladas de solo (g m⁻²) na área de pastagem (Sistema A) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.

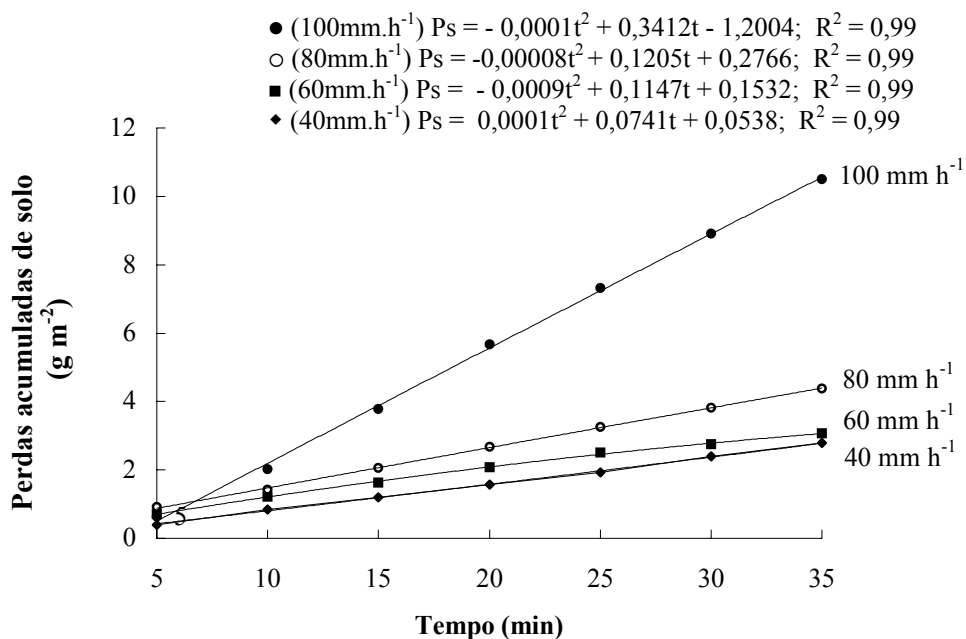


Figura 13. Perdas acumuladas de solo (g m⁻²) na área de plantio direto com resteva de soja (Sistema B) em integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.

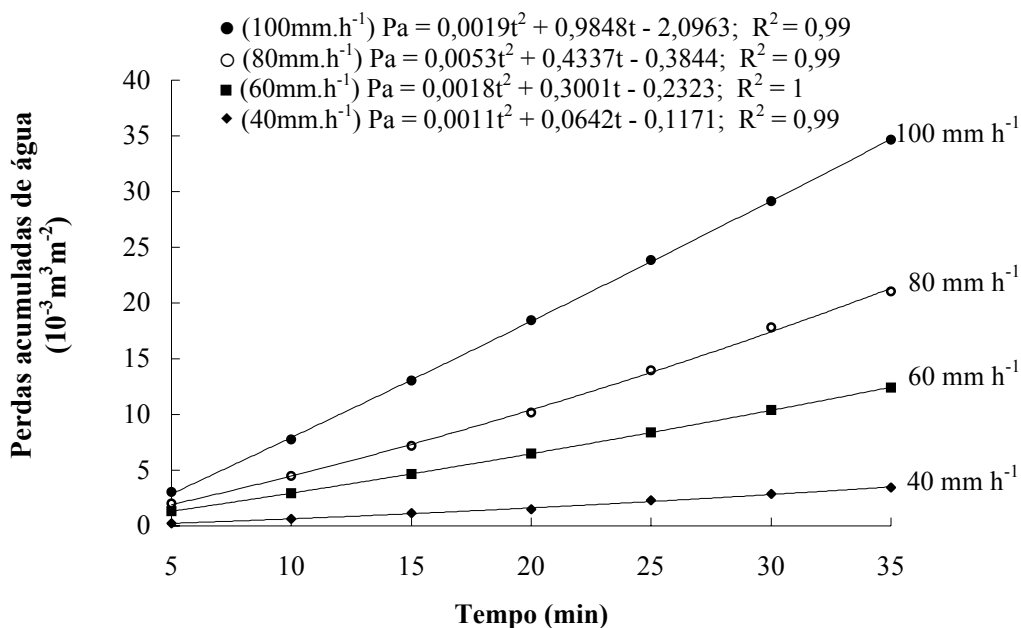


Figura 14. Perdas acumuladas de água ($10^{-3} \text{m}^3 \text{m}^{-2}$) na área de pastagem (Sistema A) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.

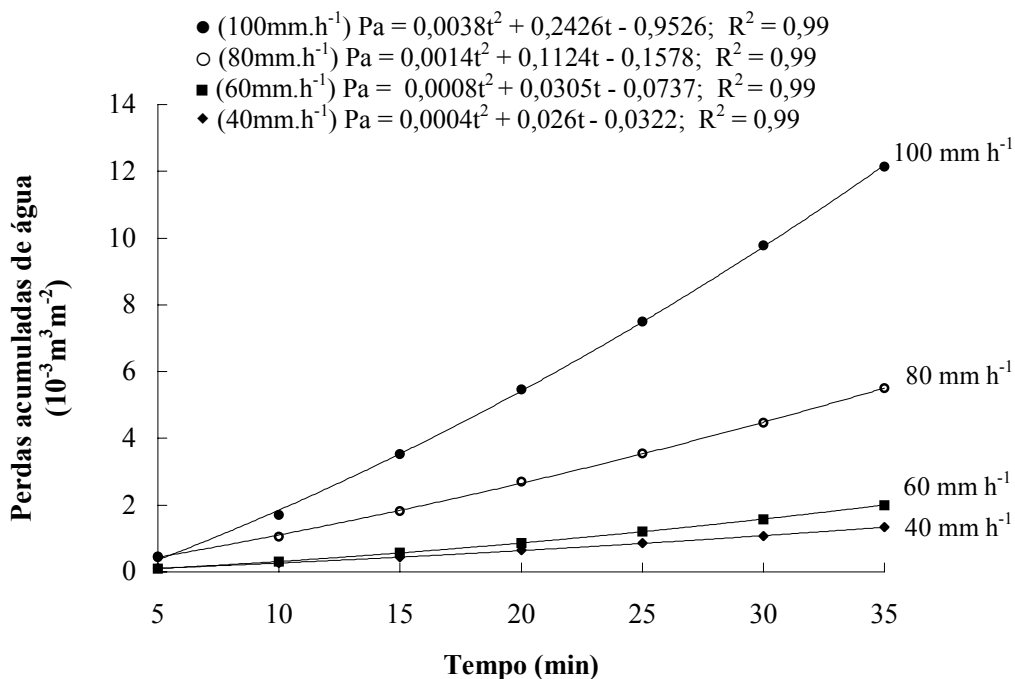


Figura 15. Perdas acumuladas de água ($10^{-3} \text{m}^3 \text{m}^{-2}$) na área de plantio direto com resteva de soja (Sistema B) no sistema de integração agricultura-pecuária sob diferentes intensidades de precipitação, durante 35 minutos.

As equações geradas, com os respectivos coeficientes de determinação e as curvas ajustadas a partir dessas equações, para as perdas de solo e de água ocorridas nos Sistemas A e B, em função da intensidade de precipitação são representadas respectivamente, nas Figuras 16 e 17.

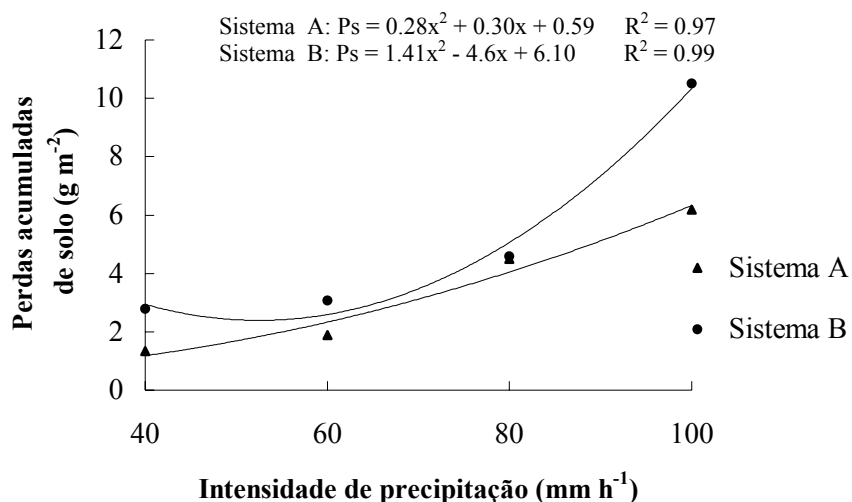


Figura 16. Perdas acumuladas de solo durante o intervalo de tempo de 35 minutos de coleta, nos dois sistemas de cultivo, para cada intensidade de precipitação aplicada.

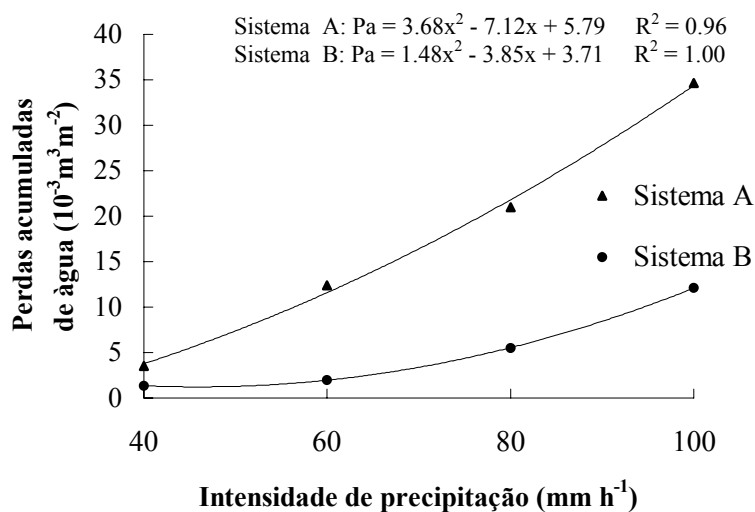


Figura 17. Perdas acumuladas de água durante o intervalo de tempo de 35 minutos de precipitação, nos dois sistemas de cultivo, para cada intensidade de precipitação aplicada.

Analisando-se o efeito da intensidade de precipitação nas perdas de solo e de água, verifica-se que no Sistema A (pastagem) ao variar a intensidade de precipitação de

40 para 100 mm h^{-1} , ocorre um aumento de aproximadamente 4,6 vezes nas perdas de solo e 10 vezes nas perdas de água, enquanto que, no Sistema B, com a mesma variação nos valores da chuva simulada, ocorre um aumento de aproximadamente 3,8 vezes nas perdas de solo e 9 vezes nas perdas de água.

5 CONCLUSÕES

- a) A equação de Horton ajustou-se melhor aos dados de taxa de infiltração, enquanto que a equação de Kostiakov-Lewis superestimou a taxa de infiltração estável em todos os tratamentos avaliados.
- b) De maneira geral, o sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto (Sistema B) apresentou perdas de solo mais acentuadas.
- c) As maiores perdas de água foram observadas na área do sistema de integração agricultura-pecuária cultivada com pastagem (Sistema A).
- d) As perdas de solo e de água, em geral, aumentaram com a aplicação de intensidades de precipitação mais elevadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M. & BRADFORD, J.M. **Methodologies for interrill soil erosion studies**. Soil and Tillage Research. v.49, p.277-287, 1999.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Viçosa, MG:UFV, 1997, 85 p.(**Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola**).

ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO,R.M. & MONTEBELLER,C. A . Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.12, p.28-35, 2001.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C. & CARVALHO, D.F. infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

ALVES, M.C. & CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.753-761, 1999.

AMARAL FILHO, Z.P. Principais tipos de solos de Goiás e seu relacionamento com a susceptibilidade à erosão. In: Simpósio sobre Manejo e Conservação dos Solos de Cerrado, Goiânia, 1990. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill. P. 68-93. 1992.

AMORIM, R.S.S. Desprendimento e arraste de partículas de solo decorrente de chuvas simuladas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999.75p. (**Tese de Mestrado**).

AMORIM, R.S.S.; SILVA,D.D.; PRUSKI, F.F. & MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.124-130, 2001.

- ARAÚJO FILHO, J.C. & RIBEIRO, M.R. Infiltração de água em Cambissolos do Baixo Irecê (Ba). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.20, p.263-370, 1996.
- BAHIA, V.G.; CURTI, N.; CARMO, D. & MARQUES, J.J.G.S.M. Fundamentos de erosão do solo. **Informe agropecuário**. Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992.
- BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.35-43, 1999.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. Ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 675p.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Distrófico sob diferentes sistemas de preparo cultivo do solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.18. p.267-271, 1994.
- BERTOL, I. & ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p. 657-668, 2000.
- BERTOL, I. BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, 2001.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990, 355p.
- BORGES, E.; ANTONINO, A.C.D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. & CARNEIRO, C.J.G. Determinação da condutividade hidráulica e da sortividade de um solo não saturado utilizando-se permeâmetro à disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p. 2083-2089, 1999.
- BUBENZER, G.D. & MEYER, L.D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.8, n.1, p. 73 –75, 1965.

- CABEDA, M.S.V. Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL. **Anais**. Passo Fundo, PIUCS e UPF – Faculdade de Agronomia, 1984. p. 28-33.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, D.F. de; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S. da; CEDDIA, M.B. & LANA, A.M.Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**. Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; JONG VAN LIER, Q. & BADELLUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.923-931, 1999.
- CARDURO, F.A & DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília, PRONI/MA, 1988.
- CHAVES, H.M.L.; ORLOWISK, W.E; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.17, p.141-147, 1993.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.368-373, 1984.
- 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.
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.473-480. 1997.

DECHEN, S.L.F.; LOMBARDI NETO, F. & CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. Campinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.5, p.133-137. 1981.

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

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, ESALQ, 1990. 81p. (Tese de Doutorado).

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: **Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista solo**. Londrina, GTZ-IAPAR. 1991-272 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1997.

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.

ELRICK, D.E. & REYNOLDS, W.D. **Infiltration from Constant-head well permeameters and infiltrometers**. In: TOOP, G.C.; REYNOLDS, W.A. & GREEN, R.E., eds. Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. Madison, soil science society of América, 1992. p.1-24 (Special Publication, 30)

EVERTS, C.J. & KANWAR, R.S. **Interpreting tension- infiltrometer data for quantifying soil macropores:some practical considerations**. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., v.36, p.423-428, 1992.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI,F.F.; MARTINS JÚNIOR, D. & SILVA, D.D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.411-417, 2001.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; DEDECEK, R. & ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS), , **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.667-676, 1997.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. **Aggregate stability and size distribution**. In: *KLUTE, A.*, Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of América, 1986, p.425-441.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo, Nobel, 1984. 408 p.

LAL, R. **Role of mulching techiques in tropical soil and water management**. Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture, 1974. 37p. (Techical Bulletin,1)

LEVIEN, R & COGO, N.P. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa,v.25, p.683-692, 2001.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Ed. do Autor, 1995. 497p.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A . S. & SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.199-205, 2003.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1975.12p. (Boletim Técnico, 27).

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURTI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 21, p.427-434, 1997.

MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, V. de P. & MARQUES JÚNIOR, J. Efeitos da densidade do solo na erosão de um Latossolo Vermelho devido ao tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.1, p.23-31, 2001.

MEIN, R.G. & LARSON, C.L. Modeling infiltration during a steady rain. **Water Resources Research**, v.9(4), p.384-394, 1973.

MEYER, L.D. & McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.39, n.1, p.644-648, October 1958.

MOORE, I.D.; HIRSCHI, M.C. & BARFIELD, B.J. Kentucky rainfall simulator. **Transacions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.4, p 1085-1089, 1983.

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.

MORIN, J.; GOLDBERG, D. & SEGNER, I. A rainfall simulator with a rotating disk. **Transacions of the ASAE**, St. Joseph, v.10, p.74-79, 1967.

NASCIMENTO, P.C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.121-125, 1999.

NUNES FILHO, J.; SOUZA, A. R.; MAFRA, R.C. & JACQUES, F.O. Efeito do preparo do solo sobre as perdas por erosão e produção de milho num Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico de Serra Talhada (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.11, p.183-186, 1987.

PERROUX, K. M. & WHITE, I. Designs for disc pearmeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.52, p.1205-1215, 1988.

POTT, C. A. & DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.19-27, 2003.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Ed. SAEAFS. Curitiba, PR, 1996. 446p.

PRUSKI, F.F. Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraços. Viçosa, MG: UFV, 1993. 97 p. (**Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola**). Universidade Federal de Viçosa, 1993.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L.; RODRIGUES, L.N. & ANTUNES, V.L. Infiltração da água no solo. **Engenharia na Agricultura**. Caderno Didático 25. 1997. 26 p.

REICHARDT, K. Infiltração da água no solo. In: **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. P. 317-352.

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, p.289-298. 1992.

REYNOLDS, W.D.; VIEIRA, S.R. & TOPP, G.C. **Na Assessment of the single-head analysis for the Constant head wheel permeameter**. Can. J. Soil. Sci. ,v.72, p.489-501, 1992.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. & PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju(SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.147-156, 2001.

ROTH, C.H.; MEYER, B. & FREDE, H.G. **A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration e soil loss**. Catena, v.12, p.79-85, 1985.

SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; SILVA DE OLIVEIRA, M. & CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SCHICK, J; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JÚNIOR, A. A erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa.v.24, p. 427-436, 2000.

SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Infiltration measurements with double ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.9, n.2, p.161-168, 1987.

SILVA, L.C. & KATO, E. Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1149-1158, 1998.

SILVA, M.L.N.; CURI, N., FREITAS, P.L. de ; BLANCANAU, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, 1997.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M. de & FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1207-1220, 2000.

SILVA, C.G. Perdas de solo e de água e características de infiltração em sistemas de plantio direto e convencional. Dourados, MS: UFMS, 2003.42p. (**Tese de Mestrado**).

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. **Ciênc. agrotec., Lavras**, MG, v.24, n.3, p.718-729, 2000.

SMITH, R.E. **The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer**. J.Hydr.,v. 17, p.1-22, 1976.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; da COSTA, A . C.S. & GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. p.59, n.4, p.795-801, 2002.

URCHEI, M.A. & FIETZ, C.R. Estimativa de infiltração básica de um Latossolo Roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1999, Pelotas, RS. **Anais**, Pelotas, RS: SBEA, 1999a. (Pub. CD-Room).

URCHEI, M.A. & FIETZ, C.R. Variabilidade da taxa de infiltração básica em um Latossolo Roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. In: **XIV Congresso Latino-Americano de la Ciência Del Suelo**, Pucon, Temuco. Suelo Ambiente-Vida. Temuco: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1999b.

VARELLA, C.A.A. **Efeito dos sistemas de cultivo nas perdas de água e solo**. Seropédica, RJ:UFRRJ, 1999, 93p.(**Tese de Mestrado**).

VIEIRA, M.J.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura de soja em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.2,209-214, 1978.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw- Hill, 1975. 245p.

VITORINO, A.C.T. Caracterização e interpretação, para uso agrícola, de solos de terraço fluvial, no médio Rio Doce, Município de Córrego Novo, MG. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 95 p. 1986. (**Tese de Mestrado**)

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction, American Geophysical Union**, Washington, v.39, p.285-291, 1958.

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

YODER, R.E. **A direct method of aggregate analysis soils and a study of the physical nature of erosion losses**. J.Am. Soc. Agron., v.28, p.337-351, 1936.