

FLÁVIO APARECIDO GONÇALVES

VALIDAÇÃO DO MODELO WEPP NA PREDIÇÃO DE EROSIÃO HÍDRICA  
PARA CONDIÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DA REGIÃO DE VIÇOSA-MG

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G635v  
2007

Gonçalves, Flávio Aparecido, 1976-  
Validação do modelo WEPP na predição de erosão  
hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-  
MG / Flávio Aparecido Gonçalves. – Viçosa, MG, 2007.  
xii, 116f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 79-86.

1. Solos - Erosão - Viçosa (MG). 2. Recursos hídricos -  
Viçosa (MG). 3. Solos - Conservação - Viçosa (MG).  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.45

FLÁVIO APARECIDO GONÇALVES

VALIDAÇÃO DO MODELO WEPP NA PREDIÇÃO DE EROÇÃO HÍDRICA  
PARA CONDIÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DA REGIÃO DE VIÇOSA-MG

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de novembro de 2007.

---

Prof. Ricardo Santos Silva Amorim  
(Co-Orientador)

---

Prof. Antônio Teixeira de Matos

---

Prof. Daniel Fonseca de Carvalho

---

Prof. Márcio Mota Ramos

---

Prof. Demetrius David da Silva  
(Orientador)

Dedico este trabalho

A Deus.

Aos meus pais José Antônio e Eunice.

À minha esposa Cleide.

À minha filha Débora.

Aos meus irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e por mais esta oportunidade.

Aos meus pais José Antônio e Eunice, que sempre estiveram ao meu lado. A vocês minha eterna gratidão.

A toda a minha família, pelo carinho.

À minha esposa Cleide, pelo carinho e compreensão em todos os momentos.

À minha filha Débora, por ser a razão do meu viver.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e pela oportunidade de realização do Programa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo.

Ao Professor Demetrius David da Silva, pela valiosa orientação, pela amizade sincera, pelo apoio, pelo incentivo e pela dedicação e confiança durante a realização deste trabalho, além do excelente convívio durante estes 11 anos, que teve início com a minha orientação como bolsista de iniciação científica, não somente como um orientador, mas também com um amigo e conselheiro.

Ao Professor Ricardo Santos Silva Amorim, da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), pela amizade, pelas valiosas sugestões e por ter depositado total confiança em mim para a realização desta pesquisa.

Ao Professor Fernando Falco Pruski, pelas valiosas sugestões, pela convivência, pela amizade e pelo companheirismo.

Ao Professor Carlos Ernesto Schaefer, pelo apoio e sugestões.

Aos Professores Antônio Teixeira de Matos, Márcio Mota Ramos e Daniel Fonseca de Carvalho (UFRRJ), pelas valiosas sugestões.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e apoio.

Aos meus colegas e amigos, em especial os do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), com os quais compartilhei as dificuldades e alegrias, pelo companheirismo.

Ao Técnico Marcelo do Carmo Freitas, do Laboratório de Mecanização Agrícola, pela dedicação e pelas sugestões e apoio durante a construção do simulador de chuva e das estruturas necessárias para a realização deste trabalho.

Aos estagiários e, ou, bolsistas Leônidas, Sady, Eduardo, Marcelo, Agnaldo, Mucio, Mauro, Josiane e Neto, pela amizade, pelo apoio e pela dedicação durante a condução do experimento desta pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Chicão e Eduardo, pela amizade e apoio durante a realização deste trabalho. E ao Betinho, pela disposição em ajudar em todos os momentos.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu especial agradecimento.

## **BIOGRAFIA**

FLÁVIO APARECIDO GONÇALVES, filho de José Antônio Afonso Gonçalves e Eunice Ferreira Gonçalves, nasceu em Campinas, São Paulo, em 7 de novembro de 1976.

Em março de 1995, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em março de 2001.

Em abril de 2001, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, área de concentração em Irrigação e Drenagem, concluindo-o em dezembro de 2002.

Em abril de 2003, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais.

Em setembro de 2006 foi efetivado como Professor Assistente do Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal da Bahia em Barreiras.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Erosão hídrica .....	3
2.1.1. Processos ou fases de erosão hídrica.....	3
2.1.2. Problemas relacionados à erosão do solo.....	4
2.1.3. Formas de erosão hídrica.....	5
2.1.4. Fatores que interferem no processo erosivo .....	6
2.1.5. Evolução dos modelos de predição de erosão hídrica .....	7
2.2. Water Erosion Prediction Project – WEPP .....	9
2.2.1. Componente erosão do solo.....	10
2.2.2. Componente hidrológico.....	12
2.2.3. Componente crescimento de planta e decomposição de resíduos .....	14
2.2.4. Componente balanço hídrico.....	14
2.2.5. Componente hidráulica do escoamento superficial .....	15
2.2.6. Componente solo .....	15
2.3. Avaliação e validação de modelos .....	16

	Página
2.4. Erodibilidade do solo e condutividade hidráulica efetiva .....	16
2.4.1. Fatores que interferem na erodibilidade do solo.....	17
2.4.2. Complexidade e importância da determinação da erodibilidade.....	18
2.5. Determinação da erodibilidade utilizando a metodologia do WEPP .....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.1. Determinação das perdas de solo e de água .....	20
3.1.1. Descrição das parcelas experimentais .....	22
3.1.2. Determinação da precipitação, do escoamento superficial, do coeficiente de escoamento e das perdas de solo.....	22
3.2. Determinação dos parâmetros do solo do modelo WEPP.....	25
3.2.1. Preparo do solo para determinação dos parâmetros.....	26
3.2.2. Determinação da erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ).....	29
3.2.3. Determinação da condutividade hidráulica efetiva do solo ( $K_e$ ).....	33
3.2.4. Determinação da erodibilidade no sulco ( $K_r$ ) e da tensão cisalhante crítica do solo ( $\tau_c$ ).....	33
3.3. Construção dos arquivos para aplicação do modelo WEPP para as condições de uso e manejo do solo estudadas.....	39
3.4. Comparação das perdas de solo e de água estimadas para o Cambissolo pelo modelo WEPP com as obtidas experimentalmente.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Perdas de solo e de água obtidas experimentalmente .....	42
4.2. Determinação de $K_i$ , $K_r$ , $\tau_c$ e $K_e$ obtidos experimentalmente ...	51
4.2.1. Erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ).....	51
4.2.1.1. Taxa média de escoamento e lâmina total escoada...	51
4.2.1.2. Concentração de sedimentos no escoamento superficial .....	53
4.2.1.3. Taxas de desprendimento em entressulcos .....	54

	Página
4.2.1.4. Erodibilidade do solo em entressulcos .....	56
4.2.2. Erodibilidade em sulcos ( $K_r$ ) .....	57
4.2.2.1. Taxa de desprendimento em sulcos e perda total de solo.....	57
4.2.2.2. Características geométricas dos sulcos e hidráulicas do escoamento .....	61
4.2.2.3. Erodibilidade em sulcos ( $K_r$ ) e tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ ).....	64
4.2.3. Condutividade hidráulica efetiva.....	68
4.2.4. Comparação dos parâmetros $K_i$ , $K_r$ , $\tau_c$ e $K_e$ obtidos experimentalmente com os valores gerados pelas equações utilizadas no WEPP .....	70
4.3. Comparação das perdas de solo e de água estimadas para o Cambissolo pelo modelo WEPP com as obtidas experimentalmente.....	74
5. CONCLUSÕES .....	78
6. REFERÊNCIAS .....	79
7. APÊNDICES.....	87
7.1. APÊNDICE A.....	88
7.2. APÊNDICE B.....	89
7.3. APÊNDICE C.....	102
7.4. APÊNDICE D.....	106
7.5. APÊNDICE E.....	114

## RESUMO

GONÇALVES, Flávio Aparecido, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2007. **Validação do modelo WEPP na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG.** Orientador: Demetrius David da Silva. Co-Orientadores: Ricardo Santos Silva Amorim, Fernando Falco Pruski e Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

Análises de sensibilidades do modelo WEPP demonstraram que para as condições edafoclimáticas brasileiras os parâmetros de solo mais críticos são: a erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ), a erodibilidade no sulco ( $K_r$ ), a tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ ) e a condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ). Desta forma é de fundamental importância a avaliação das equações utilizadas para determinação destes parâmetros visando melhorar as estimativas de perdas de solo e de água do WEPP. Por isso, objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar as perdas de solo e de água em parcelas experimentais submetidas às condições de chuvas naturais; comparar valores de  $K_i$ ,  $K_e$ ,  $K_r$  e  $\tau_c$ , obtidos experimentalmente com os valores gerados pelas equações utilizadas no modelo WEPP; e validar o WEPP por meio da comparação das perdas de solo e de água obtidas em parcelas experimentais com as estimadas utilizando-se os valores dos parâmetros de solo ( $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ ), obtidos experimentalmente, como dados de entrada no modelo. Para alcançar os objetivos propostos, foram instaladas seis parcelas

experimentais com diferentes preparos e manejos em Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico para a determinação das perdas de solo e de água sob condições de chuvas naturais por um período de cinco safras agrícolas. Realizou-se também realizada a determinação dos valores de  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  para dois solos (Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico e Argissolo Vermelho Amarelo), os quais foram comparados aos valores estimados pelas equações do modelo WEPP. As perdas de solo e de água obtidas nas parcelas experimentais foram comparadas às estimadas obtidas utilizando-se o modelo WEPP para as mesmas condições de solo, de manejo e de declividade das parcelas, sendo utilizados os valores de entrada de  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente bem como valores gerados internamente pelo modelo. Os valores de  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente para o Argissolo foram de  $3,06176 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ ,  $0,0268 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $0,495 \text{ N m}^{-2}$  e  $7,3 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente e para o Cambissolo de  $1,26433 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ ,  $0,0108 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $3,481 \text{ N m}^{-2}$  e  $13,3 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente. A estimativa para a perda de solo apresentou erro médio de  $1,69 \text{ kg m}^{-2}$ , quando feita com parâmetros experimentais e de  $6,87 \text{ kg m}^{-2}$  utilizando valores gerados pelas equações do WEPP. A estimativa de perda de água apresentou erros médios de 174,90 e 410,67 mm, considerando dados experimentais e os gerados pelo modelo, respectivamente. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o Argissolo, quando comparado ao Cambissolo, possui maior suscetibilidade à erosão; as equações do modelo WEPP superestimam os valores de erodibilidade em entressulcos e no sulco e subestimam os valores de tensão cisalhante crítica e condutividade hidráulica efetiva para o Cambissolo; para o Argissolo, superestimam erodibilidade em entressulcos e tensão cisalhante crítica e subestimam erodibilidade no sulco e condutividade hidráulica efetiva; a utilização dos parâmetros de solo, obtidos experimentalmente, como dados de entrada do modelo WEPP melhorou em 306% as estimativas de perdas de solo e em 135% as perdas de água; e para as perdas de água, mesmo com ajuste da condutividade hidráulica efetiva, os desvios das estimativas em relação aos dados experimentais das cinco safras agrícolas avaliadas são muito superiores aos desvios dos valores observados experimentalmente.

## ABSTRACT

GONÇALVES, Flávio Aparecido, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November of 2007. **WEPP model validation in the prediction of water erosion for edaphic climatic conditions in the region of Viçosa-MG.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-Advisers: Ricardo Santos Silva Amorim, Fernando Falco Pruski and Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

The sensitivity analysis of the WEPP model demonstrated that for the Brazilian edaphic climatic conditions the most critical parameters from the soil are: the erodibility interrill ( $K_i$ ), the erodibility in rill ( $K_r$ ), the critical shear strength ( $\tau_c$ ) and the effective hydraulic conductivity ( $K_e$ ). Through is of fundamental importance the evaluation of the equations used for the determination of these parameters, with the objective of improve the estimation of the soil and water in the WEPP model. Because of that, the objective of this work were to evaluate the soil and water losses in experimental plots submitted to natural rain conditions; to compare values of  $K_i$ ,  $K_e$ ,  $K_r$  and  $\tau_c$ , obtained experimentally with the values generated by the equations used in the WEPP model and to validate it by the comparison of the soil and water losses obtained in experimental plots with the ones estimated using the parameters values from the soil ( $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  and  $K_e$ ), obtained experimentally as the input data in the model. To reach the objectives proposed six plots were installed with different soil management

planning in the Latosolic Distrofic Tb Haplic Cambisol, for the determination of the soil and water losses under natural rain conditions for the period of five seasonal crops. Also it was done the determination of the  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  and  $K_e$  values for two types of soil (Latosolic Distrofic Tb Haplic Cambisol and Red Yellow Argisol), which were compared to the values estimated by the equations of the WEPP model. The soil and water losses obtained in the experimental plots were compared to those estimated obtained using the WEPP model for the same conditions of soil, management and declivity of the plots being used the input values of  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  and  $K_e$  obtained experimentally as well values generated internally by the model. The values of  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  and  $K_e$  obtained experimentally for the Argisol were of  $3,06176 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ ,  $0,0268 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $0,495 \text{ N m}^{-2}$  and  $7,3 \text{ mm h}^{-1}$ , respectively and for the Cambisol of  $1,26433 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ ,  $0,0108 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $3,481 \text{ N m}^{-2}$  and  $13,3 \text{ mm h}^{-1}$  respectively. The estimate for the soil loss showed average error of  $1,69 \text{ kg m}^{-2}$ , when using the experimental parameters and of  $6,87 \text{ kg m}^{-2}$  using the values generated by the equations from WEPP. The estimate of the water loss showed average errors of 174,90 and 410,67 mm, considering experimental data and the ones generated by the model respectively. The results obtained allowed to conclude that the Argisol when compared with the Cambisol, have more susceptibility to erosion; the equations of the WEPP model superestimate the values of erodibility in interrill and in the rill and subestimate the values of the critical shear strength and the effective hydraulic conductivity for the Cambisol; for the Argisol, superestimate erodibility in the interrill and critical shear strength and subestimate erodibility in the rill and effective hydraulic conductivity. The utilization of the parameters from soil, obtained experimentally as input data of the WEPP model improved in 306% the estimates of the soil losses and in 135% the water losses; and for the water losses, even considering the adjustment of the effective hydraulic conductivity, the deviation from the estimates related to the experimental data from the five seasonal crops evaluated, are much higher than the values observed experimentally.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica (acelerada) constitui grave problema associado ao uso agrícola dos solos, sendo reflexo do manejo inadequado dos mesmos. Como conseqüências há redução da capacidade produtiva do solo, assoreamento dos rios e poluição de mananciais, afetando indiretamente a produção de alimentos e os custos de tratamento de água para consumo humano.

O desenvolvimento de técnicas de controle da erosão hídrica tem sido um dos objetivos da pesquisa em ciência do solo. Modelos matemáticos têm permitido prever as perdas de solo por erosão, avaliar o impacto dessas perdas sobre o ambiente e a eficiência de técnicas de controle da erosão.

Esses modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, como a Universal Soil Loss Equation (USLE), para modelos baseados em princípios teóricos, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP).

O WEPP é um modelo computacional de simulação contínua que permite a estimativa da perda e da deposição de solo e não apenas de sua perda média. Este modelo é baseado nos princípios físicos dos processos inerentes à erosão do solo (física do solo, crescimento de plantas, infiltração e hidráulica do escoamento), apresentando várias vantagens sobre os modelos empíricos, pois considera os efeitos das mudanças de uso do solo e também modela a variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam os processos hidrológicos e erosivos que ocorrem em uma encosta.

No WEPP, o processo de erosão hídrica pode ser dividido em erosão em entressulcos e em sulcos, dependendo das condições

superficiais em que ocorre e qual agente erosivo predomina. A predominância do agente erosivo pode ser caracterizada por meio da energia de impacto das gotas de chuva, caracterizando a erosão entressulcos, ou pela tensão cisalhante do escoamento superficial no desprendimento de partículas, caracterizando a erosão em sulcos.

O desencadeamento desses processos e a intensidade dos mesmos dependerão da susceptibilidade do solo a esses tipos de erosão, da capacidade erosiva da chuva (impacto das gotas) e do escoamento superficial (tensão de cisalhamento), além de outros fatores tais como o comprimento, a forma e a declividade da encosta, bem como sistema de manejo adotado e do tipo de cobertura do solo.

A maioria dos modelos de predição da erosão foram desenvolvidos e seus parâmetros ajustados para condições de clima temperado, condições estas bem diferentes do clima tropical, tornando-se importante a verificação da aplicabilidade destes modelos para outras condições. AMORIM (2004) realizou análises de sensibilidades para diversos parâmetros de entrada do modelo WEPP, para as condições edafoclimáticas brasileiras, verificando que a erodibilidade entressulcos, a erodibilidade no sulco, a tensão cisalhante crítica e a condutividade hidráulica efetiva foram os parâmetros para os quais o WEPP apresentou maiores sensibilidades.

Tendo em vista a necessidade de obtenção de dados e de calibração de parâmetros do modelo WEPP ou das equações utilizadas na determinação dos mesmos para melhorar a precisão das estimativas de perdas de solo e de água para as condições edafoclimáticas da região de Viçosa-MG, objetivou-se neste trabalho: i) avaliar as perdas de solo e de água em parcelas experimentais submetidas às condições de chuvas naturais em Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico por um período de cinco safras agrícolas; ii) comparar os parâmetros de erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ), erodibilidade no sulco ( $K_r$ ), tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ ) e condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ), obtidos experimentalmente com os valores gerados no WEPP; e iii) validar o WEPP por meio da comparação das perdas de solo e de água obtidas em parcelas experimentais sob condições de chuva natural com as estimadas utilizando-se os valores dos parâmetros de solo ( $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ ) obtidos experimentalmente como dado de entrada no modelo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Erosão hídrica**

No sentido físico, a erosão hídrica significa a realização de um trabalho. A força erosiva, decorrente de uma chuva ou do escoamento superficial a ela associado, age contra uma força resistiva, o solo, para provocar movimento em um corpo, no caso, as partículas do solo (COGO e BERTOL, 1998).

A chuva realiza o trabalho erosivo em função do impacto das gotas diretamente sobre o solo, sendo, portanto, uma força aplicada perpendicularmente à sua superfície, enquanto o escoamento superficial realiza o trabalho erosivo pela ação de cisalhamento, sendo, deste modo, uma força aplicada tangencialmente à superfície do solo.

#### **2.1.1. Processos ou fases da erosão hídrica**

Cogo e Bertol (1998) explicam que o processo de erosão hídrica compreende três fases distintas: desagregação, transporte e deposição. A desagregação é a primeira fase do processo erosivo e consiste no desprendimento das partículas de solo da massa que as contém, pela ação do impacto das gotas da chuva e, ou, pela ação do escoamento superficial, ou seja, pela energia cinética da água da chuva. As partículas desagregadas salpicam com as gotículas de água e retornam à superfície, obstruindo a porosidade superficial e reduzindo a capacidade do meio em permitir a infiltração de água.

Quando a intensidade da chuva passa a ser maior do que a taxa de infiltração, inicia-se a segunda fase do processo, o transporte, consistindo na transferência das partículas de solo desagregadas de seu local de origem para outro local, seja pelo salpicamento decorrente do impacto das gotas da chuva ou pelo escoamento superficial. A maior parte do transporte de solo é realizado pelo escoamento superficial, sendo dependente do volume, turbulência e velocidade do escoamento superficial.

Quando a quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial é maior do que sua capacidade de transporte (COGO e BERTOL, 1998) e, ou, a velocidade do escoamento superficial é reduzida devido à rugosidade da superfície do solo, aos caules de plantas, aos resíduos de culturas, ao decréscimo da declividade da encosta e à menor frequência do impacto das gotas da chuva (AGASSI, 1996), os sedimentos em suspensão transportados pelo escoamento podem ser depositados na superfície do solo, caracterizando a terceira fase do processo erosivo.

De acordo com Agassi (1996), o processo de deposição é altamente seletivo, sendo dependente da profundidade do escoamento superficial e da turbulência do escoamento promovida pelo impacto das gotas da chuva.

A velocidade de sedimentação de um agregado ou partícula primária é função do seu tamanho, da sua forma e da sua densidade. Para dado tamanho de sedimento, contido no escoamento, a taxa de deposição é diretamente proporcional a sua concentração e a sua densidade, e inversamente proporcional a sua velocidade (HAIRSINE e ROSE, 1991).

### **2.1.2. Problemas relacionados à erosão do solo**

Na erosão natural, o solo encontra-se sob cobertura vegetal nativa e as perdas ocorrem de maneira lenta e gradual. Este tipo de erosão tem ocorrido por milhares de anos. Na erosão acelerada, ocorre a interferência antrópica, causada pela remoção da cobertura vegetal e pela introdução de espécies vegetais de interesse agrícola, geralmente monoculturas, tornando a estrutura do solo vulnerável à ação de ventos e de chuvas.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) salientam que a erosão antrópica ou acelerada é resultante da ocupação inadequada dos solos por atividades

agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos, devido às condições de solo induzidas ou modificadas pelo homem.

Como destaca Pereira et al. (2003), quando se usa o termo ação antrópica no processo erosivo, o homem não é um agente direto. Sua participação no processo ocorre propiciando as condições favoráveis para que outros agentes, como é o caso da água, atue de modo direto. São exemplos deste tipo de atuação o desmatamento e a expansão urbana desordenada.

As condições mais favoráveis à erosão estão presentes em solos sem cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados por meio do preparo mecanizado, trazendo como efeitos o aumento da degradação do solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial (MARQUES, 1995).

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de acarretarem empobrecimento gradativo dos solos agrícolas, geram também assoreamento e contaminação dos mananciais (PARANÁ, 1989).

Com isso, a erosão hídrica tem sido uma das principais causas de redução da produtividade das terras agrícolas, podendo, inclusive, resultar no abandono de áreas anteriormente produtivas. Além disso, acarreta a elevação dos custos de produção, uma vez que aumenta a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduz a capacidade operacional das máquinas agrícolas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993; PARKER et al., 1995).

### **2.1.3. Formas de erosão hídrica**

De acordo com Foster (1982), a erosão hídrica pode ocorrer nas seguintes formas: entressulcos ou laminar, sulcos e voçorocas. Essa classificação está relacionada ao aumento progressivo da concentração do escoamento superficial no solo. A erosão entressulcos caracteriza-se pela remoção de camadas delgadas da superfície do solo pela ação de pequena lâmina de escoamento superficial, sendo por isso menos perceptível.

A erosão em sulcos é mais facilmente perceptível, devido à formação de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz com que o escoamento superficial concentre-se nos pontos mais baixos, atingindo volume e velocidade suficientes para desprender partículas de solo e formar canais mais ou menos profundos. Neste tipo de erosão, os sulcos ainda podem ser desfeitos por máquinas de preparo do solo. Segundo Foster (1982), a erosão em sulco é caracterizada quando a profundidade do sulco formado não ultrapassa 300 mm.

A erosão do tipo voçoroca assinala-se pelo deslocamento de grande quantidade de solo, devido à expressiva concentração de escoamento superficial, que leva à formação de canais de grandes dimensões (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993).

Sabe-se que o transporte por salpico é mais importante na erosão laminar, enquanto que o transporte por escoamento superficial predomina na erosão em sulcos (KINNELL, 1993b; MERMUT et al., 1997). Embora o salpico contribua em menor escala com o transporte das partículas na erosão em sulcos, Young e Wiersma (1973) verificaram que o total de solo transportado por salpico é positivamente correlacionado com o total de solo erodido.

#### **2.1.4. Fatores que interferem no processo erosivo**

A intensidade de ocorrência da erosão é dependente de vários fatores tais como: declividade, capacidade de infiltração de água no solo, distância percorrida pelo escoamento superficial, rugosidade do terreno, cobertura do solo, erodibilidade do solo, além do uso e manejo do solo e das práticas conservacionistas adotadas na área (LAL, 1994).

Com relação ao solo, sabe-se que quanto maior a estabilidade dos seus agregados, maior a capacidade de infiltração e, portanto, menor suscetibilidade à erosão. Por outro lado, quanto maior a declividade e o comprimento da encosta, tanto maior a velocidade e vazão do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior perda de solo. Da mesma forma, quanto menos protegida estiver a superfície do solo pela cobertura vegetal, mais o solo estará propenso a erosão (PRUSKI, 1997).

Bertol (1994) afirma que o intenso preparo do solo causa degradação das suas propriedades físicas da superfície e da subsuperfície, tais como a estrutura, a densidade e a macroporosidade, alterando o comportamento do solo em relação à infiltração da água, ao escoamento superficial e à suscetibilidade a erosão hídrica. O autor enfatiza que, de modo geral, o aumento do número de operações, principalmente com equipamentos de preparo secundário do solo, diminui a rugosidade e a porosidade total da camada preparada. Como consequência há o aumento da desagregação e da quantidade de solo disponível ao transporte (COGO, 1981), facilitando a formação de sulcos e elevando as perdas de solo (BERTOL et al., 1987).

Em contrapartida, a incorporação ao solo de grande quantidade de resíduos resistentes ao fracionamento e ao transporte, pode reduzir expressivamente as perdas (FOSTER et al., 1982). Isso se deve, sobretudo, ao efeito mecânico do “ancoramento” do resíduo vegetal no solo, o que evita seu transporte pelo escoamento superficial e, também, ao efeito biológico sobre sua estruturação, decorrente da mineralização. Assim, é possível que preparos do solo mais intensos, que promovam a incorporação de grande quantidade de resíduos culturais, apresentem resistência à erosão semelhante aos preparos menos intensos (BERTOL, 1994).

A quantidade e o tamanho dos sedimentos transportados no escoamento superficial são funções da velocidade do escoamento superficial e da sua turbulência, os quais, por sua vez, são influenciados pela rugosidade superficial, pela declividade e cobertura do solo. O agente de transporte mais importante no processo de erosão hídrica é o escoamento superficial (MEYER e WISCHMEIER, 1969). O aumento da porcentagem de cobertura do solo por resíduo serve como uma barreira física, aumentando a tortuosidade do escoamento e impedindo que a água escoe livremente (MEYER e MANNERING, 1971).

### **2.1.5. Evolução dos modelos de predição de erosão hídrica**

Em sua fase inicial, no final do século XIX até meados do século XX, a ciência da erosão se limitava ao entendimento e à descrição qualitativa

dos principais fatores que afetam o processo erosivo (COOK ,1936; LAWS, 1940; ELLISON 1947).

O pioneiro da definição dos principais fatores intervenientes no processo erosivo, tais como erodibilidade do solo, erosividade da chuva e do escoamento superficial e proteção da cobertura vegetal, foi Cook em 1936, observando a complexidade do fenômeno erosivo, inclusive a independência de escala dos processos hidrológicos e sedimentológicos dentro de uma bacia hidrográfica. Cook (1936) e Ellison (1947) foram os primeiros a separar o termo “erosividade” em termos de capacidade de desprendimento e transporte propondo, inclusive, funções para cada um deles.

Os trabalhos experimentais desenvolvidos no Meio-Oeste dos EUA durante o período 1940-1954 resultaram em equações de perda de solo que incluíam os efeitos do comprimento e da declividade da rampa, de práticas conservacionistas e de fatores de uso e manejo do solo. Em 1946, um comitê dos EUA reuniu-se com a finalidade de revisar os fatores da última equação gerada e os dados existentes no país e, após incluir o fator chuva, deu-se origem a uma nova equação de perda de solo, conhecida como equação de Musgrave (1947). Anos mais tarde, 1954-1965, um esforço de agências de pesquisa e extensão dos EUA, através de revisão das equações, resultou em um novo modelo empírico denominado Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Proposta por Williams, em 1975, a modificação da USLE (MUSLE) torna-se aplicável a eventos isolados, sendo a perda de solo obtida com base no escoamento superficial. Para obter o volume escoado superficialmente e a vazão de pico, é recomendável a aplicação das metodologias do número da curva e do hidrograma unitário triangular, desenvolvidas pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS – USDA) (SILVA e PRUSKI, 1997). A MUSLE exhibe um maior aperfeiçoamento no cálculo do fator hidrológico, permanecendo os outros parâmetros idênticos aos da USLE.

Em 1987, o Serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, conjuntamente com o Serviço de Pesquisa na Agricultura e com outros organismos, começou a revisar a USLE. O

resultado ficou conhecido como Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), a qual, entre outras modificações, incorpora o conceito de vários valores do fator K ao longo do ano agrícola, um novo método para o cálculo do fator C e outro para o cômputo do fator P (RENARD et al., 1991). Segundo Renard et al. (1994), a RUSLE tem melhor comportamento que a USLE em solos que são cultivados aplicando-se técnicas de preparo conservacionistas, como o plantio direto.

Na metade da década de 1980, o United States Department of Agriculture (USDA) iniciou o Water Erosion Prediction Project (WEPP) visando desenvolver uma nova geração de tecnologias para predição da erosão hídrica.

## **2.2. Water Erosion Prediction Project – WEPP**

O WEPP é um pacote tecnológico para estimativas das perdas de solo baseado nos princípios físicos do processo de erosão, desenvolvido nos Estados Unidos numa iniciativa interinstitucional, envolvendo as seguintes instituições: Agricultural Research Service, Soil Conservation Service, Forest Service in the Department of Agriculture e Bureau of Land Management in the US Department of the Interior (LAFLEN et al., 1991; UNITED... – USDA, 1995). Tal pacote teve como objetivo elaborar tecnologia para planejamento ambiental e conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos resultantes de práticas de manejo dos solos usados para produção agrícola, pastagens e áreas florestais na erosão.

O WEPP consiste em um modelo dinâmico de simulação que incorpora conceitos de erosão entressulcos e nos sulcos. Com sua utilização, os processos que ocorrem em uma determinada área em função do estado atual do solo, da cobertura vegetal, dos restos culturais e da umidade do solo podem ser simulados. Para cada dia, as características do solo e da cobertura vegetal são atualizadas. Quando ocorre uma chuva, baseando-se nas características atuais do terreno, determina-se se haverá produção de escoamento superficial. Se houver, o modelo estima a desagregação, o transporte e a deposição de partículas ao longo da

encosta, porém não contempla a erosão em grandes voçorocas e cursos d'água perenes (LANE et al., 1992).

O WEPP é apresentado em três versões: encosta, malha e bacia hidrográfica. A versão para encosta é substituição direta da USLE, acrescentando-se a capacidade de estimar a deposição de sedimentos ao longo do terreno. A versão para bacias hidrográficas possibilita a determinação do desprendimento, do transporte e da deposição de sedimentos ao longo das diversas encostas até os cursos d'água. A versão malha é aplicável para áreas nas quais os limites não coincidem com os limites da bacia.

Para as três versões, o WEPP é dividido em diversos componentes que consistem na parametrização dos processos que regulam o fenômeno erosivo: componente erosão do solo, componente hidrológico, componente crescimento de planta e decomposição de resíduos, componente balanço hídrico, componente hidráulica do escoamento superficial e componente do solo.

### 2.2.1. Componente erosão do solo

No componente erosão do solo do WEPP, ocorre a quantificação dos processos de desprendimento, de transporte e de deposição de partículas de solo. Para essa quantificação, são utilizadas as equações apresentadas na seqüência que descrevem o movimento das partículas em uma vertente, considerando-se condições de regime permanente (FLANAGAN et al., 1995).

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_r \quad (2.1)$$

em que

$G$  = carga de sedimentos,  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$ ;

$x$  = distância percorrida pelo escoamento superficial, m;

$D_i$  = taxa de liberação de sedimentos nas áreas entressulcos,  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ; e

$D_r$  = taxa de liberação de sedimentos em sulcos,  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$ .

O sedimento advindo da erosão entressulcos ( $D_i$ ) é considerado independente de  $x$  e é sempre positivo. No caso da erosão em sulcos ( $D_r$ ), pode ser positivo se houver desprendimento e negativo se houver deposição. A taxa de liberação de sedimentos em áreas entressulcos ( $D_i$ ) é calculada pela equação 2.2, proposta por Flanagan et al. (1995).

$$D_i = C_i K_i S_f I_p^2 G_e \quad (2.2)$$

em que

$C_i$  = parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão entressulcos, adimensional;

$K_i$  = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo entressulcos,  $\text{kg m}^{-4} \text{s}$ ;

$S_f$  = fator de ajuste relativo à declividade, adimensional;

$I_p$  = intensidade de precipitação,  $\text{m s}^{-1}$ ; e

$G_e$  = parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo na erosão entressulcos, adimensional.

A taxa de liberação de sedimentos nos sulcos ( $D_r$ ) é calculada para os casos em que a tensão cisalhante do escoamento excede a tensão cisalhante crítica do solo e quando a carga de sedimentos for menor que a capacidade de transporte do escoamento. O valor de  $D_r$  é obtido com base na equação 2.3, apresentada por Flanagan et al. (1995):

$$D_r = K_r (\tau - \tau_c) \left( 1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad (2.3)$$

em que

$K_r$  = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo no sulco,  $\text{kg N}^{-1} \text{s}^{-1}$ ;

$\tau$  = tensão cisalhante do escoamento superficial sobre as partículas de solo,  $\text{N m}^{-2}$ ;

$\tau_c$  = tensão cisalhante necessária para a ocorrência da liberação de partículas,  $\text{N m}^{-2}$ ; e

$T_c$  = capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento,  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$ .

$K_i$ ,  $K_r$  e  $\tau_c$  são parâmetros de entrada exigidos pelo WEPP, obtidos com base em atributos do solo como granulometria e conteúdo de matéria orgânica.

Quando a carga de sedimentos a ser carregada é maior que a capacidade de transporte do escoamento ocorre a deposição, quantificada utilizando-se a seguinte equação:

$$D_r = \frac{\beta V_f}{q} (T_c - G) \quad (2.4)$$

em que

$\beta$  = coeficiente de turbulência induzida pelo impacto das gotas da chuva (no modelo WEPP assume-se  $\beta$  igual a 0,5);

$V_f$  = velocidade efetiva de queda (deposição) para o sedimento,  $m\ s^{-1}$ ; e

$q$  = vazão de escoamento por unidade de largura do sulco,  $m^3\ m^{-1}\ s^{-1}$ .

## 2.2.2. Componente hidrológico

O processo de erosão é resultado direto das forças e energias envolvidas nos processos hidrológicos. O impacto e a magnitude destas forças são afetados pelas características da cultura acima e abaixo da superfície do solo, pelas condições do solo em superfície e subsuperfície e pela topografia do terreno. O componente hidrológico do WEPP é composto de três outros componentes, sendo eles: clima, inverno e hidrologia de superfície e subsuperfície.

Para aplicação do componente clima do WEPP é necessário o uso de dados climáticos diários, os quais normalmente não são facilmente disponíveis. Em função disto, o WEPP utiliza o programa CLIGEN (gerador climático estocástico) para geração dos dados climáticos necessários. Para executar o programa CLIGEN é necessário conhecer parâmetros que descrevem as condições climáticas locais, incluindo: média, desvio padrão e coeficiente de assimetria da precipitação total diária, probabilidades mensais de ocorrência de dias com chuva após dias com chuva e de ocorrência de

dias sem chuva após dias com chuva, média e desvio padrão das temperaturas máxima e mínima mensal, média e desvio padrão da radiação solar mensal, média mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos, média mensal da temperatura do ponto de orvalho e a distribuição estatística do tempo decorrido do início do evento ao pico de intensidade máxima. Esses parâmetros de entrada do CLIGEN são utilizados para estimar, diariamente, a duração e a lâmina total precipitada, o tempo de pico em relação à duração da precipitação, a intensidade de pico, as temperaturas mínima e máxima, a temperatura do ponto de orvalho, a direção e a velocidade do vento.

O componente de hidrologia de superfície e subsuperfície possui uma seqüência de cálculos que incluem infiltração, excesso de precipitação, acúmulo de água em depressões e pico de escoamento. A infiltração é determinada a partir da equação de Green-Ampt modificada por Mein-Larson (GAML). A diferença entre a intensidade de precipitação, a taxa de infiltração e o volume de armazenamento superficial é considerada escoamento superficial. A taxa de pico do escoamento superficial é determinada utilizando-se a equação de ondas cinemáticas (STONE et al., 1995):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i_i - T_i \quad (2.5)$$

em que

$h$  = lâmina de escoamento, m;

$t$  = tempo, s;

$i_i$  = intensidade instantânea de precipitação,  $m\ s^{-1}$ ; e

$T_i$  = taxa de infiltração da água no solo,  $mm\ h^{-1}$ .

O componente de inverno engloba o congelamento do solo, a acumulação e o derretimento de neve, e não se aplica nas condições tropicais.

### 2.2.3. Componente crescimento de planta e decomposição de resíduos

As condições de cobertura vegetal e de resíduos culturais abaixo e acima da superfície do solo são essenciais para a estimativa do desprendimento e transporte de partículas do solo. Diversos são os parâmetros de entrada exigidos pelo WEPP na determinação deste componente, dentre os quais: altura e cobertura da copa, biomassa de material vegetal vivo e morto acima e abaixo da superfície do solo, índice de área foliar (IAF), área basal da planta, práticas de manejo e uso do solo, bem como a data em que as mesmas foram executadas, entre outras.

### 2.2.4. Componente balanço hídrico

O balanço de água no solo é crucial para a estimativa da infiltração, do escoamento superficial e da tensão cisalhante do escoamento superficial. Este componente utiliza informações dos componentes de clima, de crescimento de planta e de infiltração para estimativa da evapotranspiração potencial e evaporação da água do solo. A partir destas informações, no componente de balanço hídrico do WEPP é realizado o balanço diário de água no solo, utilizando-se a seguinte equação (SAVABI e WILLIAMS, 1995):

$$\theta = \theta_{in} + (P - I) \pm S - Q - ET - D - Q_d \quad (2.6)$$

em que

$\theta$  = conteúdo de água do solo na zona radicular em dado dia, m;

$\theta_{in}$  = conteúdo inicial de água do solo na zona radicular, m;

P = precipitação acumulada, m;

I = interceptação da precipitação pela vegetação, m;

S = conteúdo de água em forma de neve, m;

Q = escoamento superficial acumulado, m;

ET = evapotranspiração acumulada, m;

D = perda acumulada de água por percolação abaixo da zona radicular, m; e

$Q_d$  = escoamento lateral sub-superficial, m.

### **2.2.5. Componente hidráulica do escoamento superficial**

Neste componente é calculada a tensão cisalhante do escoamento superficial. Uma parte da energia da tensão cisalhante do escoamento age no solo podendo causar o desprendimento de partículas e a outra parte atua nos resíduos expostos na superfície, não sendo, portanto, ativa no desprendimento de partículas. A porção da tensão de cisalhamento que age no solo e pode causar erosão é proporcional à taxa do coeficiente de atrito para o solo em relação ao coeficiente total de atrito (solo mais cobertura) (GILLEY e WELTZ, 1995).

De acordo com Laflen et al. (1991), um problema particular da aplicação deste componente é a representação de diferentes tipos de solo e faixas de cobertura do solo ao longo da encosta e seus efeitos. Os parâmetros relativos a resíduos das culturas assumem grande importância neste componente, influenciando diretamente no coeficiente de rugosidade, promovendo, desta forma, redução da energia do escoamento superficial e conseqüentemente, da taxa de desprendimento no sulco e da capacidade de transporte do escoamento.

### **2.2.6. Componente solo**

As propriedades do solo influenciam nos processos envolvidos na erosão hídrica do solo, tais como: infiltração, escoamento superficial, desprendimento e transporte de sedimentos. Neste componente são consideradas as mudanças temporais nas propriedades do solo (rugosidade randômica, densidade do solo, condutividade hidráulica, tensão cisalhante crítica e fatores de erodibilidade no sulco e entressulcos) decorrentes do efeito das práticas de manejo do solo, consolidação, precipitação e variáveis de superfície (LAFLEN et al., 1991).

### **2.3. Avaliação e validação de modelos**

Conforme Cassol e Lima (2003), a validação de uso de modelos de predição da erosão hídrica do solo baseados em processos físicos fundamentais necessita de informações sobre os valores de seus parâmetros obtidos em condições locais. Corroborando com os autores supracitados, Martins Filho et al. (2004) e Amorim (2004) alertam que a avaliação de um modelo de erosão é uma etapa de suma importância para a consolidação de uma ferramenta para predição da erosão. No entanto, não se tem dado muita atenção a essa etapa no processo de desenvolvimento dos modelos.

De acordo com Amorim (2004), a avaliação é de fundamental importância para a realização do refinamento do modelo e para a identificação de pontos que necessitam de modificações e, ou, maior cuidado na obtenção dos parâmetros de entrada, principalmente quando se pretende aplicá-los para localidades diferentes das quais foram desenvolvidos.

Dentre os diferentes parâmetros de entrada do modelo WEPP, os que merecem maiores investigações são: erodibilidades entressulcos e no sulco, condutividade hidráulica e tensão cisalhante crítica, tendo em vista que os equacionamentos utilizados para a estimativa desses parâmetros não se mostram adequados para condições de solos brasileiros (AMORIM, 2004).

### **2.4. Erodibilidade do solo e condutividade hidráulica efetiva**

O comportamento do solo diante do processo erosivo é comumente referido na literatura como fator de erodibilidade do solo, que representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e a resistência ao transporte pelo escoamento superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo diante dos processos erosivos (LAL, 1988).

De acordo com Bastos (1999), a erodibilidade pode ser definida como a propriedade do solo que expressa a maior ou menor facilidade com que suas partículas são desprendidas por um agente erosivo.

Segundo Lombardi Neto e Bertoni (1975) a erodibilidade é uma propriedade (fator intrínseco) do solo que reflete a perda diferencial que os solos apresentam quando os fatores extrínsecos ao solo permanecem constantes. Como fatores intrínsecos aos solos são considerados as propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas do solo. Entre os fatores extrínsecos ao solo tem-se o comprimento, a forma e a declividade da encosta, além do sistema de manejo adotado e o tipo de cobertura do solo.

A condutividade hidráulica efetiva é o parâmetro fundamental na determinação da taxa de infiltração no modelo WEPP, sendo utilizada para tal determinação a equação de Green-Ampt. A condutividade hidráulica efetiva é calculada internamente no WEPP como uma função do tipo de solo, do teor de umidade e da densidade do solo (ALBERTS et al., 1995).

#### **2.4.1. Fatores que interferem na erodibilidade do solo**

Nogami e Villibor (1995) salientam que a erodibilidade é dependente, dentre outras, de características como a granulometria e a constituição mineralógica do solo, a estrutura, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e a coesão entre partículas.

A textura é um dos fatores de caráter físico que influi na quantidade de solo arrastado pela erosão. Segundo Ferreira (1992), a distribuição do tamanho de partículas é um dos maiores determinantes da erodibilidade. A estrutura influencia a resistência do solo à erosão através das propriedades físico-químicas da argila, que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água, e de propriedades biológicas devido à presença de matéria orgânica humificada. A maior força de coesão das partículas nos solos argilosos torna estes solos mais resistentes à erosão.

A matéria orgânica modifica a estrutura do solo, propiciando melhores condições de arejamento e de retenção de água. Nos solos arenosos, promove a aglutinação de partículas, diminuindo o diâmetro dos

poros, aumentando assim a capacidade de retenção de água e diminuindo a suscetibilidade deste solo à erosão. Os óxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita) são considerados agentes indicadores de propriedades (permeabilidade e coesão do solo) que influenciam a erodibilidade dos solos, pois funcionam como agentes floclantes, diminuindo a coesão entre partículas e, conseqüentemente, modificando a estrutura e a permeabilidade do solo (CORRECHEL, 2003).

#### **2.4.2. Complexidade e importância da determinação da erodibilidade**

Conforme Bastos (1999), a erodibilidade é uma das características mais complexas do solo, em virtude do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

No Brasil, com relação ao estudo da erosão, a erodibilidade do solo constitui-se no parâmetro de maior custo e morosidade para determinação, tendo em vista a extensão do território e a diversidade pedológica evidenciada no país (DENARDIN, 1990).

As condições experimentais, como as características do simulador de chuvas, a qualidade da água de chuva, o tamanho da parcela experimental e a variabilidade espacial das propriedades do solo, são de extrema importância na qualidade dos resultados, não sendo, freqüentemente, os mesmos de um estudo para outro (AGASSI e BRADFORD, 1999).

A obtenção da erodibilidade do solo no modelo WEPP inclui: a obtenção em parcelas experimentais com o uso de simuladores de chuvas; o uso de modelos; e a busca de relações entre a erodibilidade dos solos e outras propriedades, o desenvolvimento de técnicas e ensaios e de critérios de avaliação da erodibilidade (DENARDIN, 1990; REICHERT et al. 2001; CASSOL e LIMA, 2003; MARTINS FILHO et al., 2004; CASSOL et al., 2004; CANTALICE et al., 2005).

## **2.5. Determinação da erodibilidade utilizando a metodologia do WEPP**

A determinação da erodibilidade do solo em estudos da erosão nos sulcos e nos entressulcos, usando-se a metodologia do modelo WEPP, prevê três períodos de testes (ELLIOT et al., 1989).

No primeiro período, utilizando-se apenas chuva, é avaliada a erodibilidade em entressulcos. No segundo período, com a aplicação de vazões extras na extremidade superior do sulco juntamente com a chuva artificial, determina-se a erosão em sulcos e, com a contribuição de sedimentos oriundos da região, em entressulcos. No terceiro período, são aplicadas somente vazões extras, obtendo-se os dados para a determinação da erodibilidade em sulcos e da tensão cisalhante crítica sem a contribuição de sedimentos provindos da área em entressulcos.

Nesse procedimento, usando as vazões extras no mesmo sulco, cada vazão permanece no sulco somente o tempo necessário para estabilizar o escoamento e para realizar as determinações (ELLIOT et al., 1989), a fim de evitar que o escoamento atinja a camada não-arada (FRANTI et al., 1985; CASSOL e LIMA, 1998), o que inviabilizaria a determinação da erodibilidade em sulcos na condição de máxima suscetibilidade à erosão do solo.

As vazões extras são aplicadas no segundo e no terceiro períodos, todas no mesmo sulco, seqüenciadas das menores para as maiores vazões. Entretanto, essas etapas foram simplificadas por outros autores. West et al. (1992), Brown e Norton (1994) e Cassol e Lima (1998) umedeceram o solo e, posteriormente, aplicaram as vazões extras sem chuva, enquanto Braida e Cassol (1996a, 1996b) e Giasson e Cassol (1996) usaram um sulco para cada vazão.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas distintas. A primeira, correspondente à determinação das perdas de solo e de água em parcelas experimentais sob condições de chuvas naturais. A segunda, referente à determinação da erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ), erodibilidade no sulco ( $K_r$ ), tensão cisalhante crítica do solo ( $\tau_c$ ) e condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ), sob condições de chuvas simuladas, utilizando metodologia do WEPP. A terceira, referente à estimativa das perdas de solo e de água pelo modelo WEPP utilizando os dados obtidos na segunda etapa. E na quarta etapa foi feita a comparação dos resultados encontrados com as perdas de solo e de água determinadas na primeira etapa do trabalho, a fim de verificar a validação do modelo WEPP para as condições estudadas.

#### **3.1. Determinação das perdas de solo e de água**

Foram implantadas seis parcelas experimentais na parte inferior de uma encosta localizada na Unidade de Conservação de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (MG) em solo do tipo Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico, para monitoramento das perdas de solo e de água sob condições de chuvas naturais durante cinco safras agrícolas (2002/2003 a 2006/2007). Cada parcela possuía tipo de preparo e de cobertura do solo diferenciados, contemplando os seguintes tratamentos (Figura 3.1): SMA - solo preparado de forma convencional (uma aração e duas gradagens) e cultivado com



Figura 3.1. Parcelas experimentais para monitoramento das perdas de solo e de água sob condições de chuva artificial.

soja, ambos realizados no sentido do declive; DMA - solo descoberto com preparo convencional no sentido do declive; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível.

O milho foi plantado no espaçamento de 0,80 m x 0,20 m, totalizando uma população de 62.500 plantas ha<sup>-1</sup> e a soja com espaçamento de 0,50 m x 0,05 m, totalizando 400.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação foi realizada visando a obtenção de uma produtividade média de 7 t ha<sup>-1</sup> e 3 t ha<sup>-1</sup> para as culturas do milho e da soja, respectivamente (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1999).

### **3.1.1. Descrição das parcelas experimentais**

As parcelas experimentais, com declividades médias variando de 15,0 a 19,2%, conforme Apêndice A, foram compostas das seguintes partes: i) área de captação da chuva, com dimensão de 3,50 m de largura e 11 m de comprimento, delimitada com chapas galvanizadas de 0,25 m de altura, com aproximadamente 0,10 m enterrados no solo (Figura 3.1); ii) calha coletora e tubo de PVC instalados na parte inferior da parcela (Figura 3.1) para condução do escoamento superficial para a estrutura de coleta das perdas de solo e de água; e iii) estrutura de coleta posicionada na extremidade inferior da área experimental, composta por um sistema de filtragem, no qual os sedimentos transportados pelo escoamento superficial eram retidos no filtro (Bidim OP 30) e o escoamento superficial era conduzido para uma caixa retangular, construída de chapa de aço galvanizada (Figura 3.2). Esta caixa apresentava na sua extremidade final um vertedor triangular, utilizado para a medição da vazão de escoamento superficial, sendo a altura de lâmina vertente registrada por meio do equipamento denominado Thalimedes (Figura 3.3), em intervalos de um minuto, instalado na própria caixa a uma distância de aproximadamente 0,30 m a montante do vertedor.

### **3.1.2. Determinação da precipitação, do escoamento superficial, do coeficiente de escoamento e das perdas de solo**

A precipitação total, bem como sua distribuição temporal, foi registrada em pluviógrafo do tipo pulso (Figura 3.4a) instalado na área experimental, o qual estava conectado a um “Datalogger” (Figura 3.4b) que armazenava o número de pulsos no coletor a cada dois minutos, permitindo assim a avaliação das perdas de solo e de água em função de diferentes durações e intensidades de precipitação.

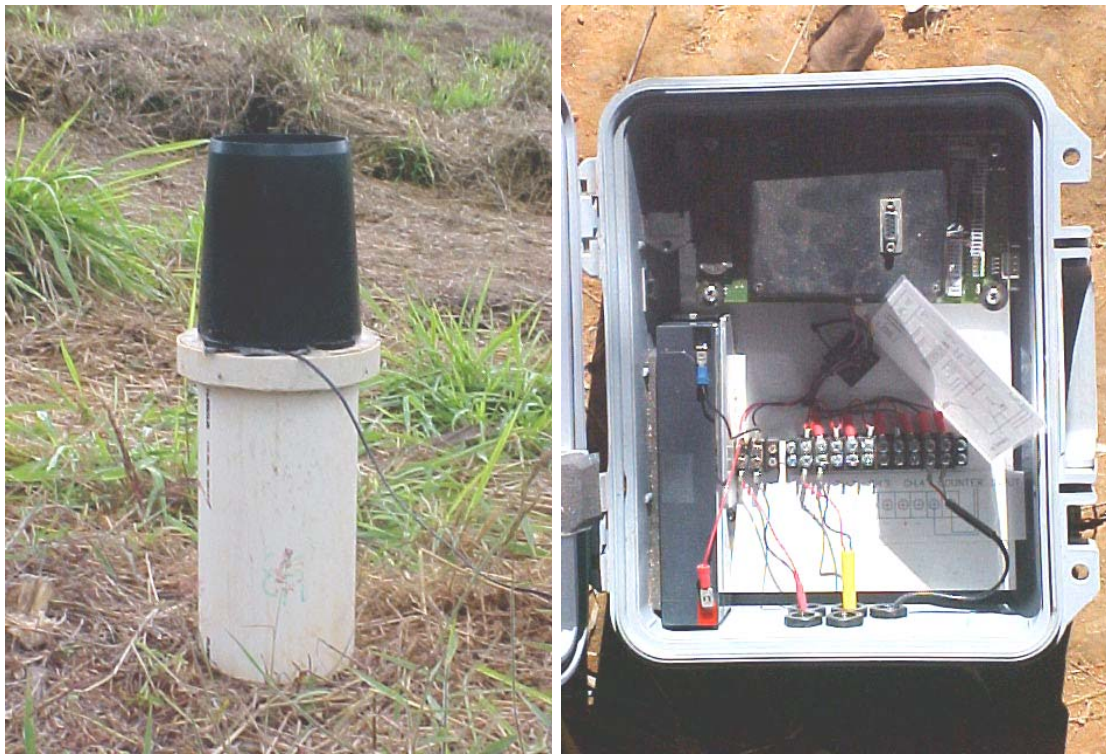
Foi realizada a calibração do Thalimedes instalado na caixa após o sistema de filtragem do escoamento superficial (Figura 3.2), de maneira que se tinha o volume de escoamento em função da leitura no Thalimedes, a qual era registrada a cada minuto.



Figura 3.2. Estrutura de coleta das perdas de solo e de água e monitoramento do escoamento superficial.



Figura 3.3. Detalhes da altura de lâmina vertente obtida por meio do sensor de nível (a) do equipamento Thalimedes (b).



(a)

(b)

Figura 3.4. Pluviógrafo do tipo pulso (a) utilizado na aquisição de dados de precipitação conectado ao “Datalogger” (b).

A lâmina de escoamento superficial foi obtida pela relação entre o volume total escoado e a área da parcela experimental.

$$L_{esc} = \frac{V_{esc}}{A} \quad (3.1)$$

em que

$L_{esc}$  = lâmina total de escoamento superficial, mm;

$V_{esc}$  = volume total de escoamento superficial, L; e

$A$  = Área da parcela experimental,  $m^2$ .

De posse dos dados de lâmina de escoamento superficial e da lâmina precipitada em cada evento de chuva, obteve-se o coeficiente de escoamento superficial utilizando-se a seguinte equação:

$$C_{esc} = \frac{L_{esc}}{L_{Ppt}} \quad (3.2)$$

em que

$C_{esc}$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional; e

$L_{Ppt}$  = lâmina precipitada, mm.

As perdas de solo foram quantificadas pelo método direto (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990), por meio da coleta dos sedimentos transportados juntamente com o escoamento superficial até a estrutura de coleta, localizada a jusante de cada parcela experimental. Nesta estrutura de coleta colocou-se uma manta de bidim (Figura 3.5), previamente pesada e identificada, para possibilitar a coleta das partículas de solo transportadas pelo escoamento superficial durante a ocorrência das chuvas.

Cessada a chuva, o bidim com solo era retirado da estrutura de coleta e colocado para secar ao ar, por um período de quatro a cinco dias, para posterior determinação da sua massa seca. No ato da pesagem do solo, o mesmo era homogeneizado e retirado amostras para determinar a umidade residual do solo para, com isso, possibilitar a determinação da massa do solo seco. O restante do solo que ficava no bidim era levado, juntamente com o bidim, para uma estufa de circulação de ar, sob temperatura de 65°C, por um período de 72 horas, para posterior determinação da massa seca. A quantificação dos sólidos em suspensão que passaram pelo material filtrante foi realizada a partir de uma correlação entre os dados de quantidade de sedimentos retidos e de sedimentos em suspensão obtidos por Pereira (1999). A massa total de solo seco foi obtida por meio do somatório do solo retido no material filtrante e do solo em suspensão que passou pelo filtro.

### **3.2. Determinação dos parâmetros do solo do modelo WEPP**

Os trabalhos para obtenção da erodibilidade entressulcos ( $K_i$ ), erodibilidade no sulco ( $K_r$ ), tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ ) e condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ) foram conduzidos em campo, no período de junho de 2005 a setembro de 2006, em duas áreas experimentais, pertencentes à



Figura 3.5. Manta de bidim que possibilitou a retenção e coleta das partículas de solo transportadas por escoamento superficial.

Universidade Federal de Viçosa (UFV). A primeira delas, no local onde foram instaladas as parcelas experimentais descritas no item 3.1 (Figura 3.6). A outra área, no município de Coimbra, localizada na Estação Experimental de Coimbra, pertencente ao Departamento de Fitotecnia, em solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, fase terraço, textura argilosa (Figura 3.7). Esses locais foram escolhidos por possuírem solos de grande importância agrícola para o Estado de Minas Gerais e por apresentarem diferenças expressivas, como pode ser constatado no Quadro 3.1, no que se refere às suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, que influenciam direta ou indiretamente nos valores dos parâmetros ( $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ ) em estudo.

### 3.2.1. Preparo do solo para determinação dos parâmetros

Após capina e remoção dos resíduos vegetais existentes nas áreas, foi realizado preparo convencional do solo, consistindo de uma aração com arado de discos na profundidade de preparo de 0,20 m e duas gradagens, com o objetivo de promover o destorroamento e regularização da superfície do solo. Todas as operações foram realizadas no sentido de maior declividade do terreno.



Figura 3.6. Vista da área experimental com Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico.



Figura 3.7. Vista da área localizada na Estação Experimental de Coimbra, com Argissolo Vermelho-Amarelo, fase terraço, textura argilosa.

Quadro 3.1. Propriedades físicas e químicas do Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico e do Argissolo Vermelho-Amarelo, fase terraço, textura argilosa, na profundidade de 0-20 cm

Propriedades	Unidade	Cambissolo	Argissolo
pH em água	-	4,94	5,20
P	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,7	4,4
K <sup>+</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	15	87
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,07	1,77
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,20	0,62
Al <sup>3+</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,48	0,29
H+Al	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,9	3,5
SB	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,31	2,61
CTC (t)	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,79	2,90
CTC (T)	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	6,11	4,21
MO	dag kg <sup>-1</sup>	2,35	4,17
V	%	31,1	42,7
m	%	26,8	10,0
P-rem	mg L <sup>-1</sup>	31,7	30,3
Zn	mg dm <sup>3</sup>	4,76	1,84
Fe	mg dm <sup>3</sup>	39,8	73,5
Mn	mg dm <sup>3</sup>	10,2	14,3
Cu	mg dm <sup>3</sup>	0,46	1,99
Areia total (0,050 – 2,00mm)	dag kg <sup>-1</sup>	51	34
Areia muito grossa (2,00 – 1,00mm)	dag kg <sup>-1</sup>	3	3
Areia grossa (1,00 – 0,50mm)	dag kg <sup>-1</sup>	9	5
Areia média (0,50 – 0,25mm)	dag kg <sup>-1</sup>	20	14
Areia fina (0,25 – 0,105mm)	dag kg <sup>-1</sup>	16	10
Areia muito fina (0,105 – 0,050mm)	dag kg <sup>-1</sup>	3	2
Silte (0,002 – 0,050mm)	dag kg <sup>-1</sup>	8	13
Argila total	dag kg <sup>-1</sup>	41	53
Argila dispersa em água	dag kg <sup>-1</sup>	34	43
Grau de Flocculação	%	17,07	18,87
Equivalente de umidade	kg kg <sup>-1</sup>	0,197	0,354
Relação Silte/Argila		0,195	0,245

Obs.: Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFV, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997)

Para cada localidade foram instaladas parcelas, delimitadas por chapas galvanizadas e confeccionados sulcos para determinação de  $K_i$ ,  $K_e$ ,  $K_r$  e  $\tau_c$ , sendo realizadas quatro repetições para cada parâmetro, seguindo a metodologia proposta pelo Serviço de Pesquisas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (ARS/USDA) (ELLIOT et al., 1989).

### 3.2.2. Determinação da erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ )

A erodibilidade em entressulcos, em cada localidade, foi determinada em quatro parcelas experimentais demarcadas com chapas galvanizadas, apresentando dimensões de 0,70 x 1,00 m, com a maior dimensão no sentido do declive, com 0,075 m m<sup>-1</sup> de declividade média, em solo descoberto e recentemente trabalhado, sendo as mesmas preparadas na forma de duas encostas com inclinação lateral de aproximadamente 30% (Figura 3.8), conforme metodologia proposta por Elliot et al. (1989). Nas parcelas experimentais, foi aplicada chuva artificial, com intensidade de aproximadamente 60 mm h<sup>-1</sup>, utilizando um simulador de chuvas desenvolvido por Alves Sobrinho (1997), equipado com bocais tipo *Veejet* 80.100 distanciados 2,30 m do solo, com uma pressão de trabalho, na saída dos bicos, ajustada para 35 kPa, durante 90 minutos.

A intensidade de precipitação média aplicada foi avaliada logo após o término de cada teste, por meio da interceptação da chuva artificial por um período de três minutos, utilizando-se uma caixa de coleta com área igual à das parcelas (0,70 m<sup>2</sup>) (Figura 3.9). O volume coletado foi obtido com o auxílio de uma proveta de 2.000 mL com precisão de 20 mL. O volume encontrado, em litros, foi dividido pela área da parcela e depois convertido para um período de 60 minutos, obtendo-se a intensidade em mm h<sup>-1</sup>. A intensidade observada foi então ajustada, para fins de cálculo da erodibilidade entressulcos, por meio de um fator de ajuste entre a intensidade observada e a intensidade planejada, que foi utilizada como referência.

A quantidade de sedimento transportado pelo escoamento superficial foi determinada pelo método direto, coletando o volume de escoamento e solo carregado, por um período de 30 segundos, a cada intervalo de dois minutos.

Para coleta do solo foi utilizado filtro de papel poroso, previamente pesado, colocado em armação de tela e apoiado em copo de plástico descartável (Figura 3.10). Tanto o filtro de papel quanto o copo eram identificados com o número correspondente à coleta.

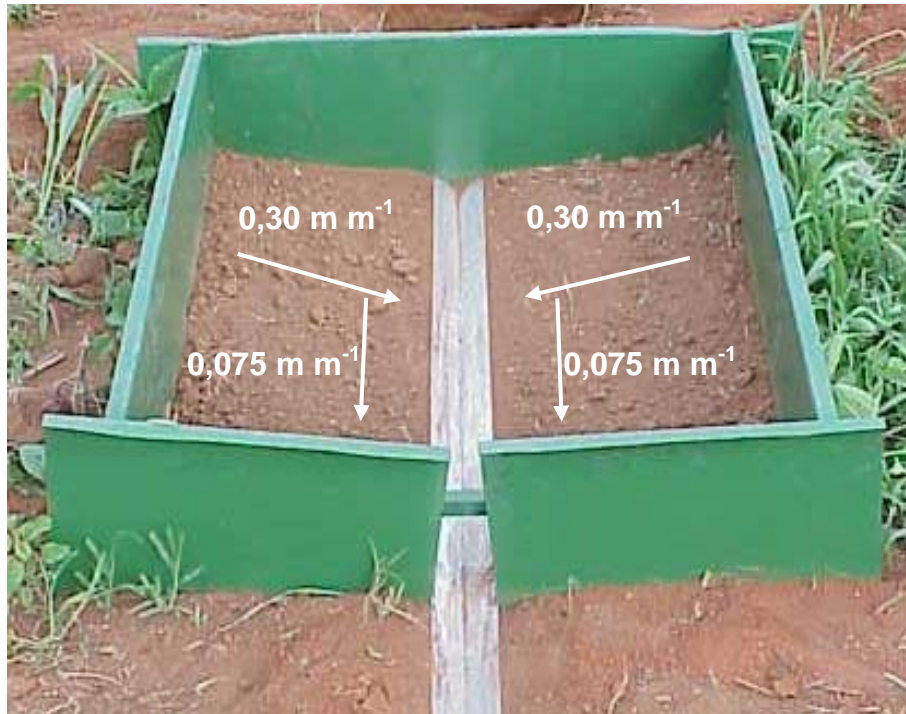


Figura 3.8. Parcela preparada na forma de duas encostas com inclinação lateral de aproximadamente 30% ( $0,30 \text{ m m}^{-1}$ ).



Figura 3.9. Caixa para coleta da chuva artificial para fim de avaliação da intensidade de precipitação média durante os testes.



Figura 3.10. Filtro de papel poroso colocado em armação de tela e apoiado em copo de plástico descartável.

Após a filtragem completa de todo líquido coletado, o filtro com solo foi levado à estufa a 105°C, por aproximadamente 36 horas, para posterior determinação da massa seca.

Para quantificação dos sólidos totais que passaram pelo material filtrante foi utilizado o método da pipeta, que consiste da retirada de uma alíquota de 50 mL do volume de escoamento superficial que passou pelo filtro. A alíquota coletada foi colocada em recipiente, previamente pesado e identificado, e levado à estufa a 105°C, por aproximadamente 36 horas, para posterior determinação da concentração de solo em suspensão. Com base no volume total escoado durante o tempo de coleta foi determinada a massa de solo seco que passou pelo material filtrante. A massa total de solo seco foi obtida pelo somatório do solo retido no material filtrante e do solo em suspensão na solução que passou pelo filtro.

A taxa de liberação de sedimentos nas áreas entressulcos foi calculada a partir do rearranjo da equação proposta por Foster (1982), utilizada no WEPP (equação 3.3), e também pela equação modificada por Kinnell (1993b) (equação 3.4):

$$K_{if} = \frac{D_i}{I_p^2 S_f C_i} \quad (3.3)$$

$$K_{ik} = \frac{D_i}{I_p q S_f C_i} \quad (3.4)$$

em que

$K_{if}$  = erodibilidade do solo entressulcos, proposta por Foster (1982),  
kg s m<sup>-4</sup>;

$K_{ik}$  = erodibilidade do solo entressulcos, proposta por Kinnell  
(1993b), kg s m<sup>-4</sup>;

$D_i$  = taxa de liberação de sedimentos nas áreas entressulcos,  
kg s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>;

$I_p$  = intensidade de precipitação, m s<sup>-1</sup>;

$q$  = parâmetro que incorpora o efeito da infiltração na erodibilidade  
entressulcos, m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>;

$S_f$  = fator de ajuste relativo à declividade, adimensional; e

$C_i$  = parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na  
erosão entressulcos e igual a unidade para solo descoberto,  
adimensional.

As equações 3.3 e 3.4 foram utilizadas a fim de comparar as duas metodologias, uma vez que Kinnell (1993b) argumenta que a equação proposta por Foster (1982) ignora os fatores de escoamento superficial e de infiltração na erosão entressulcos.

O fator de declividade do solo em entressulcos foi calculado pela equação 3.5, proposta por Liebenow et al. (1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 e^{-4 \text{sen} \theta} \quad (3.5)$$

em que  $\theta$  é a inclinação, graus.

Para as condições do presente estudo, em que a inclinação lateral das parcelas foi igual a 30% (16,7 graus), o valor de  $S_f$  utilizado foi de 0,78.

### **3.2.3. Determinação da condutividade hidráulica efetiva do solo ( $K_e$ )**

A condutividade hidráulica efetiva do solo também foi determinada em quatro parcelas experimentais com dimensões de 0,70 m x 1,00 m, com a maior dimensão no sentido do declive natural do solo. Para este estudo as parcelas tiveram declividade média de 0,075 m m<sup>-1</sup> em um único sentido. As precipitações, com intensidade de aproximadamente 64,5 mm h<sup>-1</sup>, foram aplicadas com o simulador de chuvas descrito anteriormente. A duração do teste foi até o momento em que o volume de escoamento se mantivesse constante, equivalendo a aproximadamente 360 minutos, em média, na área de Coimbra e 540 minutos, em média, na área de Viçosa, sendo o mesmo determinado a cada intervalo de três minutos por meio de medição direta feita em uma calha coletora confeccionada especialmente para tal finalidade (Figura 3.11). A taxa de escoamento, em cada intervalo, foi obtida pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela, sendo a condutividade hidráulica efetiva calculada em função da diferença entre a intensidade média de aplicação de chuva artificial e a taxa de escoamento superficial.

### **3.2.4. Determinação da erodibilidade no sulco ( $K_r$ ) e da tensão cisalhante crítica do solo ( $\tau_c$ )**

A erodibilidade no sulco e a tensão cisalhante crítica do solo foram determinadas, em quatro repetições, a partir da aplicação de diferentes vazões em sulcos (14, 21, 28, 35, 42 e 49 L min<sup>-1</sup>) de forma sucessiva, da menor para maior. Os sulcos, de seção transversal triangular, foram construídos no sentido do declive em solo recém-preparado, com 7 m de comprimento, 0,45 m de largura de superfície e 0,07 m de profundidade, conforme Alberts et al. (1980) e Foster et al. (1982) (Figura 3.12).

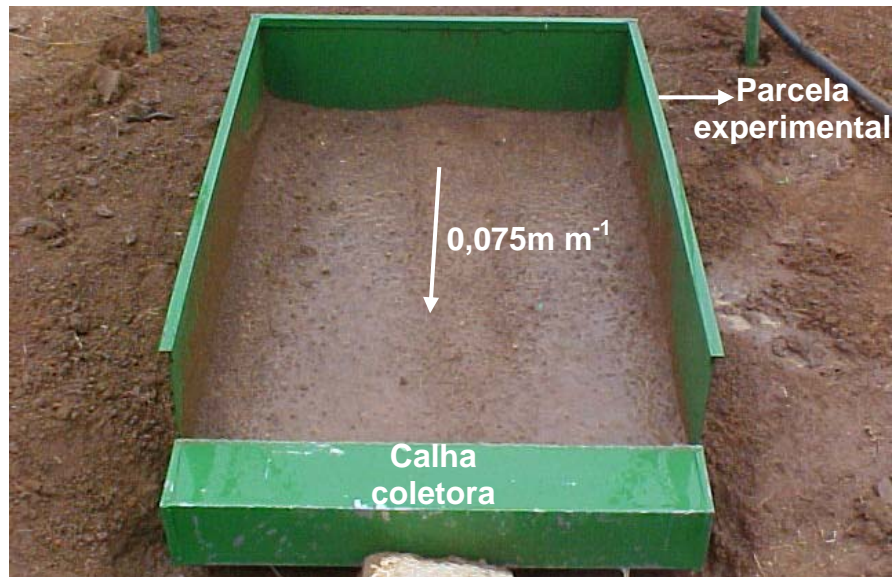


Figura 3.11. Parcela experimental com a calha coletora para determinação da condutividade hidráulica efetiva.



Figura 3.12. Sulco construído no sentido do declive em solo recém-preparado com a finalidade de determinação da erodibilidade no sulco ( $K_r$ ) e da tensão cisalhante crítica do solo ( $\tau_c$ ).

Os sulcos apresentaram declividade média de 0,023 e 0,096 m m<sup>-1</sup> para o Argissolo e o Cambissolo, respectivamente.

A área de solo ocupada pelo sulco e por uma bordadura de 0,30 m de cada lado, foi umedecida horas antes do teste, utilizando-se regadores de jardim. Com isso, ao iniciar os testes, a camada arável encontrava-se com umidade próxima à capacidade de campo.

A água foi aplicada nas extremidades superiores dos sulcos com o auxílio de mangueira e um conjunto moto-bomba de ¼ CV, que tinha como finalidade manter as vazões constantes durante os testes. Cada vazão era aplicada durante 40 minutos. A bomba foi instalada junto a uma caixa d'água de 5.000 L que servia de reservatório (Figura 3.13). As vazões utilizadas foram pré-calibradas em função da abertura do registro localizado na saída da bomba. Foi colocado manta de bidim na saída da mangueira, com o objetivo de dissipar a energia e direcionar o escoamento.

As extremidades inferiores dos sulcos foram providas de calhas condutoras de sedimentos acopladas a canos de PVC, com 75 mm de diâmetro, que conduziram o escoamento superficial e todo solo desagregado ao ponto de coleta nas extremidades inferiores. Na Figura 3.14 estão apresentados os detalhes da montagem dos sulcos para determinação da erodibilidade e da tensão cisalhante crítica.

A velocidade superficial, a vazão do escoamento e a concentração de sedimentos foram determinadas a cada intervalo de cinco minutos. A velocidade superficial foi obtida por meio da cronometragem do tempo gasto para que o corante azul de metileno percorresse a distância de 6 m, pois apesar do comprimento do sulco ser de 7 m desprezou-se o trecho inicial de 1 m para permitir a estabilização do escoamento. Para a obtenção da velocidade média de escoamento os valores de velocidade superficial medidos foram multiplicados por 0,74, que é o fator de correção atribuído à diminuição da velocidade com a profundidade do escoamento decorrente do atrito com o solo (KING, 1992).

$$V_m = 0,74 V_s \quad (3.6)$$

em que,

$V_m$  = velocidade média do escoamento, m s<sup>-1</sup>.

$V_s$  = velocidade superficial do escoamento, m s<sup>-1</sup>.



Figura 3.13. Detalhe do reservatório de água e do conjunto moto-bomba.

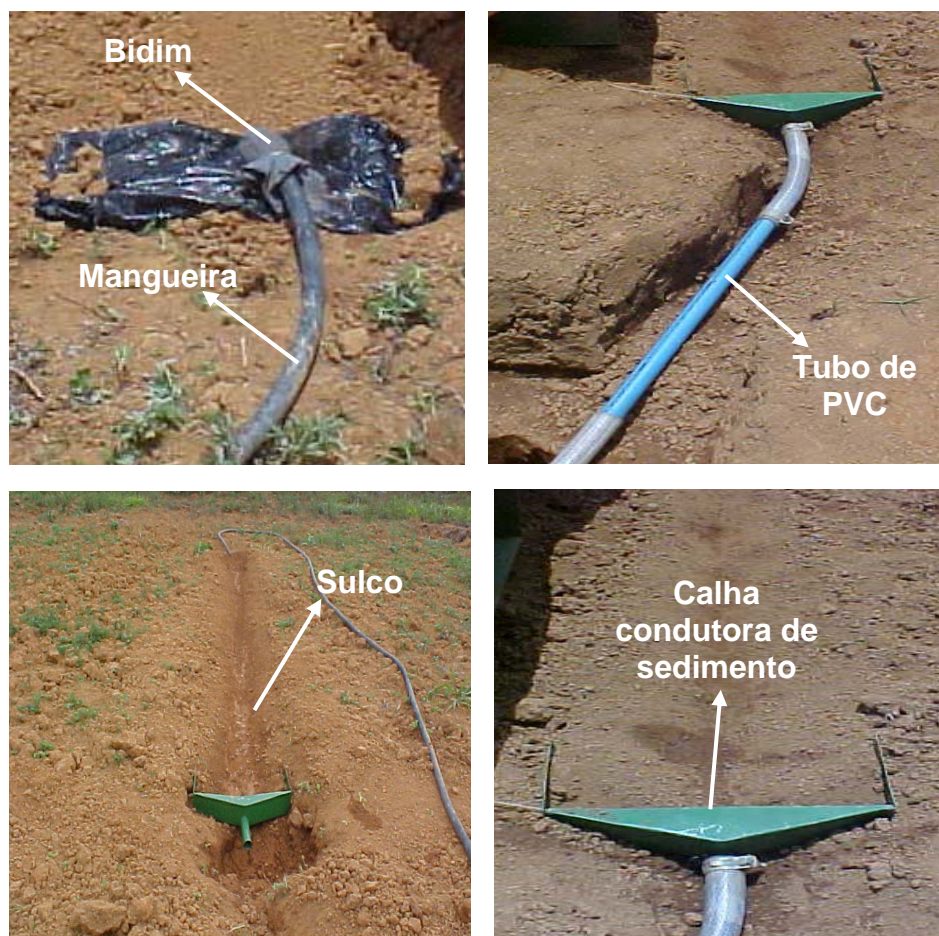


Figura 3.14. Detalhes da montagem dos sulcos para determinação da erodibilidade e tensão cisalhante crítica.

A vazão de escoamento foi obtida pelo método direto, com a coleta do volume escoado por um período de 30 segundos.

O volume escoado coletado foi filtrado em bidim, previamente pesado e identificado, onde ficava retido o solo desprendido. Cessada a filtragem, o bidim com solo foi retirado da estrutura de filtragem e colocado para secar ao ar, por um período de dois a três dias. O bidim com solo foi levado para uma estufa de circulação de ar à temperatura de 65°C, por um período de 72 horas, para posterior determinação da massa seca. Para a quantificação dos sólidos em suspensão que passaram pelo material filtrante foram retiradas alíquotas de 50 mL do volume escoado coletado para determinação da vazão. Essas alíquotas foram colocadas em bandejas, previamente identificadas e pesadas, e levadas à estufa a 105°C, por aproximadamente 36 horas. A massa total de solo seco desprendido, em cada coleta, foi obtida por meio do somatório do solo retido no material filtrante e do solo em suspensão que passou pelo filtro. A concentração de sedimentos foi determinada pela relação entre a massa total de solo seco e o volume correspondente à coleta.

A área da seção transversal do escoamento foi obtida por meio da equação da continuidade (CHOW, 1959), dada por:

$$A = \frac{Q}{V_m} \quad (3.7)$$

em que

A = área da seção transversal média do escoamento, m<sup>2</sup>; e

Q = vazão de escoamento, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

O perímetro molhado foi estimado pela equação proposta por Cantalice et al. (2005):

$$P_m = 0,3362 Q^{0,384} \quad (3.8)$$

em que,

P<sub>m</sub> = perímetro molhado, m; e

Q = vazão de escoamento, L s<sup>-1</sup>.

O raio hidráulico foi obtido pela relação entre a área da seção transversal do escoamento e o perímetro molhado.

A taxa de desprendimento do solo no sulco, que expressa a quantidade de partículas desagregadas pelo escoamento foi determinada pela expressão (GIASSON e CASSOL, 1996):

$$D_r = \frac{Q C_s}{L P_m} \quad (3.9)$$

em que

$D_r$  = taxa de desprendimento de solo no sulco,  $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;

$C_s$  = concentração instantânea de sedimentos,  $\text{kg m}^{-3}$ ; e

$L$  = comprimento do sulco, m.

Foi encontrada uma taxa média de desprendimento do solo para cada determinação de vazão. Como foram aplicadas seis vazões, foram então determinadas seis taxas de desprendimento. Como as vazões foram aplicadas de forma sucessiva em cada sulco, o desprendimento encontrado quando da aplicação da segunda vazão foi somado ao desprendimento encontrado quando da aplicação da menor vazão. O desprendimento encontrado quando da aplicação da terceira vazão foi somado ao desprendimento encontrado quando da aplicação das duas vazões iniciais e assim por diante até completar as seis vazões utilizadas no estudo. Dessa forma, o desprendimento encontrado, por exemplo, para a vazão de  $35 \text{ L s}^{-1}$ , era adicionado ao somatório do desprendimento das vazões de 14, 21 e  $28 \text{ L s}^{-1}$ .

A tensão cisalhante do escoamento foi obtida pela equação proposta por Chow (1959):

$$\tau = \gamma R S \quad (3.10)$$

em que

$\tau$  = tensão cisalhante do escoamento,  $\text{N m}^{-2}$ ;

$\gamma$  = peso específico da água,  $\text{N m}^{-3}$ ;

$R$  = raio hidráulico, m; e

$S$  = declividade do sulco,  $\text{m m}^{-1}$ .

A equação utilizada para quantificar a taxa de desprendimento de solo em sulcos é apresentada por Flanagan et al. (1995) e expressa, de forma simplificada, por:

$$D_r = K_r (\tau - \tau_c) \quad (3.11)$$

em que

$$\tau_c = \text{tensão cisalhante crítica do solo, N m}^{-2}.$$

Foi gerado, para cada solo estudado, um gráfico de taxa média de desprendimento de partículas de solo versus a tensão média cisalhante do escoamento e ajustada uma equação linear ao conjunto de pontos. A tensão cisalhante crítica do solo foi aquela na qual a perda de solo foi nula. A erodibilidade do solo foi obtida pela inclinação da reta.

### **3.3. Construção dos arquivos para aplicação do modelo WEPP para as condições de uso e manejo do solo estudadas**

Para aplicação do WEPP é necessária a elaboração de arquivos de solo, de clima, de manejo e uso do solo e topográfico, os quais são baseados em registros de dados locais. Todos esses arquivos, referentes às parcelas experimentais de Viçosa (Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico), foram colocados no formato específico do software WEPP for Windows versão 2006.500.

As informações necessárias para construção do arquivo de solo utilizado no WEPP referentes a conteúdo de areia, silte, argila, rocha, matéria orgânica, classe textural e CTC do perfil de solo foram baseadas nos dados do Quadro 3.1. Para os outros parâmetros, ainda referentes ao arquivo de solo, tais como, erodibilidade entressulcos e do sulco, condutividade hidráulica do solo e tensão cisalhante crítica do solo foram utilizados os valores obtidos na segunda etapa do trabalho.

Os arquivos de uso e manejo do solo com as informações referentes ao crescimento de plantas, condições iniciais, decomposição de resíduos e práticas de manejo do solo foram montados com base nas condições locais e na base de dados disponível no WEPP. As informações referentes às datas, às seqüências e aos tipos de cultivos realizados nas parcelas

experimentais foram obtidas na primeira etapa do trabalho. A base de dados de cultivo e manejo do solo, incluída no WEPP, foi selecionada de maneira que melhor representasse as práticas de cultivo e manejo adotadas nas parcelas experimentais.

O arquivo de dados climáticos diários para entrada no modelo WEPP foi gerado com auxílio do programa CLIGEN, versão 4.3. Os parâmetros estatísticos média e desvio padrão da precipitação, coeficiente de assimetria da precipitação total diária, probabilidades mensais de ocorrência de dias com chuva após dias com chuva e de ocorrência de dias sem chuva após dias com chuva, média e desvio padrão das temperaturas máxima e mínima mensal, média e desvio padrão da radiação solar mensal e média mensal da temperatura do ponto de orvalho foram obtidos a partir de dados climáticos coletados na estação climatológica localizada na UFV e pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As probabilidades de ocorrência de dias com chuva seguidos de dia com chuva e de dias com chuva seguidos de dia sem chuva para cada mês foram estimadas a partir do número de dias chuvosos (NW) e sem chuva (ND) do mês, do número de dias chuvosos após dias sem chuva (NWD) e do número de dias chuvosos após dia com chuva (NWW), utilizando-se as equações propostas por Nicks et al. (1995).

$$P(W / W) = \frac{NWW}{NW} \quad (3.12)$$

$$P(W / D) = \frac{NWD}{ND} \quad (3.13)$$

em que

$P(W/W)$  = probabilidade mensal da ocorrência de dia com chuva após dias com chuva, decimal;

$NWW$  = número de dias chuvosos após dia com chuva, dias;

$NW$  = número de dias chuvosos, dias;

$P(W/D)$  = probabilidade mensal da ocorrência de dia com chuva após dias sem chuva, decimal;

$NWD$  = número de dias chuvosos após dia sem chuva, dias; e

$ND$  = número de dias sem chuva, dias.

### **3.4. Comparação das perdas de solo e de água estimadas para o Cambissolo pelo modelo WEPP com as obtidas experimentalmente**

Foram feitas três simulações para estimar as perdas de solo e de água pelo modelo WEPP. Foi chamada de **Estimado1** a simulação utilizando parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente. **Estimado2** corresponde à simulação utilizando valor de  $K_i$  obtido de acordo com a metodologia proposta por Kinnell (1993b) e os demais parâmetros ( $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ ) iguais aos do Estimado1. Para a simulação utilizando parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  gerados internamente pelo WEPP deu-se o nome de **Estimado3**. Os valores médios encontrados para perdas de solo e de água nas parcelas experimentais no período de 11/11/2002 a 21/03/2007 foram chamados de **Observado**.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Perdas de solo e de água obtidas experimentalmente**

No Quadro 4.1 estão apresentados os dados de perdas de solo e água assim como os coeficientes de escoamento observados nas parcelas experimentais instaladas em solo do tipo Cambissolo durante o período de 11/11/2002 a 21/03/2007. No Apêndice B estão apresentados os dados de perdas de solo e de água referentes a cada evento de chuva ocorrido no período avaliado.

Observa-se, neste quadro, que as perdas de solo, as perdas de água e o coeficiente de escoamento nas parcelas em que o solo foi mantido descoberto (DMA e DEN) foram expressivamente superiores às das parcelas cultivadas com soja (SMA e SEN) e com milho (MMA e MEN) em todos os anos de coleta.

Verifica-se, também, que quanto ao preparo e cultivo do solo, DEN proporcionou uma redução de aproximadamente 35,9% e 31,4% na perda de solo e de água, respectivamente, em relação à DMA. A redução do preparo e cultivo na perda de solo para MEN (27,6%) foi inferior à redução da perda de solo para SEN (43,4%) quando comparadas à MMA e SMA, respectivamente. Em relação à perda de água MEN apresentou redução de aproximadamente 20,3% comparada à MMA, e SMA apresentou perda 12,1% menor em relação à SEN. A maior eficiência na redução de SMA para a perda de água pode ser explicada pela diferença de declividades entre as duas parcelas, sendo que para a SEN a declividade foi de 18,7% e para SMA de 15,0%.

Quadro 4.1. Perdas de solo, perdas de água e coeficientes de escoamento, por safra, bem como os valores médios, observados durante o período de 11/11/2002 a 21/03/2007 nas parcelas experimentais instaladas em Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico

<b>Tratamentos</b>						
	<b>DMA</b>	<b>DEN</b>	<b>SMA</b>	<b>SEN</b>	<b>MMA</b>	<b>MEN</b>
<b>Safra</b>	<b>Perda de solo (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
2002/2003	57,35	36,15	-	-	2,69	0,54
2003/2004	61,31	32,48	0,46	0,13	0,00	0,01
2004/2005	18,17	13,42	0,52	0,34	0,21	0,08
2005/2006	35,42	18,43	22,24	9,51	9,47	7,13
2006/2007	27,24	27,30	10,62	9,00	10,77	8,99
<b>média</b>	<b>39,90</b>	<b>25,56</b>	<b>8,46</b>	<b>4,79</b>	<b>4,63</b>	<b>3,35</b>
<b>Safra</b>	<b>Perda de água (mm)</b>					
2002/2003	107,36	81,04	-	-	33,92	13,48
2003/2004	143,40	138,45	30,45	45,71	6,80	12,87
2004/2005	33,29	10,59	12,20	26,84	16,41	7,35
2005/2006	70,65	37,94	54,49	47,35	46,08	29,61
2006/2007	88,36	36,00	66,72	66,60	48,73	57,84
<b>Média</b>	<b>88,61</b>	<b>60,80</b>	<b>40,97</b>	<b>46,63</b>	<b>30,39</b>	<b>24,23</b>
<b>Safra</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>					
2002/2003	0,098	0,073	-	-	0,031	0,012
2003/2004	0,160	0,155	0,034	0,051	0,008	0,014
2004/2005	0,084	0,027	0,031	0,067	0,041	0,019
2005/2006	0,101	0,054	0,078	0,068	0,066	0,042
2006/2007	0,084	0,034	0,064	0,064	0,047	0,055
<b>Média</b>	<b>0,105</b>	<b>0,069</b>	<b>0,052</b>	<b>0,062</b>	<b>0,039</b>	<b>0,028</b>

(SMA) - solo com preparo convencional e cultivado com soja (ambos morro abaixo); (DMA) - solo descoberto com preparo convencional (morro abaixo); (MMA) – solo com preparo convencional e cultivado com milho (ambos morro abaixo); (MEN) - solo com preparo convencional e cultivado com milho (ambos em nível); (DEN) - solo descoberto com preparo convencional (em nível); (SEN) - solo com preparo convencional e cultivado com soja (ambos em nível).

Analisando-se o efeito médio da cobertura vegetal (SEN, SMA, MEN, MMA) em relação às parcelas descobertas (DMA e DEN), nota-se uma redução média de aproximadamente 84% nas perdas de solo e de 52% nas perdas de água. A cultura do milho (MMA+MEN) se mostrou mais eficiente na redução das perdas que a cultura da soja (SMA+SEN), em média, 40% e 38% para perdas de solo e de água, respectivamente.

Analisando os efeitos combinados do preparo em nível e presença de cobertura vegetal observa-se que a eficiência na redução das perdas de solo chegou, em média, a aproximadamente 92% e 88% para as parcelas MEN e SEN, respectivamente, em comparação com a parcela padrão (DMA). Estas reduções nas perdas de solo proporcionam valores de uso e manejo do solo associado às práticas conservacionistas iguais a 0,08 e 0,12, para milho e soja, respectivamente. Estes resultados são compatíveis com os valores dos fatores uso e manejo do solo associados às práticas conservacionistas apresentados na literatura (WISCHMEIER E SMITH, 1978, BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Verifica-se que a perda de água e, por conseguinte, o coeficiente de escoamento foi menos influenciada pela direção do preparo, cobertura vegetal e tipo de cobertura vegetal quando comparada à perda de solo. Em média, a maior eficiência na redução das perdas de água, comparada à parcela padrão (DMA), foi de aproximadamente 73% observada na parcela MEN, valor este inferior em 19% em relação à eficiência na redução das perdas de solo obtida para as mesmas condições. As menores reduções das perdas de água ocorreram, provavelmente, pelo fato do solo apresentar limitação na capacidade de infiltração, o que leva a um aumento do escoamento superficial. O escoamento superficial mesmo com reduzida energia cisalhante para provocar o desprendimento do solo, em virtude da presença de cobertura vegetal, leva a maiores valores de perda de água comparada à perda de solo. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Albuquerque et al. (2002a).

A cultura do milho proporcionou maior eficiência na redução das perdas de água que a cultura da soja, sendo, em média, 26% mais eficiente no caso de MMA em relação à SMA, e 48% para MEN em relação à SEN. Isto explica a maior perda de solo observada nas parcelas cultivadas com

soja, uma vez que maior perda de água aumenta a capacidade de transporte do escoamento superficial e, conseqüentemente, promove maior arraste das partículas de solo, ocasionando maior perda de solo.

O controle das perdas de solo pelos tratamentos com cobertura vegetal (SMA, SEM MMA e MEN) em comparação às parcelas descobertas (MMA E MEN) variou expressivamente entre as safras estudadas, chegando a aproximadamente 100% na safra 2003/2004 e 55% na safra 2005/2006. Para a perda de água esta redução chegou a 83% para a safra 2003/2004 e 4% para a safra 2006/2007. Esta variação observada entre as safras está associada à lâmina precipitada e à distribuição temporal das precipitações. Na safra 2003/2004, quando comparada às demais safras, a alta eficiência na redução das perdas de solo e de água está relacionada principalmente à pequena ocorrência de lâminas precipitadas em períodos que o solo se encontrava desprotegido. Para outras safras ocorreram com mais freqüência intensidades de precipitação elevadas em períodos que a cultura não estava completamente estabelecida.

Nas Figuras 4.1 a 4.5 estão apresentadas as perdas de solo e a lâmina precipitada, por safra, em função do número de dias após o preparo do solo. Verifica-se que para as safras de 2002/2003 (Figura 4.1) e 2004/2005 (Figura 4.3) as lâminas precipitadas não ultrapassaram 70 mm. Nas demais safras, foram obtidas lâminas precipitadas maiores que 100 mm. As maiores perdas de solo na parcela DEN ocorreram em períodos distintos para as diferentes safras. Na safra 2002/2003 ocorreu no 54<sup>o</sup> dia. Para a safra de 2003/2004 (Figura 4.2) foi registrada a maior perda de solo no 102<sup>o</sup> dia, situação bem diferente da safra 2004/2005 onde a maior perda de solo ocorreu poucos dias após o preparo (8<sup>o</sup> dia). Observa-se que para a safra 2005/2006 (Figura 4.4), a de maiores perdas de solo nas parcelas com cultura, a explicação está relacionada à combinação das intensidades de precipitação observadas no período em que as culturas do milho e da soja ainda não proporcionavam a máxima proteção do solo.

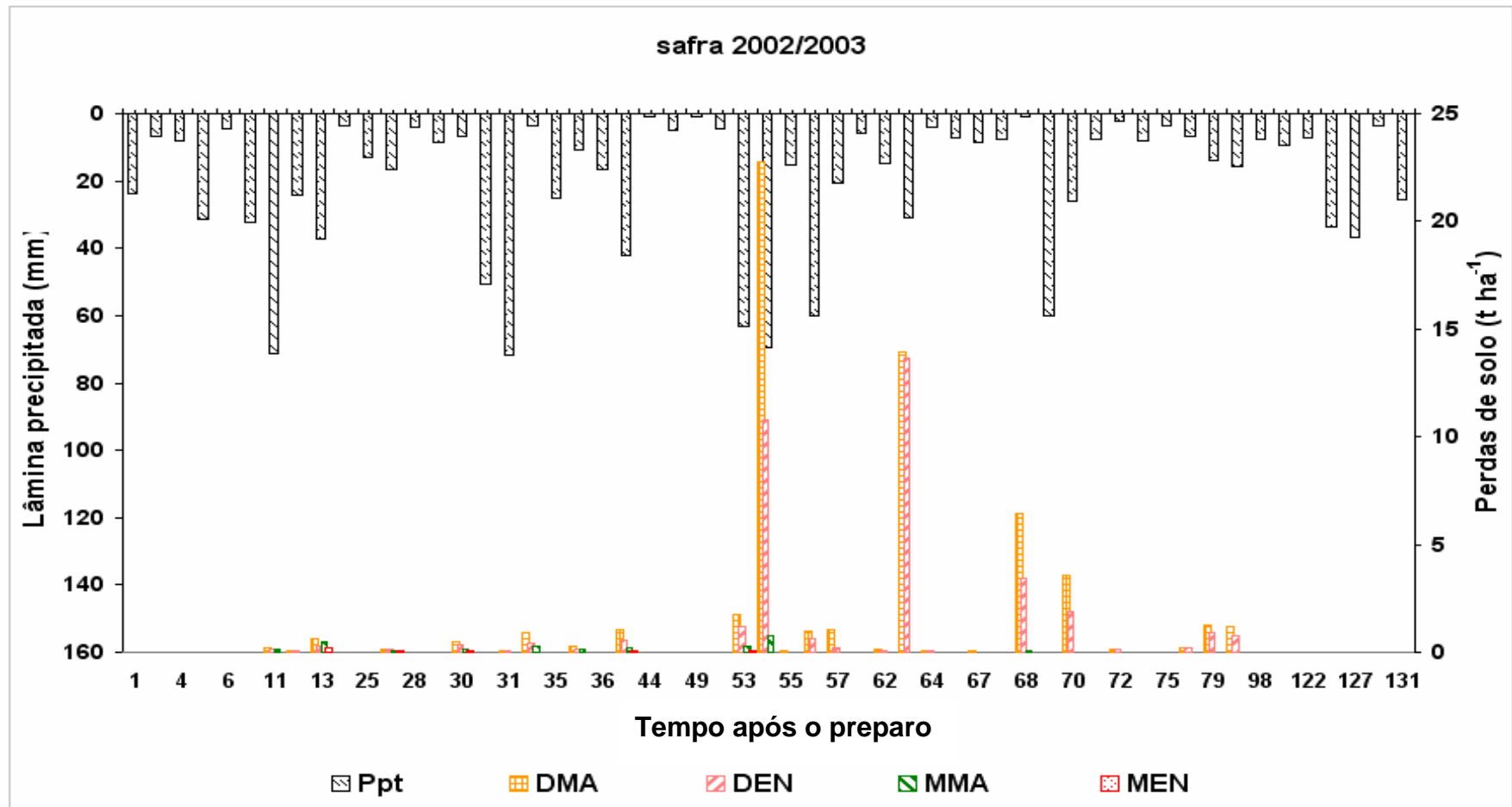


Figura 4.1. Perdas de solo (PS) e lâmina de precipitação (Ppt) para os eventos de chuva ocorridos durante a safra agrícola de 2002/2003 nas parcelas experimentais: DMA, DEN, MMA e MEN.

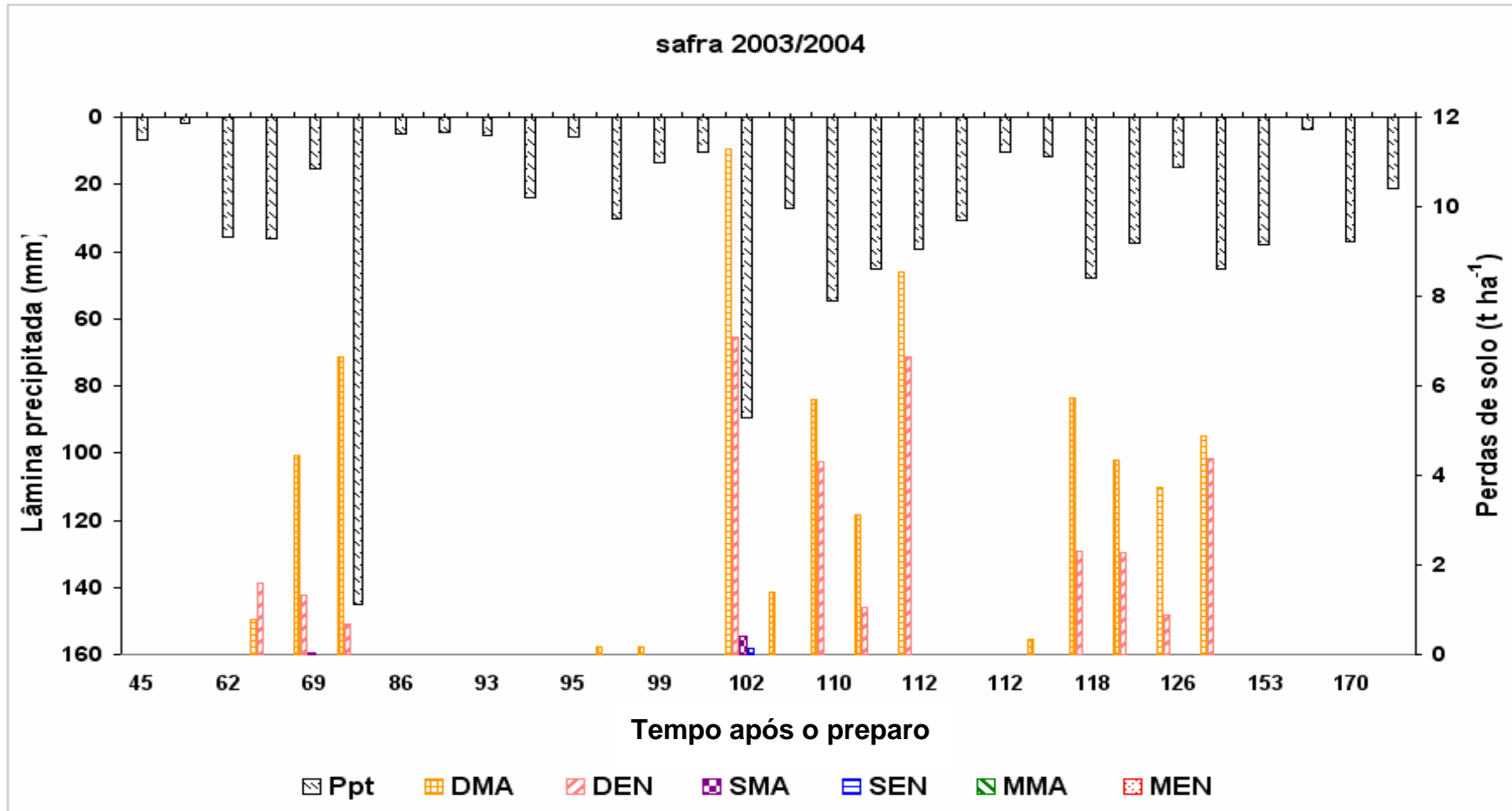


Figura 4.2. Perdas de solo (PS) e lâmina de precipitação (Ppt) para os eventos de chuva ocorridos durante a safra agrícola de 2003/2004 nas parcelas experimentais: DMA, DEN, SMA, SEN, MMA e MEN.

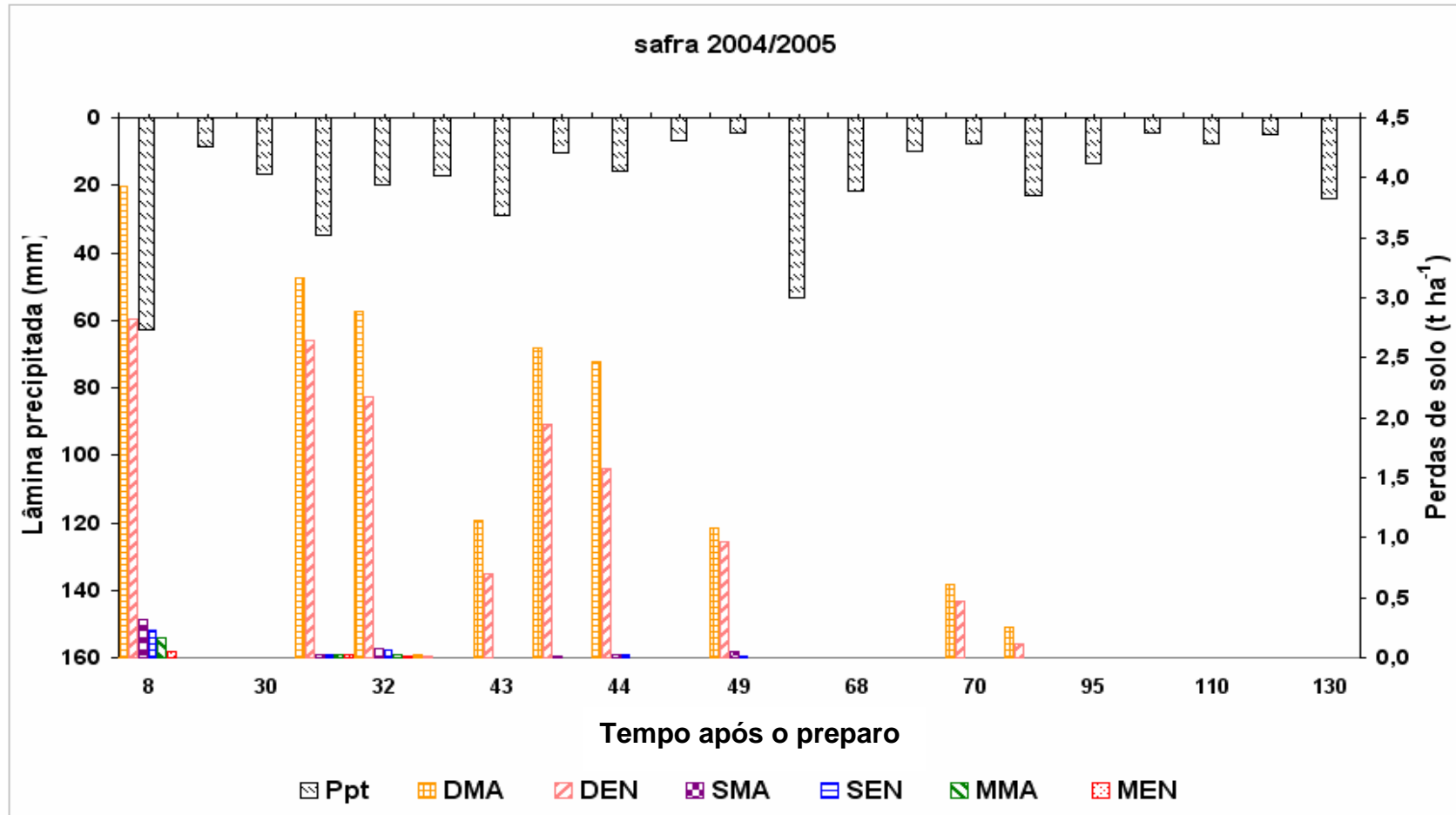


Figura 4.3. Perdas de solo (PS) e lâmina de precipitação (Ppt) para os eventos de chuva ocorridos durante a safra agrícola de 2004/2005 nas parcelas experimentais: DMA, DEN, SMA, SEN, MMA e MEN.

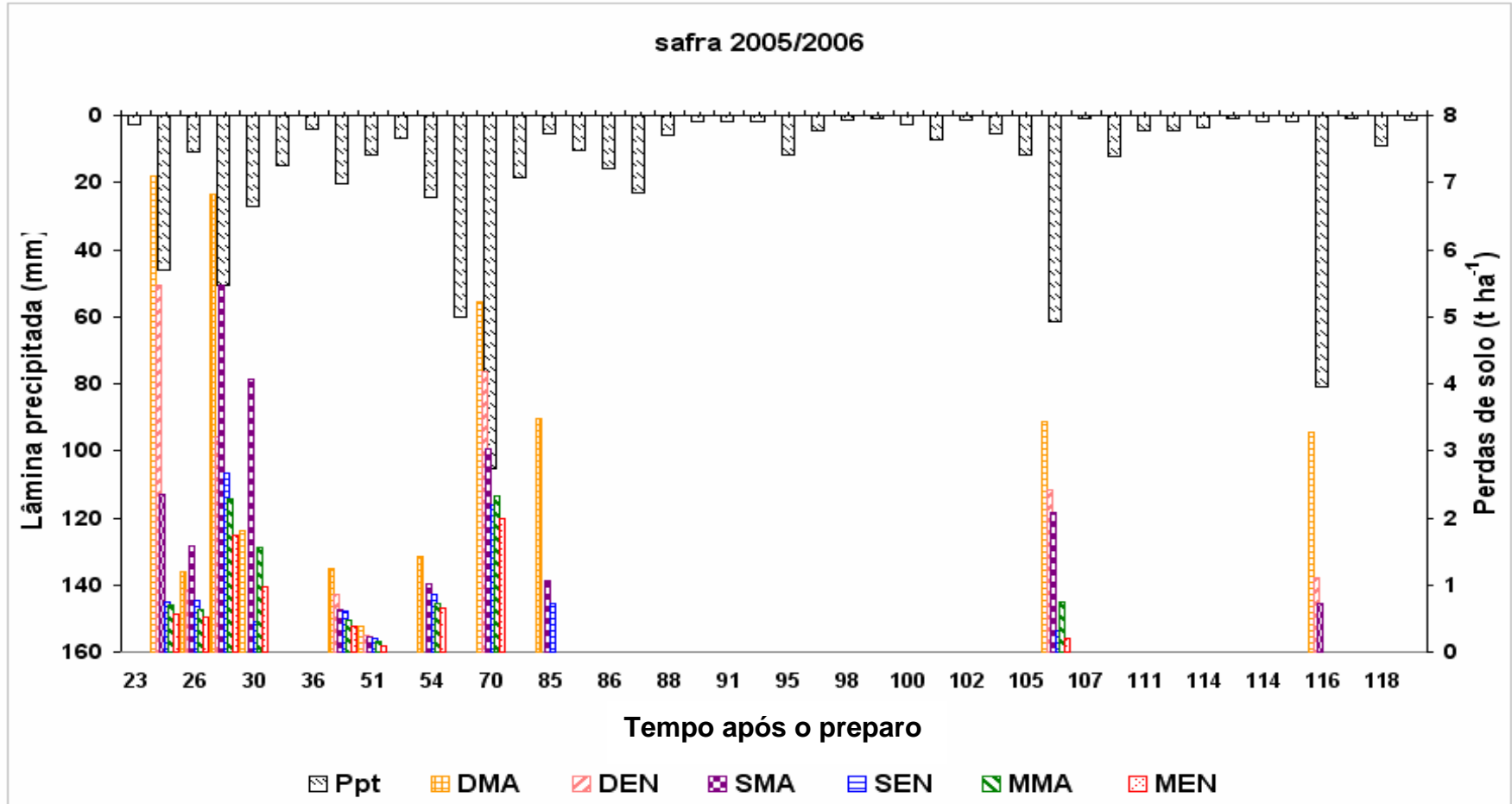


Figura 4.4. Perdas de solo (PS) e lâmina de precipitação (Ppt) para os eventos de chuva ocorridos durante a safra agrícola de 2005/2006 nas parcelas experimentais: DMA, DEN, SMA, SEN, MMA e MEN.

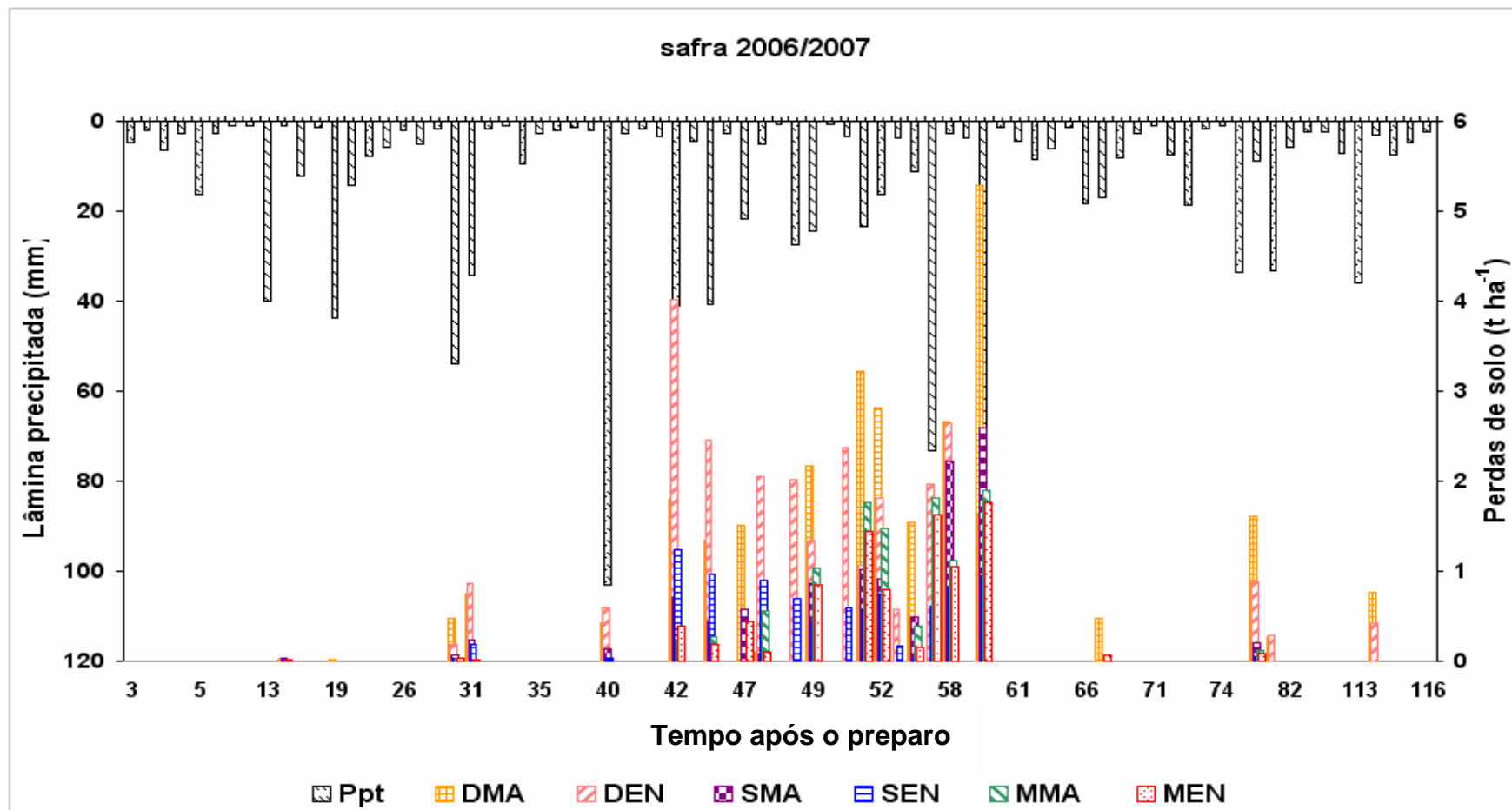


Figura 4.5. Perdas de solo (PS) e lâmina de precipitação (Ppt) para os eventos de chuva ocorridos durante a safra agrícola de 2006/2007 nas parcelas experimentais: DMA, DEN, SMA, SEN, MMA e MEN.

Até o quinquagésimo dia após o preparo do solo foram registradas, para esta safra, três chuvas com intensidade de precipitação superior a  $140 \text{ mm h}^{-1}$ . Individualmente a chuva com maior intensidade média de precipitação foi observada em 17/02/2004 (102 dias após o preparo, com intensidade média de  $47,7 \text{ mm h}^{-1}$ , Figura 4.2). É nítida a eficiência da cobertura vegetal, para este evento, na redução das perdas de solo quando se compara a perda ocorrida em DMA (a mais suscetível à erosão) à de SMA (parcela com cobertura vegetal onde se observou as maiores perdas) e chega-se a eficiência de aproximadamente 96%.

## **4.2. Determinação de $K_i$ , $K_r$ , $\tau_c$ e $K_e$ obtidos experimentalmente**

### **4.2.1. Erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ )**

#### **4.2.1.1. Taxa média de escoamento e lâmina total escoada**

As taxas de escoamento em função do tempo de aplicação da chuva artificial para os dois solos estudados estão apresentadas na Figura 4.6. Os pontos das curvas referentes a cada solo estudado representam valores médios de quatro repetições. No Apêndice C estão apresentados os valores de cada repetição.

Observa-se na Figura 4.6 que o comportamento dos dois solos com relação à taxa de escoamento foi distinto ao longo do tempo de aplicação da chuva artificial. Na parte inicial do teste (aproximadamente 15 minutos), onde ocorreram as maiores variações de taxas, o Argissolo apresentou taxa média de escoamento ao redor de  $30 \text{ mm h}^{-1}$ . Nesse mesmo período, o Cambissolo proporcionou taxa média de escoamento aproximadamente 55% menor ( $13,5 \text{ mm h}^{-1}$ ).

Taxas de escoamento próximas a 50% da intensidade da chuva artificial,  $30 \text{ mm h}^{-1}$ , foram alcançadas no Cambissolo próximas à metade do teste, por volta de 48 minutos de aplicação da chuva. Esse tempo é aproximadamente 3,2 vezes superior quando comparado ao tempo que o Argissolo levou para atingir taxa semelhante.

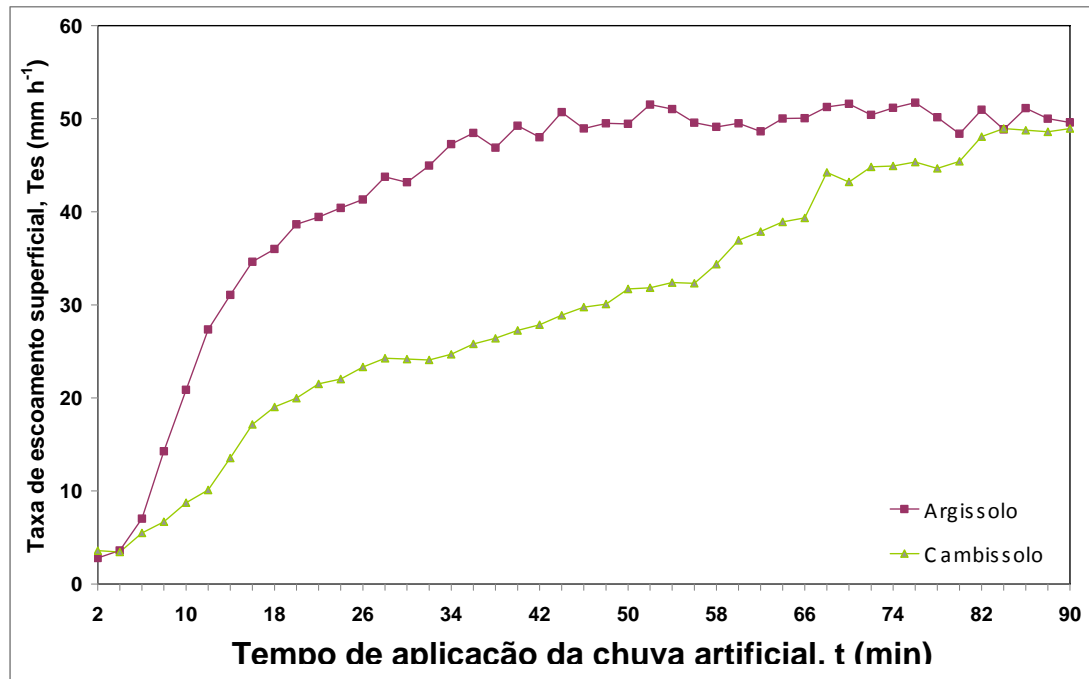


Figura 4.6. Taxas instantâneas de escoamento superficial em entressulcos, em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os dois solos estudados.

Observa-se, ainda, que na metade do teste a taxa de escoamento foi de aproximadamente 50 e 29 mm h<sup>-1</sup> para o Argissolo e Cambissolo, respectivamente. Esses valores representam, para o Argissolo, praticamente a estabilização, enquanto que para o Cambissolo, 60% da taxa de escoamento estabilizada, uma vez que neste solo as taxas de escoamento foram crescentes durante praticamente todo o ensaio, ocorrendo a estabilização somente nos dez minutos finais.

Verifica-se que a taxa média de escoamento estabilizada do Argissolo (50,1 mm h<sup>-1</sup>) foi 4,1% maior que a verificada no Cambissolo (48,1 mm h<sup>-1</sup>). Com relação à lâmina total média escoada ao longo dos testes constata-se que a mesma para o Argissolo (63,7 mm) foi 42,8% maior do que a observada para o Cambissolo (44,6 mm).

A diferença de comportamento dos solos quanto à taxa de escoamento superficial está relacionada principalmente à diferença de gênese de formação dos solos. O Argissolo apresenta horizonte B textural e estrutura em blocos que reduz expressivamente a percolação destes solos, comparado ao Cambissolo Latossólico, aumentando a possibilidade de ocorrência do escoamento superficial.

#### **4.2.1.2. Concentração de sedimentos no escoamento superficial**

Na Figura 4.7 estão apresentadas as concentrações de sedimentos presentes no escoamento superficial em entressulcos, em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os dois solos estudados. O valor referente a cada ponto no gráfico expressa a média das concentrações instantâneas medidas no transcorrer dos 90 minutos dos testes, em quatro repetições.

Observa-se que para os dois solos a concentração de sedimentos no escoamento superficial apresenta um acréscimo no início do teste e posteriormente um decaimento da mesma até um valor aproximadamente constante, sendo que para o Argissolo foi obtido um valor médio de concentração superior ao do Cambissolo Latossólico.

No início do teste a concentração de sedimento apresenta maiores valores porque a taxa de escoamento superficial é baixa gerando, portanto, menor lâmina para promover a condução das partículas para a parte central da parcela onde é feita a coleta do escoamento. Aliado a este fato, está a maior quantidade de partículas de solo que provavelmente não foi desprendida pelas gotas da chuva uma vez que se encontravam desagregadas em função do recente preparo do solo, sendo carregadas pelo escoamento. Com o passar do tempo, o incremento da lâmina escoada e a diminuição na quantidade de partículas desprendidas em função do preparo do solo proporciona redução na concentração de sedimentos.

A maior quantidade de argila dispersa em água e maior proporção de partículas mais finas no horizonte superficial do Argissolo aliado a sua pouca coesão entre-partículas quando úmido, conforme verificado no decorrer dos testes, proporcionaram maior concentração de sedimentos comparado ao Cambissolo.

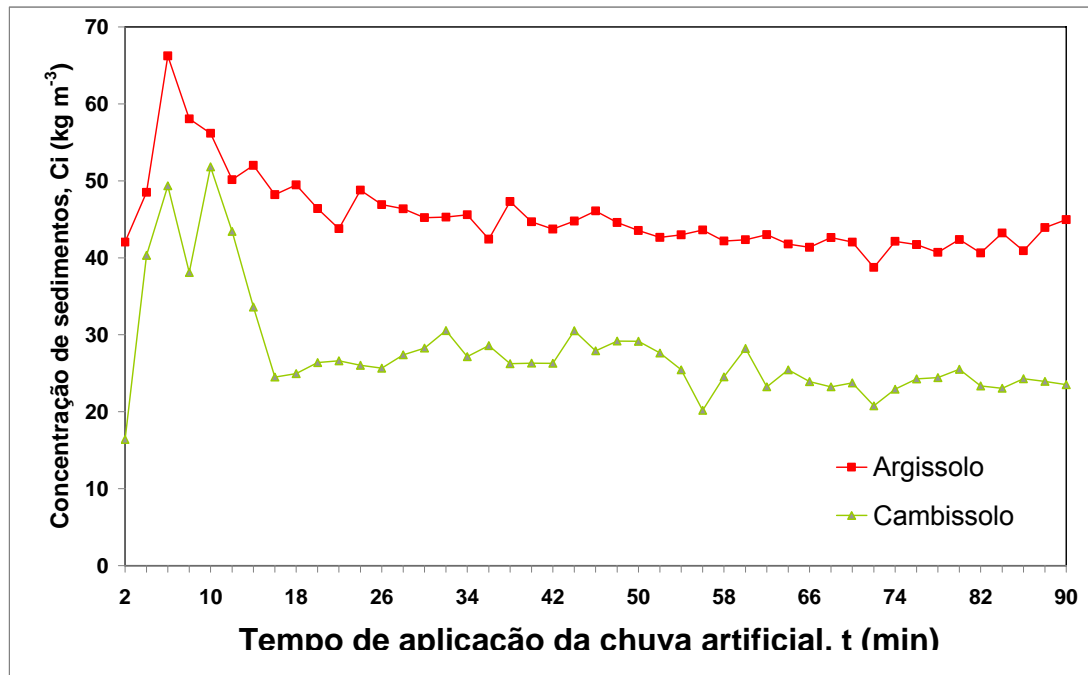


Figura 4.7. Concentração de sedimentos no escoamento superficial em entressulcos, em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os dois solos estudados.

#### 4.2.1.3. Taxas de desprendimento em entressulcos

Na Figura 4.8 estão apresentadas as taxas de desprendimento em entressulcos, em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os dois solos estudados. O valor referente a cada ponto no gráfico representa a média das concentrações instantâneas medidas no decorrer dos 90 minutos dos testes, em quatro repetições, apresentadas no Apêndice C.

Observa-se que as taxas de desprendimento em entressulcos foram crescentes com o tempo de aplicação da chuva artificial, da mesma forma que as taxas de escoamento. No Cambissolo, as taxas de desprendimento tenderam a se estabilizar nos últimos 15 minutos de teste. Para o Argissolo, as taxas de desprendimento cresceram até cerca de 45 minutos de chuva e depois tornaram-se ligeiramente decrescentes. A tendência de redução das taxas de desprendimento em entressulcos verificada no Argissolo, após período inicial de aumento, também foi observada por Bradford et al. (1987), Chaves (1987), Moore e Singer (1990), Rockenbach (1992) e Braida (1994).

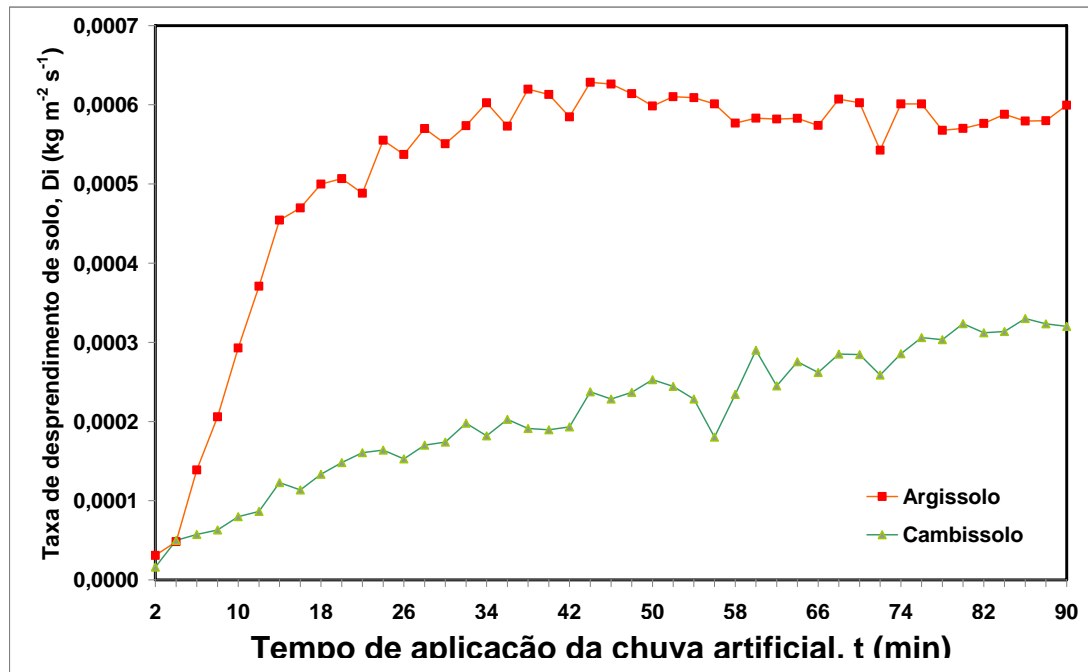


Figura 4.8. Taxas de desprendimento de solo nos entressulcos, em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os dois solos estudados.

Esta redução provavelmente está relacionada à variação das taxas de escoamento superficial ao longo dos testes, sendo relativamente pequena no início dos testes, não tendo capacidade para transportar todo o material desagregado pelo impacto das gotas da chuva. Com o transcorrer do teste, há incremento na taxa de escoamento, o que a torna capaz de transportar todo material desagregado instantaneamente e, também, aquele remanescente do período inicial, quando havia limitação da capacidade de transporte. Após a remoção das partículas remanescentes do período inicial o escoamento superficial passa a transportar apenas as partículas desagregadas instantaneamente.

Moore e Singer (1990) verificaram que a taxa de desprendimento tornou-se menor com o transcorrer da chuva, em função da redução da erodibilidade da camada superficial do solo, produzida pela remoção seletiva das partículas mais erodíveis. O Cambissolo, por possuir maior proporção de partículas maiores e, portanto, mais seletivas, quando comparado ao Argissolo, apresentou comportamento diferenciado.

A taxa máxima de desprendimento para o Argissolo ocorreu aos 44 minutos de teste e foi de  $0,000628 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e aos 86 minutos para o Cambissolo sendo igual a  $0,000330 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Verifica-se que a taxa máxima de desprendimento observado no Argissolo foi superior ao verificado no Cambissolo em aproximadamente 90%. Constatou-se, ainda, que a perda total de solo em entressulcos do Cambissolo (0,791 kg) foi 60% menor do que a observada para o Argissolo (1,973 kg).

#### **4.2.1.4. Erodibilidade do solo em entressulcos**

Utilizando os valores de taxa máxima de desprendimento para os solos em estudo e a equação de Foster (1982), foram obtidos valores de erodibilidade em entressulcos iguais a  $3,06176 \times 10^6$  e  $1,26433 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$  para o Argissolo e para o Cambissolo, respectivamente. Com a utilização da equação modificada por Kinnell (1993a), a erodibilidade em entressulcos foi de  $3,78588 \times 10^6$  e  $1,92627 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$  para o Argissolo e para o Cambissolo, respectivamente.

Braida (1994) obteve para um Argissolo Vermelho Escuro valor para erodibilidade entressulcos igual a  $5,10 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ , valor este expressivamente superior aos encontrados no presente trabalho, tanto para o Argissolo quanto para o Cambissolo, chegando a superioridade de aproximadamente 300% e 67% para o Cambissolo e Argissolo, respectivamente. Rockembach (1992) trabalhando, também, com um Argissolo Vermelho Amarelo, observou valores de erodibilidade um pouco superiores (9,4%) ao encontrado para o Argissolo do presente trabalho, e expressivamente maior (165%) quando comparado ao Cambissolo. Cantalice (2002) e Cassol e Lima (2003) obtiveram em Argissolo Vermelho distrófico valores de  $K_i$  iguais a  $2,55 \times 10^6$  e  $2,83 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ .

Como a erodibilidade entressulcos depende de atributos como capacidade de infiltração de água e resistência à desagregação e ao transporte de partículas de pequenos agregados, e considerando que o Argissolo combina as características de menor capacidade de infiltração, baixa resistência à desagregação quando úmido e maior proporção de partículas mais finas que o Cambissolo, os resultados encontrados estão

coerentes com o que era esperado. Outro fator importante na erodibilidade pode estar relacionado à expansividade dos solos. Posteriormente à realização dos testes de erodibilidade em entressulcos, foi possível observar fendas na superfície do Argissolo, caracterizando a presença de alguma argila expansiva. No Cambissolo, as fendas não foram observadas.

Os valores de erodibilidade em entressulcos calculados segundo Kinnell (1993b) são mais coerentes do que os obtidos de acordo com Foster (1982). Isto porque a equação proposta por este autor ignora os efeitos do escoamento superficial e a infiltração de água no solo. A própria lâmina de escoamento formada na superfície do solo, com o passar do tempo de chuva, reduz a energia advinda da precipitação. Além disso, os valores dos expoentes da precipitação encontrados por Foster (1982) variaram de 1,36 a 2,54. Portanto, o valor 2 utilizado na fórmula é uma fonte de erro. Fazendo uma análise da referida equação, verifica-se que um erro equivalente a 1% no expoente da intensidade de precipitação pode levar a diferenças de 25% no valor de erodibilidade em entressulcos.

## **4.2.2 Erodibilidade em sulcos ( $K_r$ )**

### **4.2.2.1 Taxa de desprendimento em sulcos e perda total de solo**

As taxas de desprendimento de solo em função do tempo de aplicação de água nos sulcos estão apresentadas na Figura 4.9. Os pontos das curvas referentes a cada vazão correspondem à média de quatro repetições, calculadas a partir do escoamento e da concentração de sedimentos do escoamento superficial, apresentadas no Apêndice D.

Observa-se uma redução acentuada das taxas de desprendimento com o transcorrer do tempo de aplicação de água nos sulcos. Resultados semelhantes foram obtidos por Giasson e Cassol (1996), os quais verificaram que as taxas de desprendimento em sulcos foram decrescentes até os 20 minutos de teste e depois estabilizaram, para vazões de 10, 20, 30, e 40 L min<sup>-1</sup>.

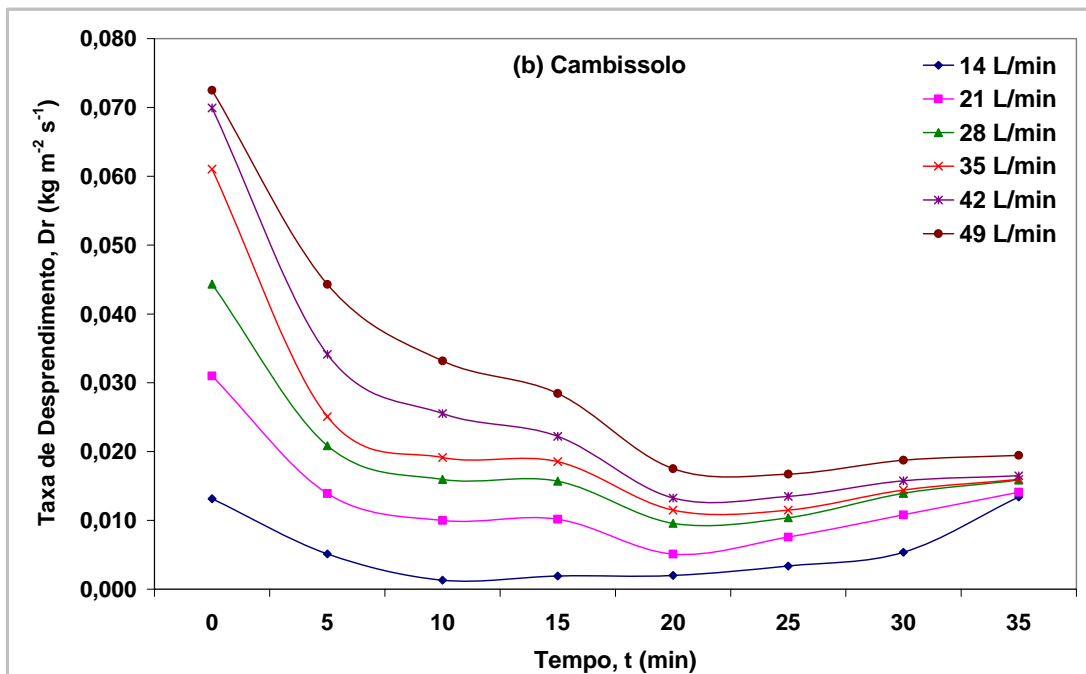
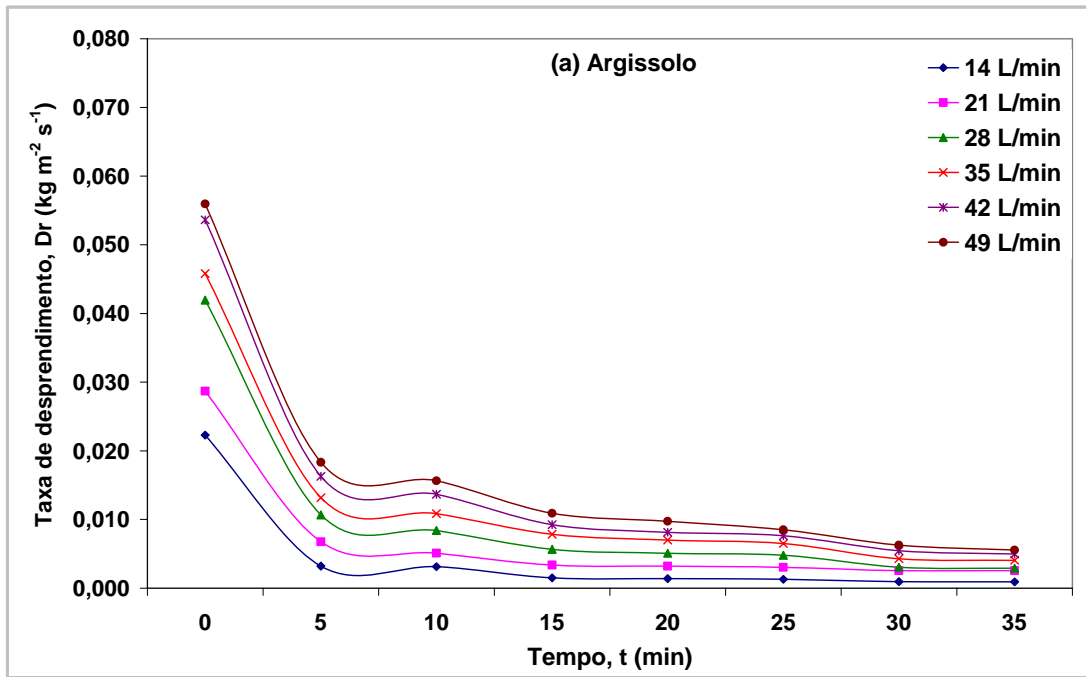


Figura 4.9. Taxa média de desprendimento de solo nos sulcos em função do tempo de aplicação de água, considerando diferentes vazões aplicadas no Argissolo (a) e no Cambissolo (b).

Braida (1994) também encontrou taxas de desprendimento em sulcos decrescentes no início dos testes para todas as vazões estudadas (10, 20, 30, 40 e 50 L min<sup>-1</sup>), que tornaram-se relativamente estáveis após 20 minutos.

De maneira geral, as maiores taxas de desprendimento ocorreram nos minutos iniciais dos testes, decrescendo rapidamente após esse período, sendo esses decréscimos mais acentuados nas vazões mais altas. Nos minutos finais, a desagregação nos sulcos aconteceu em taxas mais ou menos constantes. A ocorrência das maiores taxas de desprendimento no início dos testes provavelmente esteja relacionada à menor coesão das partículas da camada superficial do solo, ao fato do solo ter sido preparado pouco antes da realização dos testes e, também, porque no pré-umedecimento do solo a água atingia o solo praticamente sem energia. Assim, não houve tempo e nem condições para que as partículas desagregadas pelo preparo se reacomodassem, estando muito soltas e fáceis de serem removidas pelo escoamento de água nos sulcos. Portanto, é provável que nem todo o sedimento transportado pelo escoamento superficial concentrado tenha sido por ele desagregado, mas que muito desse sedimento tenha sido desagregado no preparo do solo permanecendo assim até ser transportado.

Após 15 minutos de teste aproximadamente, no caso do Argissolo, e 20 minutos, no caso do Cambissolo, as taxas de desprendimento foram menores e praticamente constantes. Nesse momento, o sedimento transportado é aquele desagregado pelo escoamento tornando a taxa de desprendimento menor e mais constante com o tempo.

No Quadro 4.2 estão apresentadas, para os solos estudados, as vazões médias de escoamento no final do sulco ( $Q_{es}$ ), as taxas médias de desprendimento de solo em sulcos ( $D_r$ ) e as perdas totais de solo (PS) para as diferentes vazões aplicadas no início do sulco ( $Q_i$ ). Os valores apresentados expressam as médias de quatro repetições calculadas para os diversos instantes em que foram medidas a velocidade média e a vazão de escoamento no final do sulco.

Quadro 4.2. Vazões médias aplicadas no início do sulco ( $Q_i$ ), Vazões médias de escoamento no final do sulco ( $Q_{es}$ ), taxas médias de desprendimento de solo em sulcos ( $D_r$ ) e perdas totais de solo (PS) em função das vazões aplicadas.

$Q_i$ (L min <sup>-1</sup> )	Argissolo			Cambissolo		
	$Q_{es}$ (L min <sup>-1</sup> )	$D_r$ (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	PS (kg)	$Q_{es}$ (L min <sup>-1</sup> )	$D_r$ (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	PS (kg)
14	12,7	0,006335	18,89	12,0	0,004695	14,13
21	20,8	0,009436	29,46	20,6	0,014037	60,83
28	27,0	0,014255	51,05	27,6	0,021286	114,54
35	33,8	0,016944	91,34	35,8	0,027113	204,03
42	41,3	0,020171	134,64	41,9	0,032984	232,08
49	48,2	0,022061	214,70	49,1	0,039199	263,82

Observa-se no Quadro 4.2 que as vazões médias de escoamento no final do sulco apresentaram pequenas diferenças em relação aos valores previstos inicialmente. Salienta-se que os valores de perda de solo e também as taxas de desprendimento de solo em sulcos devem ser comparados com cautela, pois a declividade dos sulcos para o Argissolo (2,3%) foi muito inferior à declividade dos sulcos para o Cambissolo (9,6%).

Sugere-se com isso que as taxas de desprendimento do solo em sulcos e as perdas totais de solo para uma mesma condição de declividade seriam expressivamente superiores para o Argissolo em relação ao Cambissolo.

Verifica-se que a perda de solo para a menor vazão foi inferior a perda observada para a maior vazão em aproximadamente 95% para o Cambissolo e 91% para o Argissolo. A maior diferença de perdas de solo ocorreu devido ao incremento da quarta para a terceira vazão aplicada no Argissolo (1,8 vezes) e da segunda para a primeira vazão para o Cambissolo (4,3 vezes).

#### 4.2.2.2. Características geométricas dos sulcos e hidráulicas do escoamento

No Quadro 4.3 estão apresentadas a área molhada (A), o raio hidráulico (R) e o perímetro molhado (Pm) da seção transversal de escoamento, para cada vazão aplicada. Esses valores representam a média das medições feitas em dois pontos dos sulcos e em dois momentos do teste, com quatro repetições. Os valores para cada repetição estão apresentados no Apêndice D.

Pelos valores obtidos, verifica-se que o aumento da vazão aplicada aos sulcos resultou em variação expressiva da área (A), do raio hidráulico (R) e do perímetro molhado da seção transversal.

As equações 4.1 e 4.2 que descrevem a variação do raio hidráulico como função da área média da seção transversal do escoamento para o Argissolo e para o Cambissolo são, respectivamente:

$$R = 0,212 A^{0,231} \quad (R^2 = 0,90) \quad (4.1)$$

$$R = 0,208 A^{0,267} \quad (R^2 = 0,89) \quad (4.2)$$

em que,

R = raio hidráulico da seção transversal de escoamento, (m); e

A = área da seção transversal de escoamento, (m<sup>2</sup>).

Foster et al. (1982) observaram que o expoente das relações anteriores variou de 0,51 a 0,57, enquanto que Giasson e Cassol (1996) obtiveram expoente igual a 0,42 e Braida (1994) igual a 0,53. Esta diferença entre os valores da literatura e os observados não implicam em inadequação de procedimento, e sim pode estar relacionada à construção dos sulcos ou a evolução da geometria dos sulcos em função, principalmente, das diferenças de textura de solo.

Quadro 4.3. Área (A), perímetro molhado ( $P_m$ ) e raio hidráulico (R) da seção transversal de escoamento em função das vazões aplicadas nos sulcos ( $Q_i$ ). Médias de quatro observações em quatro repetições

$Q_i$ (L min <sup>-1</sup> )	Argissolo			Cambissolo		
	A (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	$P_m$ (m)	R (m)x10 <sup>-2</sup>	A (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	$P_m$ (m)	R (m)x10 <sup>-2</sup>
14	0,714	0,185	0,385	0,765	0,181	0,422
21	0,997	0,224	0,445	1,119	0,223	0,501
28	1,210	0,247	0,489	1,401	0,250	0,561
35	1,434	0,270	0,531	1,762	0,276	0,639
42	1,709	0,291	0,587	2,013	0,293	0,687
49	2,144	0,309	0,693	2,311	0,311	0,742

A velocidade média do escoamento foi obtida a partir da média das velocidades superficiais medidas para cada sulco, usando a equação 3.6. Os resultados, apresentados no Quadro 4.4, mostram um aumento da velocidade média e da tensão cisalhante média do escoamento superficial com o aumento da vazão aplicada ao sulco. Na Figura 4.10 estão apresentadas as curvas de ajuste da velocidade média em função da vazão média aplicada, para os dois solos estudados. As velocidades instantâneas, medidas durante os testes, estão apresentadas no Apêndice D.

Quadro 4.4. Velocidade média ( $V_m$ ) e tensão cisalhante média do escoamento ( $\tau$ ) em função das vazões aplicadas nos sulcos ( $Q_i$ )

$Q_i$ (L min <sup>-1</sup> )	Argissolo		Cambissolo	
	$V_m$ (m s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (N m <sup>-2</sup> )	$V_m$ (m s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (N m <sup>-2</sup> )
14	0,402	0,774	0,373	3,981
21	0,470	0,895	0,476	4,729
28	0,503	0,983	0,495	5,293
35	0,533	1,067	0,515	6,032
42	0,544	1,180	0,521	6,482
49	0,507	1,393	0,499	7,000

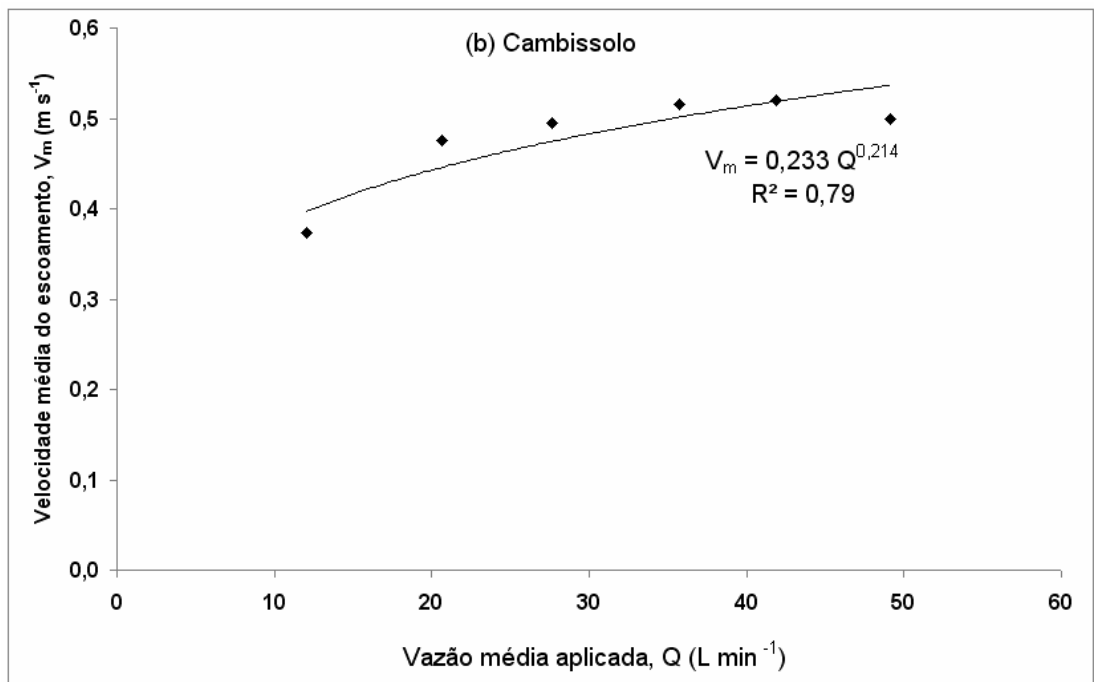
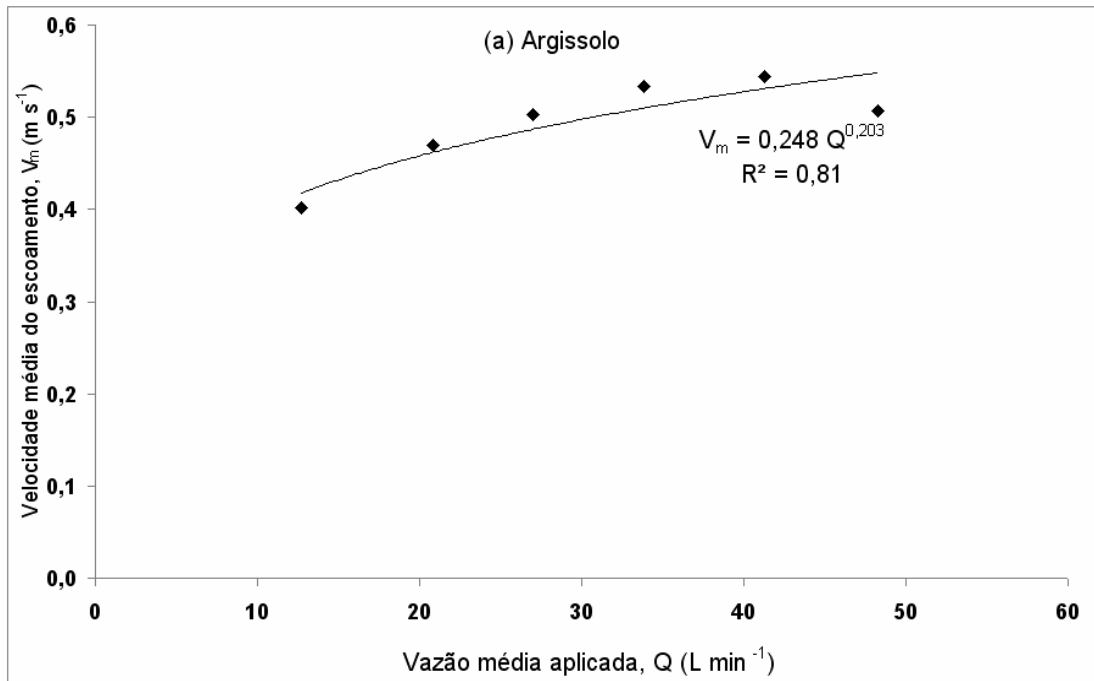


Figura 4.10. Velocidade média do escoamento em função da vazão média aplicada em sulcos no (a) Argissolo e no (b) Cambissolo.

A relação potencial entre velocidade média do escoamento e a vazão média aplicada foi proposta por Chow (1959). Para este modelo, Meyer et al. (1975) citado por Braida (1994) encontrou expoente igual a 0,32, enquanto que Giasson e Cassol (1996) e Braida (1994) obtiveram expoente igual a 0,27 em ambos os trabalhos.

Na Figura 4.11 estão apresentadas tensões cisalhantes médias do escoamento em função da vazão média aplicada, para os dois solos estudados. A relação potencial entre a tensão cisalhante média e a vazão média aplicada mostra que o aumento da tensão cisalhante é proporcionalmente menor quando as vazões são mais elevadas.

Verifica-se que os expoentes das regressões para os dois solos foram próximos, sendo os mesmos superiores aos valores obtidos por Foster et al. (1984) e Giasson (1992) 0,34 e 0,37, respectivamente, já Braida (1994) observou valor semelhante, 0,41.

#### **4.2.2.3. Erodibilidade em sulcos ( $K_r$ ) e tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ )**

Na Figura 4.12 estão apresentadas a erodibilidade do solo em sulcos e a tensão cisalhante crítica dos solos estudados. Foram considerados valores médios de taxa de desprendimento dos primeiros 20 minutos de teste, nas quatro repetições.

Observa-se na Figura 4.12 que os valores de erodibilidade em sulcos foram iguais a 0,0268 e 0,0108  $\text{kg N}^{-1} \text{s}^{-1}$  para o Argissolo e para o Cambissolo, respectivamente. As tensões cisalhantes críticas do solo foram iguais a 0,495  $\text{N m}^{-2}$  (Argissolo) e 3,481  $\text{N m}^{-2}$  (Cambissolo).

Cantalice et al. (2005) encontraram para um Argissolo Vermelho distrófico típico com textura franco-argilo-arenosa erodibilidade em sulcos de 0,0024  $\text{kg N}^{-1} \text{s}^{-1}$ , expressivamente inferior aos valores encontrados no presente trabalho, e tensão crítica de cisalhamento de 2,75  $\text{N m}^{-2}$ , inferior (21%) à do Cambissolo e superior (5,6 vezes) à do Argissolo. Giasson e Cassol (1996) encontraram para o mesmo Argissolo Vermelho distrófico um valor de 1,13  $\text{N m}^{-2}$  para tensão crítica de cisalhamento, e uma erodibilidade

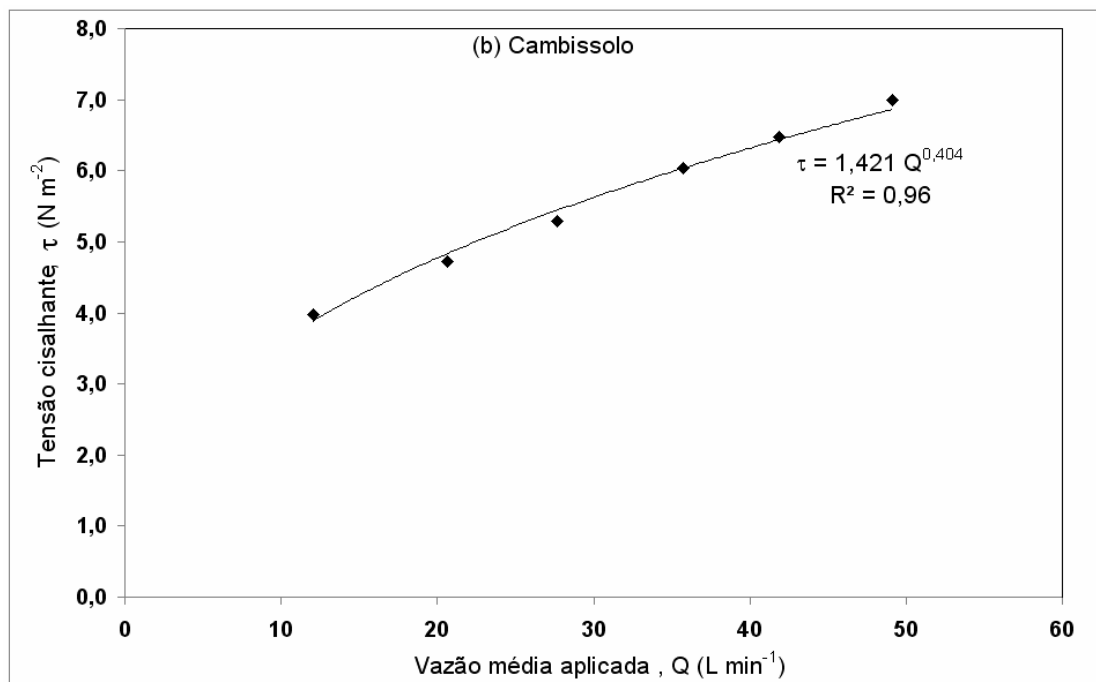
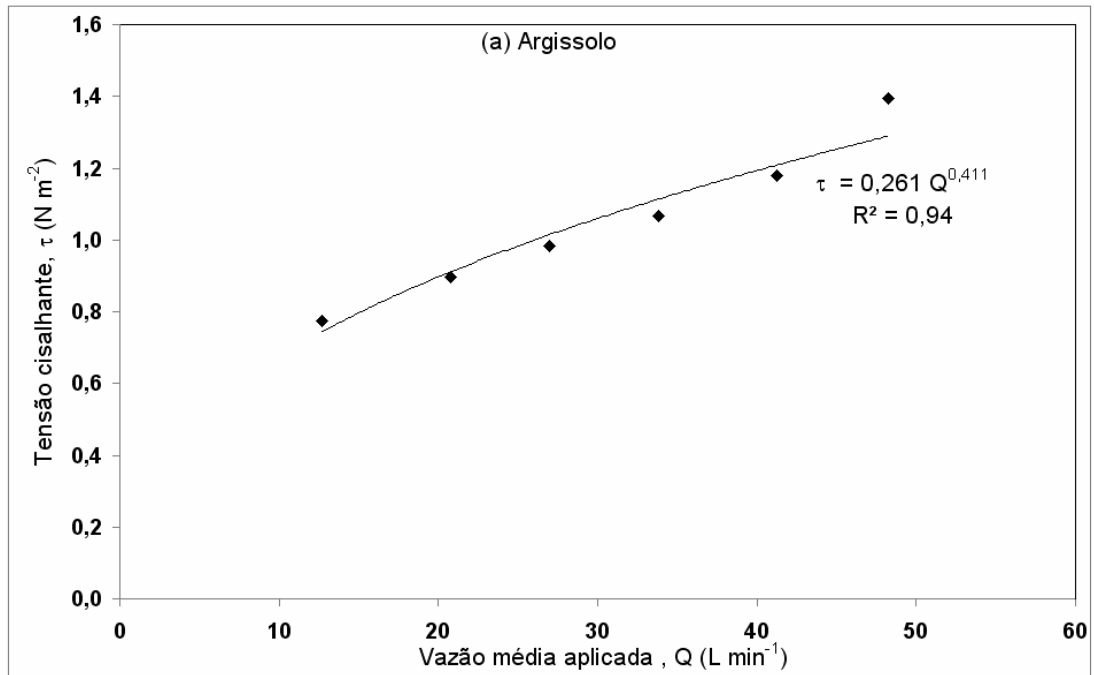


Figura 4.11. Tensão cisalhante média do escoamento em função da vazão aplicada aos sulcos para o (a) Argissolo e o (b) Cambissolo.

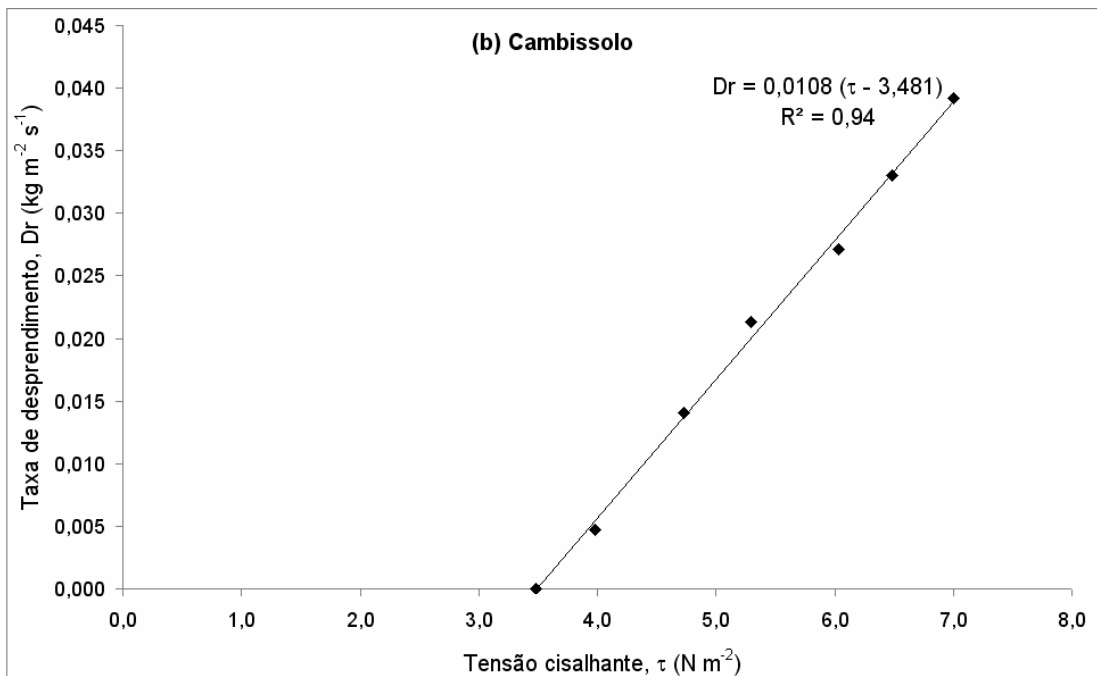
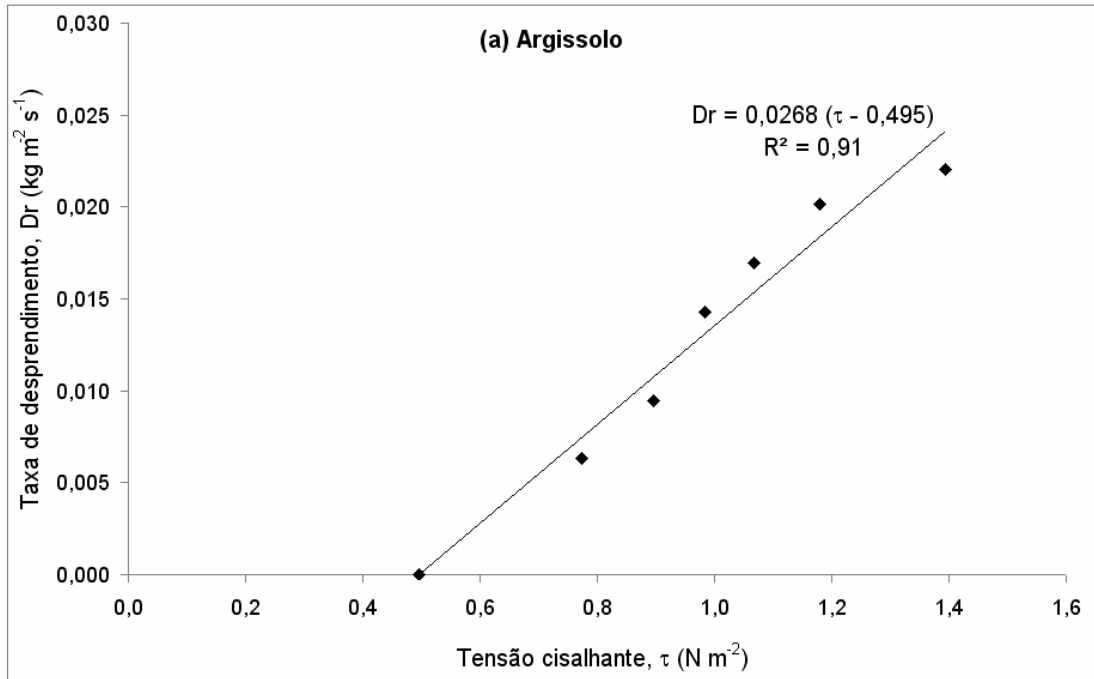


Figura 4.12. Taxa de desprendimento de solo nos sulcos em função da tensão cisalhante média do escoamento para o (a) Argissolo e para o (b) Cambissolo.

do solo em sulcos de  $0,0077 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , em torno de 19% menor que a determinada para o Cambissolo e aproximadamente 70% menor que a observada para o Argissolo. Para um Argissolo Vermelho distrófico arênico, Braida e Cassol (1996) determinaram valores de  $K_r$  de  $0,0104 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e  $\tau_c$  de  $4,81 \text{ N m}^{-2}$ .

Observa-se que a diferença dos dados de erodibilidade em sulcos e de tensão cisalhante são expressivas. No caso do presente estudo o Cambissolo apresentou erodibilidade em sulcos 40% inferior à do Argissolo. A tensão cisalhante crítica do Cambissolo foi expressivamente superior (603%) à do Argissolo.

A diferença dos resultados encontrados pode ser explicada pela diferença de gênese e de comportamento dos solos. A presença do horizonte B textural e a maior expansividade do Argissolo proporcionou maior erodibilidade em sulcos quando comparado ao Cambissolo. No horizonte A do Cambissolo, em razão da presença da matéria orgânica, aparentemente, diminuiu a erodibilidade em sulcos, que deve ser menor em solos com menor grau de estruturação. Notou-se, por meio dos testes experimentais, que o Argissolo, quando seco, apresentava grande coesão, que dificultava o preparo da área. Porém, quando umedecido, se desagregava facilmente.

No que diz respeito ao Cambissolo o comportamento foi totalmente diferente do Argissolo e o preparo da área não foi dificultado em termos de coesão do solo. O manejo do solo não sofreu grandes alterações em função do teor de água do solo.

No decorrer da aplicação de água nos sulcos, foi possível observar três subprocessos erosivos característicos da erosão em sulcos e descritos por Meyer et al. (1975) citado por Braida (1994).

Tais subprocessos incluem desprendimento do solo no perímetro molhado do sulco, desmoronamento das paredes laterais dos sulcos e desprendimento intenso localizado em pontos de maior turbulência do escoamento superficial concentrado deformando o sulco e alterando as características hidráulicas do escoamento, formando degraus ou desníveis na calha do sulco.

Esses subprocessos foram mais destacados no Cambissolo, principalmente em decorrência das características da encosta onde os sulcos foram construídos, que apresentou declividade bem superior (9,6%) a do Argissolo (2,3%). No caso do Cambissolo, o escoamento concentrado não preenchia, então, todo o canal formado, desgastando apenas a porção inferior das paredes laterais do sulco. O cisalhamento na base do sulco provocou solapamento. Assim, as paredes perdiam a estabilidade e, por ação do próprio peso, desmoronavam para o interior dos sulcos, sendo o solo removido pelo escoamento.

#### **4.2.3. Condutividade hidráulica efetiva**

Na Figura 4.13 estão apresentadas as curvas de ajuste, obtidas por regressão, da taxa de infiltração de água em função do tempo de aplicação da chuva artificial, para os solos estudados. Os pontos representam a média de três repetições. Os valores medidos em cada repetição estão apresentados no Apêndice E.

Em função das características de cada solo estudado, o tempo de teste foi diferenciado, correspondendo a 360 e 540 minutos para o Argissolo e para o Cambissolo, respectivamente. A condutividade hidráulica efetiva foi considerada como sendo a taxa de infiltração estável, o que correspondeu a 7,3 mm h<sup>-1</sup> para o Argissolo e 13,3 mm h<sup>-1</sup> para o Cambissolo.

Observou-se que para o Argissolo a tendência de estabilização ocorre em tempo inferior ao do Cambissolo. Nota-se que a variação na taxa de infiltração de água é mais acentuada e ocorre com menor intervalo de tempo no caso do Argissolo. Enquanto que para o Argissolo esse tempo foi por volta de 90 minutos de teste, para o Cambissolo chegou a aproximadamente 270 minutos.

A explicação para esta diferença está na capacidade de infiltração de água de cada solo. O Argissolo apresenta horizonte B textural, o que reduz a sua capacidade de infiltração e, conseqüentemente, aumenta o escoamento superficial e diminui a taxa de infiltração. Desta forma, o Argissolo apresenta menores valores de taxa de infiltração estável, isto é, menor  $K_e$  comparado ao Cambissolo.

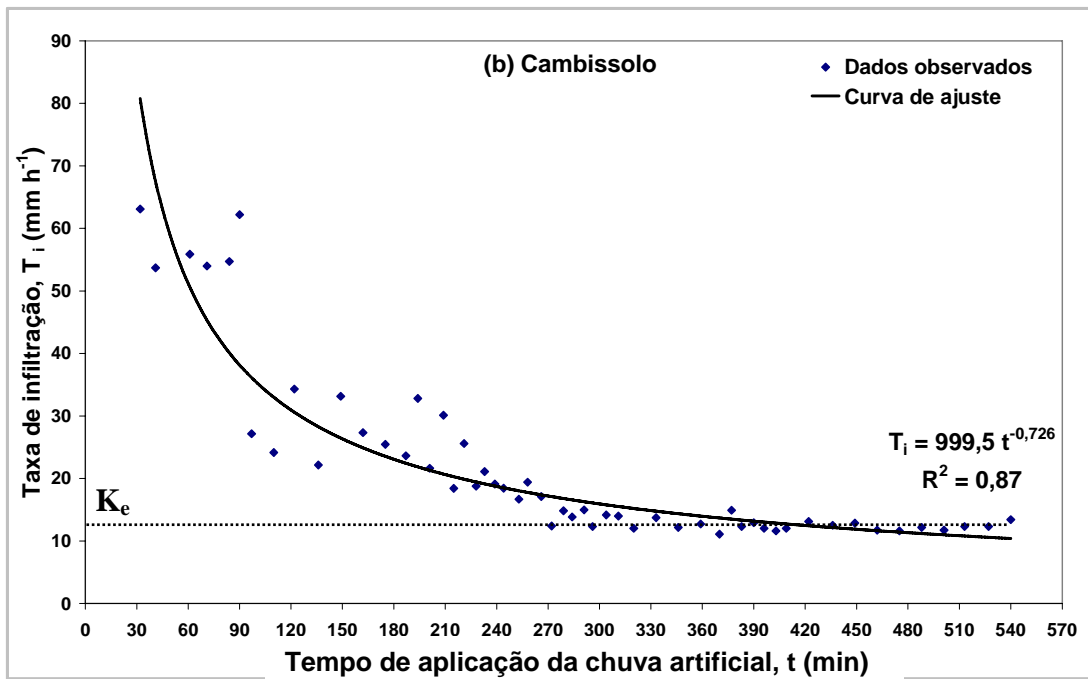
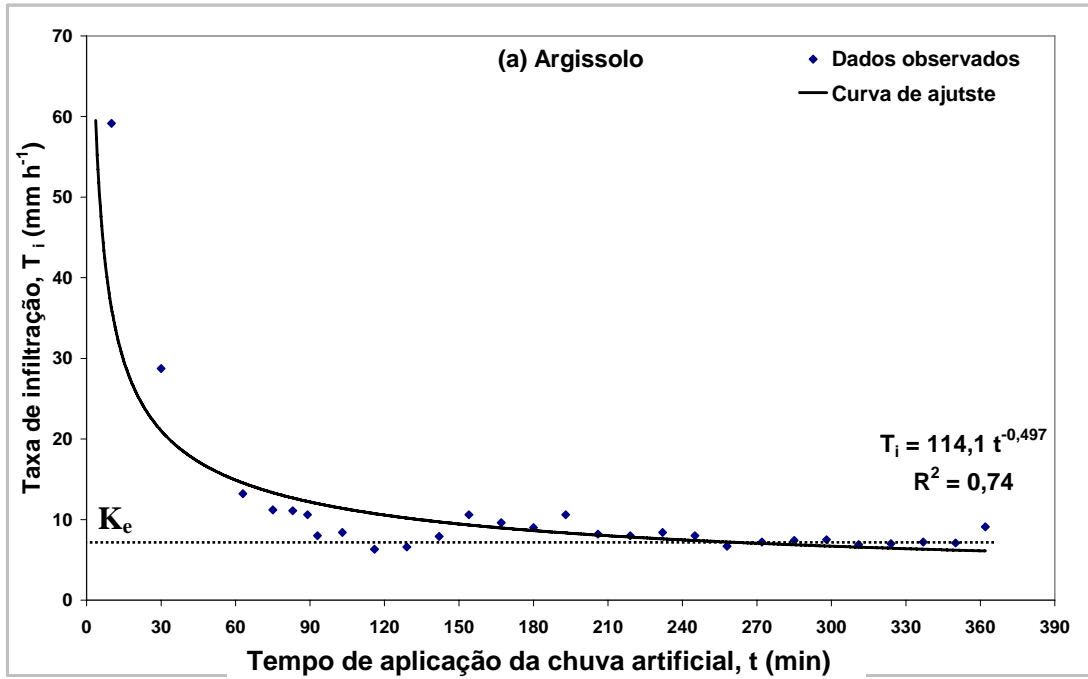


Figura 4.13. Taxa de infiltração de água no solo em função do tempo de aplicação da chuva artificial e a representação da condutividade hidráulica efetiva para os solos estudados.

#### **4.2.4. Comparação dos parâmetros $K_i$ , $K_r$ , $\tau_c$ e $K_e$ obtidos experimentalmente com os valores gerados pelas equações utilizadas no WEPP**

No Quadro 4.5 estão apresentados os valores de  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente em solos do tipo Cambissolo e Argissolo e os gerados pelas equações utilizadas no WEPP. É possível observar que os valores dos parâmetros estimados pelo WEPP para o Cambissolo foram superiores aos estimados para o Argissolo, exceção feita à tensão cisalhante crítica, que apresentou os mesmos valores para os dois solos. Estes valores contradizem os resultados obtidos experimentalmente para  $K_i$  e  $K_r$ .

Verifica-se que para o Cambissolo houve superestimativa dos parâmetros  $K_i$  e  $K_r$ , e subestimativa de  $\tau_c$  e  $K_e$ . Para o Argissolo foram superestimados  $K_i$  e  $\tau_c$ , e subestimados  $K_r$  e  $K_e$ . No entanto,  $K_i$  foi ligeiramente superestimado (1,6%) para o Argissolo e expressivamente (161,3%) para o Cambissolo. A subestimativa de  $K_e$  foi de 81,2% e 90,4% para o Cambissolo e para o Argissolo, respectivamente. O WEPP subestimou a tensão cisalhante crítica em 15,2% para o Cambissolo e a superestimou em 496% para o Argissolo. A erodibilidade em sulco foi superestimada em 34,3% para o Cambissolo e subestimada em 47,8% para o Argissolo.

Comparando os valores estimados para este estudo com dados da literatura obtidos experimentalmente por Giasson (1992), em Plintossolo franco-argilo-arenoso, e por Braida (1994), em Argissolo Vermelho Escuro, verifica-se que a estimativa de  $K_r$  apresentou valor superior e de  $\tau_c$  inferior. Portanto, esta constatação corrobora com o observado para o Cambissolo e contradiz com o verificado para o Argissolo. A subestimativa de  $K_e$ , verificada tanto para o Argissolo quanto para o Cambissolo, já havia sido evidenciada por outros pesquisadores (DeMARIA et al., 2001; AMORIM, 2004). Rockembach (1992) obteve experimentalmente, para Argissolo Vermelho Amarelo, valor de  $K_i$  ligeiramente superior (7,7%) ao valor de  $K_i$  gerado pela equação utilizada pelo WEPP, para o Argissolo, no presente estudo.

Quadro 4.5. Parâmetros de erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ), erodibilidade no sulco ( $K_r$ ), tensão cisalhante crítica ( $\tau_c$ ) e condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ), obtidos experimentalmente, e os valores gerados no WEPP em função das características do solo

Parâmetros	Cambissolo		Argissolo	
	Experimental	WEPP	Experimental	WEPP
$K_i$ ( $\text{kg s m}^{-4}$ ) $\times 10^6$	1,26433	3,30430	3,06176	3,11220
$K_r$ ( $\text{kg N}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	0,0108	0,0145	0,0268	0,0140
$\tau_c$ ( $\text{N m}^{-2}$ )	3,481	2,950	0,495	2,950
$K_e$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )	13,3	2,5	7,3	0,7

Com relação aos procedimentos de cálculo dos parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  ressalta-se ainda, a importância da análise dos resultados frente às propriedades físicas e químicas dos solos estudados, e apresentadas no Quadro 3.1.

Destaca-se que são utilizadas duas expressões relativas às estimativas de cada parâmetro ( $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ ) no modelo WEPP. Estas expressões consideram somente parâmetros texturais do solo, areia muito fina e argila, e um único fator cimentante, matéria orgânica (MO). O que determina o emprego de uma expressão ou outra é o percentual de areia na superfície do solo (30%), para determinação de  $K_i$ ,  $K_r$  e  $\tau_c$ , e o percentual de argila (40%), para estimativa de  $K_e$ . Referindo-se à condutividade hidráulica efetiva, se o percentual de argila for menor ou igual a 40% a expressão considera, além da fração de areia, a capacidade de troca catiônica (CTC). Quanto maior a capacidade de troca catiônica, menor a condutividade hidráulica efetiva.

No entanto, esses parâmetros são afetados por outras características do solo tais como: umidade inicial, estrutura, conteúdo de óxidos de ferro e de alumínio como agentes cimentantes dos solos tropicais, ligações eletroquímicas, mineralogia e grau de intemperismo.

Fica evidente, por meio da análise do Quadro 3.1 conjuntamente com o Quadro 4.5, aliado aos percentuais de areia e argila que determinam o emprego das expressões para a determinação dos parâmetros estudados, que os dois solos do presente estudo foram considerados pelo modelo

WEPP como solos de comportamento semelhantes em termos de erodibilidade e condutividade hidráulica efetiva. Em campo, como pôde ser verificado no item 4.2, o Argissolo e o Cambissolo apresentaram comportamento completamente diferente. Este fato mostra o porquê das expressivas diferenças entre os valores dos parâmetros, obtidos experimentalmente, e os estimados pelo WEPP.

Observa-se, ainda, que o parâmetro de melhor estimativa foi a erodibilidade em entressulcos para o Argissolo. Analisando o valor encontrado por Rockembach (1992) para solo do mesmo tipo do presente estudo, e comparando-o com os valores estimados pelo WEPP e o encontrado experimentalmente, sugere-se que este tipo de solo se adequou melhor ao modelo quanto à estimativa de  $K_i$  por apresentar frações texturais mais finas do que as do Cambissolo, uma vez que tais frações são mais fáceis de serem desprendidas pelo impacto das gotas de chuvas e, portanto, estar mais condizente com as características para as quais a expressão foi obtida.

A subestimativa da condutividade hidráulica efetiva está provavelmente relacionada às diferenças de características dos solos que geraram as expressões utilizadas para a estimativa pelo WEPP. Comparando-se os valores de  $K_e$  obtidos por simulador de chuva para as condições norte americanas pôde-se observar que os valores que se encontraram mais próximos dos dados obtidos experimentalmente no presente estudo foram observados para solos com características muito diferentes. Para o Argissolo a diferença está principalmente na capacidade de troca catiônica, onde os solos que geraram as expressões utilizadas pelo WEPP, em geral, apresentaram valores expressivamente superiores aos do Argissolo. Quando a comparação foi feita com o Cambissolo percebeu-se que a principal diferença está na fração areia, com os solos norte americanos apresentando teores expressivamente superiores ao do Cambissolo.

O outro fator constatado foi que a otimização do modelo utilizado para estimar o valor de  $K_e$  foi feita considerando dados de escoamento superficial de evento-a-evento e por meio da média anual de escoamento superficial, estimados pelo método do Número da Curva (CN). Com isso, os

valores de  $K_e$  encontrados pelas equações utilizadas no WEPP tendem a subestimar os valores de condutividade hidráulica efetiva quando comparados aos valores observados por meio de simuladores de chuva (ALBERTS et al., 1995).

As melhores estimativas de erodibilidade no sulco e tensão cisalhante crítica do Cambissolo comparado ao Argissolo provavelmente estão relacionados à coesão, principalmente quando úmidos, e à atividade de argila. Estes fatores não são expressos por análises texturais e a representação por meio das equações utilizadas no WEPP não leva em consideração tais fatores. O Argissolo apresentou ser um solo bastante coeso quando seco, porém, quando úmido suas partículas eram facilmente desprendidas pela tensão cisalhante do escoamento superficial. Associado a esta constatação está a expansividade das argilas do Argissolo que proporcionam maior erodibilidade aos solos. O Cambissolo por não apresentar diferença expressiva na presença de umidade quando comparado ao solo seco, e por não ser observado para este solo as fendas que caracterizam a argila expansiva, foi melhor representado pelos parâmetros texturais quando comparado ao Argissolo.

#### **4.3. Comparação das perdas de solo e de água estimadas para o Cambissolo pelo modelo WEPP com as obtidas experimentalmente**

No Quadro 4.6 estão apresentados os dados de perdas de solo e de água estimados para o Cambissolo, pelo modelo WEPP, e obtidas nas parcelas experimentais conduzidas no presente trabalho, com os respectivos desvios das estimativas.

Observa-se, neste quadro, que as estimativas de perdas de solo e de água na parcela descoberta morro abaixo (DMA) foram superiores às demais perdas de solo e de água das outras parcelas. A parcela preparada e cultivada em nível com milho (MEN) foi a que apresentou as menores perdas de solo e de água. Estes resultados estão de acordo com os encontrados experimentalmente, ou seja, para os dados simulados e observados, as parcelas com cultivo de milho (MMA e MEN) apresentaram perdas de solo e de água inferiores às parcelas cultivadas com soja (SMA e SEN).

Nota-se, também, que independente das simulações (Estimado1, Estimado2 e Estimado3) as perdas de solo e de água foram superiores às observadas experimentalmente (Observado) para todos os tratamentos. As perdas de solo do Estimado1 não apresentaram diferenças expressivas em relação ao Estimado2. Este fato associado ao valor de  $K_i$  obtido utilizando a metodologia de Kinnell (1993b) ter sido aproximadamente 52% superior ao valor de  $K_i$  encontrado por meio da metodologia proposta por Foster (1982), indica que, devido às dimensões das parcelas experimentais, há predominância do processo de erosão em sulco para as condições estudadas. Tal indício já havia sido constatado por Amorim (2004) quando da análise comparativa dos índices de sensibilidade do WEPP referentes aos parâmetros do solo.

A erodibilidade em entressulcos não influencia na perda de água e, portanto, os valores referidos ao Estimado1 e Estimado2 para as perdas de água são os mesmos, como pode ser constatado no Quadro 4.6. Pode-se observar que os desvios (Desvio1) das perdas de solo do Estimado1 em relação às obtidas experimentalmente (Observado) variaram de 0,85 kg m<sup>-2</sup> (DEN) a 2,52 kg m<sup>-2</sup> (SMA). Considerando o Desvio3, os menores e maiores valores observados foram de 4,41 kg m<sup>-2</sup> e 9,02 kg m<sup>-2</sup> para MEN e DMA, respectivamente.

Quadro 4.6. Médias das perdas de solo e de água estimadas pelo modelo WEPP e obtidas experimentalmente em Cambissolo sob condições de chuva natural durante o período de 11/11/2002 a 21/03/2007

	Perda de solo (kg m <sup>-2</sup> )						Perda de água (mm)					
	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
Estimado1	5,43	3,40	3,36	2,69	2,37	1,56	309,64	241,75	231,85	203,96	193,72	160,12
Estimado2	5,52	3,41	3,38	2,70	2,39	1,56	309,64	241,75	231,85	203,96	193,72	160,12
Estimado3	13,01	9,52	8,90	7,82	6,46	4,74	595,50	501,78	475,98	438,10	396,74	347,53
Observado	3,99	2,56	0,85	0,48	0,46	0,34	88,61	60,80	40,97	46,63	30,39	24,23
Desvio1	1,44	0,85	2,52	2,22	1,91	1,22	221,03	180,95	190,88	157,33	163,33	135,89
Desvio2	1,53	0,86	2,54	2,23	1,93	1,22	221,03	180,95	190,88	157,33	163,33	135,89
Desvio3	9,02	6,98	8,06	6,76	6,00	4,41	506,89	440,98	435,01	391,47	366,35	323,30
Amplitude	4,31	2,73	2,14	0,94	1,08	0,91	110,11	127,86	54,52	39,76	41,93	50,49

Estimado 1 – Simulação em Cambissolo utilizando parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente; Estimado 2 – Simulação em Cambissolo utilizando valor de  $K_i$  obtido de acordo com a metodologia proposta por Kinnell (1993b); Estimado 3 – Simulação em Cambissolo utilizando parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  gerados internamente; Observado – Perdas observadas nas parcelas experimentais em Cambissolo; Desvio 1 – Desvio observado entre valor estimado 1 e observado; Desvio 2 – Desvio observado entre valor estimado 2 e observado; Desvio 3 – Desvio observado entre valor estimado 3 e observado; Amplitude – amplitude dos dados observados; (SMA) - solo com preparo convencional e cultivado com soja (ambos morro abaixo); (DMA) - solo descoberto com preparo convencional (morro abaixo); (MMA) – solo com preparo convencional e cultivado com milho (ambos morro abaixo); (MEN) - solo com preparo convencional e cultivado com milho (ambos em nível); (DEN) - solo descoberto com preparo convencional (em nível); (SEN) - solo com preparo convencional e cultivado com soja (ambos em nível);

Em média, considerando todos os tratamentos, o Desvio3 para perda de solo foi de aproximadamente  $6,87 \text{ kg m}^{-2}$ , valor expressivamente superior ao Desvio1 que resultou em  $1,69 \text{ kg m}^{-2}$ . O valor médio do Desvio2 para perda de solo foi de  $1,79 \text{ kg m}^{-2}$ , ou seja, 1,5% superior ao Desvio1. Em relação às perdas de água, verifica-se que as maiores perdas ocorreram em DMA, no entanto, o Desvio1 (221,03 mm) foi expressivamente inferior ao Desvio3 (506,89 mm). A parcela MEN, com os menores valores foi a que apresentou melhores estimativas de perda de água, com Desvio1 de 135,89 mm, e Desvio3 igual a 323,30 mm.

Ressalta-se que as estimativas (Estimado1, Estimado2 e Estimado3) para a perda de solo e de água seguiram a mesma tendência que foi observada experimentalmente (Observado) com a seguinte ordem da maior para a menor: DMA, DEN, SMA, SEN, MMA e MEN. No entanto, a perda de água na parcela SEN foi superior à perda de SMA para Observado.

Salienta-se que foi feita a comparação entre os valores dos dados de perdas de solo e de água estimados, com os valores observados experimentalmente. Buscou-se, para isto, a comparação entre os desvios (Desvio1, Desvio2 e Desvio3) e a amplitude dos dados observados (Amplitude), para os diferentes tratamentos, durante os cinco anos de coleta. Verifica-se, com isso, que os desvios (Desvio1) para perda de solo nas parcelas DEN ( $0,85 \text{ kg m}^{-2}$ ) e DMA ( $1,44 \text{ kg m}^{-2}$ ) foram inferiores às amplitudes que foram de  $2,27 \text{ kg m}^{-2}$  e  $4,31 \text{ kg m}^{-2}$ , para DEN e DMA, respectivamente. Para as demais parcelas o Desvio1 foi um pouco superior a Amplitude. Porém, em média o Desvio1, para a perda de solo, foi inferior ao desvio observado experimentalmente, apresentando valores de  $1,69 \text{ kg m}^{-2}$  para Desvio1 e  $1,94 \text{ kg m}^{-2}$  para Amplitude. Considerando Desvio3 o valor do desvio chega a  $6,87 \text{ kg m}^{-2}$  para a perda de solo. Nota-se que a utilização dos parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente para estimativa das perdas de solo no modelo WEPP proporcionou menor desvio entre o valor estimado e observado do que a variação média dos dados experimentais para perda de solo, representado pela Amplitude, durante os cinco anos de coleta. Com relação às perdas de água, observa-se que independente da estimativa, a variação dos dados experimentais foi menor do que os desvios obtidos nas diferentes estimativas. No entanto,

nota-se, para a perda de água, que o Desvio3 foi expressivamente superior ao Desvio1.

Os resultados obtidos com Desvio1 foram inferiores aos obtidos por Tiwari et al. (2000), os quais, utilizando o modelo WEPP para estimativas de perdas de solo, verificaram erro médio obtido de  $2,01 \text{ kg m}^{-2}$  quando se considerou a média anual dos dados experimentais em 20 locais diferentes. O desvio médio verificado com Desvio1 para perdas de solo ( $1,69 \text{ kg m}^{-2}$ ) também são inferiores aos erros encontrados na estimativa de perda de solo no modelo WEPP por Amorim (2004), em cinco das nove localidades estudadas pelo autor. Ressalta-se, ainda, que o erro médio para a perda de solo verificado pelo referido autor, para a mesma área experimental do presente estudo, sem nenhum ajuste nos parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  foi de  $5,10 \text{ kg m}^{-2}$ , valor este expressivamente superior ao Desvio1.

A utilização dos parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  obtidos experimentalmente comparados à utilização de  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$  gerados internamente pelo WEPP melhorou, em média, 306% as estimativas para a perda de solo. Em relação às perdas de água a utilização da condutividade hidráulica efetiva obtida experimentalmente proporcionou melhoria de 135%. Tais observações indicam que a utilização dos parâmetros  $K_i$ ,  $K_r$ ,  $\tau_c$  e  $K_e$ , obtidos experimentalmente proporcionaram melhora expressiva nas estimativas de perda de solo do modelo WEPP. Para as perdas de água, mesmo com o ajuste de  $K_e$ , os desvios das estimativas em relação aos dados são muito superiores aos desvios dos valores observados experimentalmente.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu concluir que:

- O Argissolo quando comparado ao Cambissolo possui maior suscetibilidade à erosão na camada superficial por apresentar valores de erodibilidade em entressulcos e no sulco expressivamente superiores e valores de tensão cisalhante crítica e condutividade hidráulica efetiva expressivamente inferiores;

- As equações do modelo WEPP superestimam os valores de erodibilidade em entressulcos e no sulco e subestimam os valores de tensão cisalhante crítica e condutividade hidráulica efetiva para o Cambissolo; para o Argissolo, superestimam erodibilidade em entressulcos e tensão cisalhante crítica e subestimam erodibilidade no sulco e condutividade hidráulica efetiva;

- A utilização dos parâmetros de solo, obtidos experimentalmente, como dados de entrada do modelo WEPP melhorou em 306% as estimativas de perdas de solo e em 135% as perdas de água; e

- Para as perdas de água, mesmo com ajuste da condutividade hidráulica efetiva, os desvios das estimativas em relação aos dados experimentais das cinco safras agrícolas avaliadas são muito superiores aos desvios dos valores observados experimentalmente.

## 6. REFERÊNCIAS

AGASSI, M. (ed.). Soil erosion, conservation and rehabilitation. New York: Marcel Dekker, 1996, 402 p.

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

ALBERTS, E.E., W.C. MOLDENHAUER, AND G.R. FOSTER. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:590–595. 1980.

ALBERTS, E.E.; NEARING, M.A.; WELTZ, L.; RISSE, M.; PIERSON, F.B.; Soil component. In: Flanagan, D.C.; Nearing, M.A. (ed.) Water Erosion Prediction Project (WEPP) - Technical Documentation. NSERL Report n. 10. West Lafayette: USDA/NSEAL, 1995. cap. 3. 18p.

ALBUQUERQUE A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS J.R Manejo da cobertura do solo sobre as sobre as perdas de solo e água de um Luvisol em Sumé-PB. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 6, p.136-141, 2002a.

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

AMORIM, R. S. S., Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras. Viçosa, MG: UFV, 2003. 123p Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2004.

ANDRADE, R. B; TACHIZAWA, T; CARVALHO, A. B. Gestão Ambiental – Enfoque Estratégico Aplicado ao Desenvolvimento Sustentável; São Paulo: MAKRON Books, 2000.

BASTOS, C.A.B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 256p. Tese Doutorado.

BERTOL, I. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. Univ. Des., 2:174—184, 1994.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. R. Bras. Ci. Solo, 11:187-192, 1987.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres. 1990. 392p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo - SP, Ícone. 1993. 355p.

BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E.; REMLEY, P. A. Interrill soil erosion processes - I: effect of surface sealing on infiltration, runoff and soil splash detachment. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 51, n. 6, p. 1566-1571, Nov./Dec. 1987.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Distribuição do tamanho de partículas do sedimento determinada a campo e em laboratório. Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 2, p. 93-99, 1996a.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos em um Podzólico Vermelho-Escuro franco-arenoso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, p. 127-134, 1996b.

BRAIDA, J.A. Relações da erosão entressulcos, com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em solo Podzólico Vermelho-Escuro. 1994. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BROWN, L. C.; NORTON, L. D. Surface residue effects on soil erosion from ridges of different soils and formation. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 37, p. 1515-1524, 1994.

BRUCE-OKINE, E.; LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. Soil Science, Baltimore, v.119, n.2, p.149-157, Feb. 1975.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 29, n. 4, 2005.

CANTALICE, J.R.B. Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 141p. (Tese de Doutorado).

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERDT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39. n.7, p.685-690, 2004.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesq. agropec. bras., Jan. 2003, vol.38, no.1, p.117-124.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos em um Podzólico Vermelho-Amarelo do Rio Grande do Sul sob diferentes preparos do solo e manejo de resíduos culturais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. Anais... Fortaleza : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFC, 1998. p. 354-355.

CHAVES, H.M.L. Novidades sobre o Water Erosion Prediction Project. In: PEREIRA, V.P., FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (eds). Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal: FCAV/UNESP/SBCS, 1994b, p.207-212.  
CHOW, V. T. Open-channel hydraulics. New York : McGraw-Hill, 1959. 680 p.

COGO N. P.; BERTOL, I. O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos e princípios. In: NUERNBERG, N. J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1998. p. 53 - 75.

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

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a aproximação. RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ V., V. H. (eds.), Viçosa (MG), 1999, 359 p.

COOK, H.L. The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Science Society Proceedings. Madison, p.487-494, 1936.

CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise de redistribuição do "Fallout", do <sup>137</sup>Cs. Piracicaba, 2003, 79p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) Universidade de São Paulo.

DeMARIA, I.C., CHAVES, M.O., DECHEN, S.C.F. Comparação dos resultados do modelo WEPP com os obtidos em condições de chuva natural, durante sete anos, em um latossolo vermelho distroférico típico em Campinas, SP. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia-GO, 2001.

DENARDIN, J.E. Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DRUMOND, M. A. Alterações Fitossociológicas e Edáficas Decorrentes de Modificações da Cobertura Vegetal na Mata Atlântica, Região do Médio Rio Doce, MG. Viçosa: UFV, 73 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 1996.

ELLIOT, W. J., LIEBENOW, A. M., LAFLEN, J. M., KOHL, K. D. 1989. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 and 1988. NSERL Report N° 3. Ohio State University and USDA Agricultural Research Service. Available from USDA-ARS, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, In., 316 p.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies – Part I. Agriculture Engineering, St. Joseph, p.145-146, 1947.

ELLISON, W.D., ELLISON, O.T. Soil erosion studies – Part VII. Agriculture Engineering, St. Joseph, p.442-450, 1947.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. – EMBRAPA – CNPS. Manual de método de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

FERREIRA, L. Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia. Lavras: ESAL, 82p, 1992, (Tese de Mestrado).

FLANAGAN, D. C., ASCOGH II, J. C., NICKS, A. D., NEARING, M. A., LAFLEN, J. M. Overview of the WEPP erosion prediction model. In: USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Lafayette: : USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 1, p. 1.1 – 1.12. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

FLANAGAN, D. C., NEARING, M. A. (eds.). USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Lafayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T., JOHNSON, H. P., BRAKENSIEK, D. L. (eds.). Hydrologic modelling of small watersheds. Michigan: ASAE, 1982. p. 296-380. (ASAE Monograph, 5).

FOSTER, G. R.; HUGGINS, L. F.; MEYER, L. D. A laboratory study of rill hydraulics: II. Shear stress relationships. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, v. 27, n. 3, p. 797-804, 1984b.

FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 25:935-939, 947, 1982.

FRANTI, T. G.; LAFLEN, J. M.; WATSON, D. A. Soil erodibility and critical shear under concentrated flow. St. Joseph : American Society of Agricultural Engineering, 1985. (ASAE Paper, 85-2033).

GIASSON, E.; CASSOL, E. A. Relações da erosão em sulcos com vazões aplicadas e doses de resíduos de trigo incorporados a um Plintossolo franco-argilo arenoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, p. 117-125, 1996.

GILLEY, J. E., WETLZ, M. A. Hydraulics of Overland Flow. In: FLANAGAN, D. C., NEARING, M. A. (eds.). USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Lafayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 10, p 10.1 – 10.7. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

HAIRSINE, P. B., ROSE, C. W. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. *Soil Science Society of America Journal*, n. 55, v. 2, p. 320 – 324, 1991.

KING, K.W. Comparison of rill erodibility parameters as influenced by no-till farming. West Lafayette : Purdue University, 1992. 98 p. M.Sc. Dissertation.

KINNELL, P.I.A. Runoff as a factor influencing experimentally determined interrill erodibilities, *Aust. J. Soil Res.* 31 (1993), pp. 333–342.

LAFLEN, J.M., LANE, L.J., FOSTER, G.R. The water erosion prediction project – a new generation of erosion prediction technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.1, p.34-38, 1991.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). *Soil erosion research methods*. Ankeny : Soil and Water Conservation Society, 1988. p.141-160.

LAL, R. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil Management Support Service, USDA, U.S. Agency for International Development. Ohio, Ohio State University, 1994. 78p. (Technical Monograph n° 21).

LANE, L. J., RENARD, K. G., FOSTER, G. R., LAFLEN, J. M. Development and application of modern soil erosion prediction technology. *Australian Journal of Soil Research*, v. 30, n. 6, p. 893 – 912, 1992.

LAWS, J.O. Recent studies in raindrops and erosion. *Agriculture Engineering*, St. Joseph, v.21, p.431-433, 1940.

LIEBENOW, A. M.; ELLIOT, W. J.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. O. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 33, p. 1882-1888, 1990.

LOMBARDI NETO, F; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. Boletim técnico, no 27, Instituto Agrônômico, Campinas, Brasil. 12p. 1975.

MARQUES, J.F. Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental. São Paulo, 1995. 271p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo.

MARTINS FILHO, M. V.; ENGLER, M. P. C.; IZIDORIO, R.; COTRIN, F. B.; SERRA, E. A.; AMARAL, N. S; SOUZA, Z. M. Modelos para estimativa do subfator cobertura-manejo ( $C_{III}$ ) relativo à erosão entressulcos. Engenharia Agrícola., Jaboticabal, v.24, n.3, p.603-611, set./dez. 2004.

MERMUT, A.R.; LUK, S.H.; ROMKENS, M.J.M.; POESEN, J.W.A. Soil loss by splash and wash during rainfall from two loess soils. Geoderma, Amsterdam, v.75, n.3, p.203-214, 1997.

MEYER L.D., WISCHMEIER W.H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Trans. ASAE. 1969;12:754-758 762.

MEYER, L.D.; MANNERING, J.V. The influence of vegetation and vegetative mulches on soil erosion. Proceedings of the 3rd International Seminar for Hydrology Professors. Purdue University, 1971.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; RÖMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agriculture Research Service. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Washington, 1975. p. 177-189. (USDA. ARS-S, 40).

MOORE, D.C.; SINGER, M.J. Crust formation effects on soil erosion processes. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, pp. 1117–1123. 1990.

MUSGRAVE, C.W. The quantitative evaluation of factors ein water erosion, a first approximation. Journal of Soil and Water Conservation, v.2, p.133-138, 1947.

NICKS, A. D., LANE, L. J. e GANDER, G. A. Weather generator. In: USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Laffayette, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

NOGAMI JS, VILLIBOR DF Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. Villibor, São Paulo, p 240. 1995.

PARANÁ. Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento. Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, 1989. 306 p.

PARKER, D.B.; MICHEL, T.G.; SMITH, J.L. Compaction and water velocity effects on soil in shallow flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.121, n.2, p.170-178, 1995.

PEREIRA, S. B. Desprendimento e arraste de solo em decorrência do escoamento superficial. Viçosa, MG: UFV, 1999. 81p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, T.P.; CARVALHO, J.C.; LIMA, M.C., 2003. Análise do Desempenho de um Modelo Físico para o Ensaio de Inderbitzen. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste, Unb, Brasília, DF, p. 109-115.

PRUSKI, F.F. Aplicação de modelos físico-matemáticos para a conservação de água e solo. In: SILVA, D.D., PRUSKI, F.F. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1997. p.129-171.

REICHERT, J. M.; SCHÄFER, M. J.; ELTZ, F. L. F.; NORTON, L. D. Erosão em sulcos e entressulcos em razão do formato de parcela em Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 7, p. 965-973, jul. 2001.

RENARD, K., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A. PORTER, J.P. RUSLE Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30-33. 1991.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; YODER, D.C.; McCOOL, D.K. RUSLE revised: status, questions, answers, and the future. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.49, n.3, p.213-20, may/jun. 1994.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 11:3-18, 1985.

ROCKENBACH, C. A. Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho Amarelo sob chuva simulada. 1992. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SAVABI, M. R., WILLIAMS, J. R. Water balance and percolation. In: USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Lafayette: : USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 5, p. 5.1 – 5.14. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1997. 252 p.

STONE, J. L., LANE, L. J., SHIRLEY, E. D., HERNANDEZ, M. Hillslope surface hydrology. In: USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Laffayette: : USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap.4, p.4.1 –4.20. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

TIWARI, A. K., RISSE, L. M. e NEARING, M. A. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. Transactions of the ASAE, St Joseph, n. 43, v. 5, p. 1129-1135, 2000.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL – USDA. Water erosion prediction project – WEPP. West Laffayette, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

WEST, L. T.; MILLER, W. P.; LANGDALE, R. R.; BRUCE, R. R.; LAFLEN, J. M.; THOMAS, A. W. Cropping system and consolidation effects on rill erosion in the Georgia Piedmont. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 56, p. 1238-1243, 1992.

WILLIAMS, J.R. Sediment yield predictin with universal equatin using runoff energy factor. In: USDA-ARS (ed.). Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources, Washington, Handbook S-40, 1975. p.244-252.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. Predicting rainfall erosin losses – a guide to conservation planning. Washington, DC., USDA, 1978, 58p. (Handbook, 537).

YOUNG, R.A. WIERSMA, J. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. Water Resources Research, Washington, v.9, n.6, p.1629-1636, 1973.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

Quadro 1A. Diferenças de nível das parcelas experimentais em solo do tipo Cambissolo Háplico Tb distrófico Latossólico

DIFERENÇAS DE NÍVEL (%)						
COMPRIMENTOS	SMA	DMA	MMA	MEN	DEN	SEN
<b>0-1</b>	15,6	20,2	15,2	17,4	15,4	11,8
<b>1-2</b>	16,0	20,4	17,8	16,4	19,2	20,6
<b>2-3</b>	18,2	18,2	18,4	19,2	18,4	14,8
<b>3-4</b>	18,8	17,2	19,2	17,4	17,4	22,4
<b>4-5</b>	13,8	15,6	19,6	22,4	21,2	20,2
<b>5-6</b>	18,0	19,0	21,2	18,2	19,4	17,4
<b>6-7</b>	18,8	15,8	20,0	17,8	18,2	19,8
<b>7-8</b>	15,2	11,8	17,4	22,2	24,6	16,2
<b>8-9</b>	11,4	10,4	12,8	19,8	21,2	20,2
<b>9-10</b>	7,8	7,4	9,8	12,6	17,4	18,2
<b>10-11</b>	11,2	12,8	16,4	18,2	18,4	24,4
<b>Média</b>	<b>15,0</b>	<b>15,3</b>	<b>17,1</b>	<b>18,3</b>	<b>19,2</b>	<b>18,7</b>

SMA - solo preparado de forma convencional (uma aração e duas gradagens) e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; DMA - solo descoberto com preparo convencional no sentido do declive; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível.

## APÊNDICE B

Quadro 1B. Dados de lâmina total precipitada ( $L_{Ppt}$ ), lâmina total acumulada ( $L_{Pptacum}$ ), intensidades de precipitação média ( $Ip_{méd}$ ) e máxima ( $Ip_{máx}$ ), tempo para ocorrência da  $Ip_{máx}$  ( $Tp_{ipmax}$ ) e duração da chuva (D) para cada evento ocorrido

Evento	Data	DAP	$L_{Ppt}$	$L_{Pptacum}$	$Ip_{méd}$	$Ip_{máx}$	$Tp_{ipmax}$	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
1	12/11/2002	1	23,9	23,9	8,7	40,9	35,4	2,7
2	12/11/2002	1	6,5	30,3	1,6	10,2	0,0	7,1
3	15/11/2002	4	7,9	38,2	7,3	30,7	6,9	1,0
4	16/11/2002	5	31,4	69,6	4,6	61,3	3,9	6,8
5	17/11/2002	6	4,4	74,0	0,7	10,2	0,0	6,2
6	19/11/2002	8	32,4	106,4	4,0	92,0	3,3	8,1
7	22/11/2002	11	71,2	177,6	10,8	92,0	15,2	56,6
8	22/11/2002	11	24,2	201,8	4,0	81,8	0,6	6,1
9	24/11/2002	13	37,2	239,0	9,1	122,7	26,0	4,1
10	27/11/2002	16	3,4	242,4	0,7	10,2	0,0	5,0
11	6/12/2002	25	13,0	255,3	35,3	61,3	50,0	0,4
12	7/12/2002	26	16,7	272,0	2,3	61,3	68,8	5,3
13	9/12/2002	28	4,1	276,1	1,0	10,2	0,0	4,1
14	11/12/2002	30	8,5	284,6	2,4	20,5	84,4	3,6
15	11/12/2002	30	6,5	291,1	1,6	10,2	0,0	7,1
16	11/12/2002	30	50,8	341,9	10,5	153,4	42,3	5,0
17	12/12/2002	31	71,6	413,4	2,8	61,3	37,7	25,7
18	16/12/2002	35	3,8	417,2	0,5	5,1	0,0	1,8
19	16/12/2002	35	25,2	442,4	5,6	92,0	76,2	5,7
20	17/12/2002	36	10,6	453,0	4,7	81,8	50,0	0,2
21	17/12/2002	36	16,4	469,3	3,0	30,7	1,8	5,4
22	21/12/2002	40	42,0	511,3	-	-	-	-
23	25/12/2002	44	0,7	512,0	2,0	10,2	0,0	0,3
24	25/12/2002	44	4,8	516,8	3,9	10,2	0,0	1,2
25	30/12/2002	49	1,0	517,8	0,2	10,2	0,0	3,6
26	2/1/2003	52	4,4	522,2	10,2	20,5	69,2	0,4
27	3/1/2003	53	63,0	585,3	6,5	102,2	6,2	9,2
28	4/1/2003	54	69,5	654,8	16,8	173,8	4,0	4,1
29	5/1/2003	55	15,3	670,1	8,07	92,0	7,0	1,9
30	6/1/2003	56	60,0	730,1	4,85	61,3	32,6	12,7
31	7/1/2003	57	20,5	750,6	4,2	20,5	18,5	4,9
32	8/1/2003	58	5,8	756,4	1,4	10,2	0,0	4,1
33	12/1/2003	62	14,7	771,0	4,5	40,9	56,6	3,5
34	13/1/2003	63	31,0	802,0	4,4	92,0	29,8	7,2
35	14/1/2003	64	4,1	806,1	1,2	10,2	26,4	3,0
36	14/1/2003	64	7,2	813,3	1,9	40,9	1,8	3,7

Continua...

Evento	Data	DAP	L <sub>Ppt</sub>	L <sub>Pptacum</sub>	Ip <sub>méd</sub>	Ip <sub>máx</sub>	Tp <sub>ipmax</sub>	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
37	17/1/2003	67	8,5	821,8	7,4	30,7	47,9	0,9
38	17/1/2003	67	7,8	829,6	7,0	30,7	41,9	1,0
39	18/1/2003	68	1,0	830,7	4,4	10,2	14,3	4,3
40	18/1/2003	68	60,0	890,6	4,1	92,0	30,3	14,7
41	20/1/2003	70	26,2	916,9	3,7	51,1	1,0	7,2
42	21/1/2003	71	7,5	924,4	4,6	30,7	10,2	1,6
43	22/1/2003	72	2,4	926,7	0,7	20,5	98,2	3,6
44	22/1/2003	72	8,2	934,9	4,6	40,9	49,1	1,8
45	25/1/2003	75	3,4	938,3	10,2	30,7	20,0	0,3
46	29/1/2003	79	6,5	944,8	14,9	51,1	76,9	0,4
47	29/1/2003	79	14,0	958,8	4,4	81,8	52,0	2,5
48	1/2/2003	82	15,7	974,5	12,6	81,8	26,3	1,3
49	17/2/2003	98	7,8	982,3	7,4	30,7	47,9	1,1
50	17/2/2003	98	9,5	991,8	2,2	10,2	0,8	4,2
51	13/3/2003	122	7,2	999,0	1,2	10,2	0,6	5,8
52	16/3/2003	125	33,4	1032,4	3,7	40,9	5,2	9,0
53	18/3/2003	127	36,8	1069,2	3,2	30,7	32,92	10,8
54	22/3/2003	131	3,4	1072,6	1,1	10,2	1,1	3,1
55	22/3/2003	131	25,6	1098,2	2,2	20,5	33,9	11,5

56	21/12/2003	45	6,8	6,8	-	-	-	-
57	30/12/2003	54	1,6	8,4	-	-	-	-
58	8/1/2004	62	35,6	44,0	-	-	-	-
59	12/1/2004	66	36,1	80,1	3,7	96,7	5,2	9,7
60	15/1/2004	69	15,4	95,5	-	-	-	-
61	23/1/2004	77	145,2	240,7	10,2	71,6	70,6	14,1
62	1/2/2004	86	5,1	245,8	0,6	10,2	4,2	8,0
63	3/2/2004	88	4,4	250,2	12,0	34,1	60,0	0,3
64	8/2/2004	93	5,5	255,7	2,2	10,2	17,6	2,5
65	9/2/2004	94	23,9	279,6	1,2	20,0	20,9	19,5
66	10/2/2004	95	5,8	285,4	0,4	10,2	33,0	14,1
67	11/2/2004	96	30,3	315,7	1,5	13,6	33,4	20,4
68	14/2/2004	99	13,6	329,3	3,6	30,7	47,3	3,7
69	16/2/2004	101	10,6	339,9	0,9	13,3	17,6	11,3
70	17/2/2004	102	89,3	429,2	47,7	197,7	34,5	1,8
71	24/2/2004	109	27,3	456,5	23,2	95,4	23,5	1,1
72	25/2/2004	110	54,5	511,0	15,6	92,0	49,5	3,4
73	26/2/2004	111	45,3	556,3	5,7	63,3	38,3	7,8
74	27/2/2004	112	39,2	595,5	29,2	156,7	12,8	1,3
75	27/2/2004	112	30,7	626,2	3,2	56,7	37,3	9,5
76	27/2/2004	112	10,6	636,8	19,6	60,0	80,0	0,5
77	28/2/2004	113	11,6	648,4	4,5	10,2	8,0	2,5

Continua...

Evento	Data	DAP	L <sub>Ppt</sub>	L <sub>Pptacum</sub>	I <sub>p</sub> <sub>méd</sub>	I <sub>p</sub> <sub>máx</sub>	T <sub>p</sub> <sub>ipmax</sub>	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
78	4/3/2004	118	47,7	696,1	11,0	85,2	12,4	4,3
79	6/3/2004	120	37,5	733,6	3,4	56,7	36,9	10,9
80	12/3/2004	126	15,0	748,6	11,7	90,0	5,4	1,2
81	22/3/2004	136	45,0	793,6	33,5	166,7	12,8	1,3
82	8/4/2004	153	38,0	831,6	-	-	-	-
83	11/4/2004	156	3,6	835,2	-	-	-	-
84	25/4/2004	170	37,2	872,4	-	-	-	-
85	17/5/2004	192	21,1	893,5	14,0	98,8	11,4	1,5
86	18/11/2004	8	62,7	62,7	5,4	116,7	17,7	11,5
87	10/12/2004	30	8,4	71,1	24,3	50,0	55,6	0,3
88	10/12/2004	30	16,5	87,6	6,6	85,2	86,7	2,5
89	11/12/2004	31	34,8	122,4	1,7	64,7	14,1	20,3
90	12/12/2004	32	20,1	142,5	3,9	57,9	80,3	5,1
91	22/12/2004	42	17,4	159,8	0,8	10,2	3,9	20,7
92	23/12/2004	43	29,0	188,8	1,5	23,9	52,1	19,8
93	24/12/2004	44	10,6	199,4	1,2	23,9	71,3	8,9
94	24/12/2004	44	15,6	215,0	3,4	34,1	5,9	4,5
95	27/12/2004	47	6,9	221,9	7,9	26,7	15,4	0,9
96	29/12/2004	49	4,4	226,3	0,9	10,2	6,2	4,9
97	13/1/2005	63	53,5	279,8	2,0	92,0	10,6	25,8
98	18/1/2005	68	21,8	301,6	5,3	50,0	3,3	4,1
99	18/1/2005	68	9,9	311,5	1,6	10,2	2,7	6,1
100	20/1/2005	70	7,8	319,3	0,6	10,2	19,4	13,6
101	24/1/2005	74	23,2	342,5	4,0	44,3	9,4	5,7
102	14/2/2005	95	13,6	356,1	2,3	88,6	5,6	5,9
103	1/3/2005	110	4,4	360,5	1,0	10,2	58,8	4,5
104	1/3/2005	110	7,5	368,0	2,3	23,9	74,7	3,2
105	1/3/2005	110	5,1	373,1	0,6	10,2	4,0	8,3
106	21/3/2005	130	23,9	397,0	7,6	40,9	9,9	3,0
107	13/12/2005	23	2,7	2,7	0,6	10,2	7,6	4,8
108	14/12/2005	24	46,3	49,0	2,6	30,7	40,2	17,7
109	15/12/2005	26	10,9	59,9	23,4	81,8	23,1	0,4
110	18/12/2005	29	50,4	110,3	39,8	204,5	54,1	1,2
111	20/12/2005	30	27,3	137,6	11,2	153,4	4,2	2,4
112	25/12/2005	35	14,7	152,3	1,2	20,4	8,8	12,1
113	26/12/2005	36	4,1	156,4	2,9	10,2	16,7	1,4
114	5/1/2006	46	20,4	176,8	9,2	143,1	25,8	2,2
115	10/1/2006	51	11,6	188,4	2,2	81,8	3,8	5,3
116	11/1/2006	52	6,8	195,2	5,4	30,7	83,8	1,2
117	13/1/2006	54	24,5	219,7	27,3	61,3	23,1	0,9

Continua...

Evento	Data	DAP	L <sub>Ppt</sub>	L <sub>Pptacum</sub>	I <sub>p</sub> <sub>méd</sub>	I <sub>p</sub> <sub>máx</sub>	T <sub>p</sub> <sub>ipmax</sub>	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
118	28/1/2006	69	60,3	280,0	12,9	153,4	4,4	4,6
119	29/1/2006	70	105,3	385,3	14,0	276,0	3,1	7,5
120	10/2/2006	82	18,4	403,7	3,6	122,7	1,3	5,1
121	13/2/2006	85	5,5	409,2	10,9	30,7	14,3	0,5
122	14/2/2006	86	10,6	419,8	2,0	30,7	59,2	5,2
123	14/2/2006	86	15,7	435,5	52,3	122,7	25,0	0,3
124	15/2/2006	87	23,2	458,7	17,8	40,9	15,8	1,3
125	16/2/2006	88	5,8	464,5	8,3	30,7	10,0	0,7
126	18/2/2006	90	1,7	466,2	8,5	20,4	60,0	0,2
127	19/2/2006	91	2,0	468,2	1,0	10,2	38,1	2,1
128	22/2/2006	94	1,7	469,9	2,7	20,4	22,2	0,6
129	23/2/2006	95	11,9	481,8	3,5	61,3	16,0	3,3
130	24/2/2006	96	4,4	486,2	2,9	40,9	4,4	1,5
131	26/2/2006	98	1,4	487,6	0,6	10,2	12,5	2,1
132	27/2/2006	99	1,0	488,6	3,4	10,2	50,0	0,3
133	28/2/2006	100	2,7	491,3	3,6	20,4	31,8	0,7
134	1/3/2006	101	7,2	498,5	0,6	10,2	4,2	11,1
135	2/3/2006	102	1,4	499,9	3,1	10,2	50,0	0,4
136	2/3/2006	102	5,5	505,4	20,4	40,9	42,9	0,2
137	5/3/2006	105	11,6	517,0	1,0	51,1	59,2	11,4
138	6/3/2006	106	61,3	578,3	12,5	112,5	13,0	4,9
139	7/3/2006	107	0,7	579,0	0,2	10,2	99,1	3,6
140	10/3/2006	110	12,3	591,3	3,0	20,4	1,7	4,0
141	11/3/2006	111	4,4	595,7	2,3	10,2	3,5	1,9
142	11/3/2006	111	4,4	600,1	7,0	20,4	11,1	0,6
143	14/3/2006	114	3,4	603,5	4,4	20,4	13,6	0,7
144	14/3/2006	114	0,7	604,2	1,0	10,2	95,0	0,7
145	14/3/2006	114	1,7	605,9	2,3	20,4	4,8	0,7
146	15/3/2006	115	2,0	607,9	1,4	10,2	18,2	1,5
147	16/3/2006	116	80,8	688,7	8,8	112,5	10,5	9,1
148	16/3/2006	116	0,7	689,4	0,9	10,2	95,5	0,7
149	18/3/2006	118	9,2	698,6	1,8	20,4	61,3	3,1
150	19/3/2006	119	1,4	700,0	2,2	10,2	38,9	0,6

151	28/11/2006	3	4,8	4,8	1,2	20,4	37,6	3,9
152	28/11/2006	3	2,0	6,8	12,3	20,4	25,0	0,1
153	29/11/2006	4	6,5	13,3	48,6	71,6	33,3	0,1
154	30/11/2006	5	2,7	16,0	0,8	10,2	10,0	3,3
155	30/11/2006	5	16,4	32,4	1,9	102,2	1,1	8,8
156	1/12/2006	6	2,7	35,1	1,3	10,2	19,7	2,0
157	3/12/2006	8	1,0	36,1	1,3	10,2	30,4	0,8
158	5/12/2006	10	1,0	37,1	0,5	10,2	1,8	1,9

Continua...

Evento	Data	DAP	L <sub>Ppt</sub>	L <sub>Pptacum</sub>	Ip <sub>méd</sub>	Ip <sub>máx</sub>	Tp <sub>ipmax</sub>	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
159	8/12/2006	13	39,9	77,0	9,5	40,9	18,4	4,2
160	8/12/2006	13	1,0	78,0	0,1	10,2	5,3	7,3
161	9/12/2006	14	12,3	90,3	3,8	30,7	16,8	3,2
162	11/12/2006	16	1,4	91,7	0,6	10,2	11,3	2,1
163	14/12/2006	19	43,6	135,3	2,7	40,9	46,6	16,1
164	15/12/2006	20	14,3	149,6	0,9	10,2	19,8	15,3
165	16/12/2006	21	7,8	157,4	1,7	10,2	5,0	4,6
166	20/12/2006	25	5,8	163,2	17,4	30,7	10,0	0,3
167	21/12/2006	26	2,0	165,2	0,6	10,2	2,0	3,2
168	23/12/2006	28	5,1	170,3	1,7	20,4	1,1	3,0
169	24/12/2006	29	1,7	172,0	0,7	10,2	23,3	2,4
170	25/12/2006	30	53,8	225,8	12,7	102,2	13,4	4,2
171	26/12/2006	31	34,1	259,9	9,6	61,3	31,8	3,6
172	27/12/2006	32	1,7	261,6	0,2	10,2	32,2	9,3
173	28/12/2006	33	1,0	262,6	0,3	10,2	97,9	3,1
174	30/12/2006	35	9,5	272,1	1,2	10,2	23,6	8,2
175	30/12/2006	35	2,7	274,8	1,2	20,4	62,9	2,3
176	30/12/2006	35	2,0	276,8	0,6	10,2	34,6	3,6
177	31/12/2006	36	1,4	278,2	0,8	10,2	28,9	1,7
178	1/1/2007	37	2,0	280,2	0,9	10,2	31,4	2,3
179	4/1/2007	40	102,9	383,1	1,7	51,1	69,3	61,1
180	4/1/2007	40	2,7	385,8	1,2	10,2	4,5	2,2
181	5/1/2007	41	1,7	387,5	1,1	10,2	28,6	1,6
182	5/1/2007	41	3,4	390,9	8,5	20,4	66,7	0,4
183	6/1/2007	42	40,9	431,8	3,3	143,1	85,4	12,5
184	8/1/2007	44	4,4	436,2	1,3	10,2	16,5	3,4
185	9/1/2007	45	40,6	476,8	5,2	214,7	76,4	7,8
186	10/1/2007	46	2,7	479,5	4,3	20,4	68,4	0,6
187	11/1/2007	47	21,8	501,3	38,5	143,1	17,7	0,6
188	12/1/2007	48	5,1	506,4	9,0	30,7	11,8	0,6
189	12/1/2007	48	0,7	507,1	0,4	10,2	97,8	1,5
190	13/1/2007	49	27,6	534,7	10,0	132,9	6,0	1,8
191	13/1/2007	49	24,5	559,2	2,7	153,4	51,5	9,1
192	14/1/2007	50	0,7	559,9	0,8	10,2	96,0	0,8
193	15/1/2007	51	3,4	563,3	0,5	20,4	0,5	6,9
194	15/1/2007	51	23,5	586,8	5,3	112,5	3,7	4,5
195	16/1/2007	52	16,4	603,2	1,6	10,2	0,3	10,4
196	18/1/2007	54	3,7	606,9	5,4	30,7	61,9	0,7
197	18/1/2007	54	11,2	618,1	18,7	71,6	22,2	0,6
198	22/1/2007	58	73,3	691,4	8,6	173,8	51,4	8,5
199	22/1/2007	58	2,7	694,1	0,8	10,2	11,3	3,5
200	23/1/2007	59	3,7	697,8	0,6	20,4	98,9	5,9

Continua...

Evento	Data	DAP	L <sub>Ppt</sub>	L <sub>Pptacum</sub>	I <sub>p</sub> <sub>méd</sub>	I <sub>p</sub> <sub>máx</sub>	T <sub>p</sub> <sub>ipmax</sub>	D
			(mm)		(mm h <sup>-1</sup> )		(%)	(h)
201	24/1/2007	60	105,0	802,8	10,5	71,6	43,5	10,0
202	24/1/2007	60	1,4	804,2	10,2	10,2	25,0	0,1
203	25/1/2007	61	4,4	808,6	0,7	20,4	87,2	6,3
204	27/1/2007	63	8,5	817,1	1,2	20,4	33,3	7,2
205	27/1/2007	63	6,1	823,2	1,0	10,2	2,8	5,9
206	28/1/2007	64	1,4	824,6	0,3	10,2	3,2	4,2
207	30/1/2007	66	18,4	843,0	3,0	20,4	78,0	6,2
208	31/1/2007	67	17,0	860,0	0,9	10,2	0,2	19,5
209	1/2/2007	68	8,2	868,2	2,1	20,4	0,9	3,9
210	2/2/2007	69	2,7	870,9	1,0	10,2	6,3	2,6
211	4/2/2007	71	1,0	871,9	2,8	20,4	8,3	0,4
212	5/2/2007	72	7,5	879,4	6,8	71,6	90,9	1,1
213	6/2/2007	73	18,7	898,1	3,3	20,4	2,3	5,7
214	6/2/2007	73	1,7	899,8	1,5	10,2	64,7	1,1
215	7/2/2007	74	1,0	900,8	0,3	10,2	39,2	4,0
216	12/2/2007	79	33,4	934,2	3,7	92,0	1,9	9,0
217	12/2/2007	79	8,9	943,1	1,5	20,4	48,4	6,1
218	15/2/2007	82	33,1	976,2	2,3	20,4	7,3	14,2
219	15/2/2007	82	5,8	982,0	1,3	40,9	74,6	4,3
220	18/2/2007	85	2,4	984,4	0,5	10,2	6,7	4,5
221	2/3/2007	97	2,4	986,8	5,5	20,4	15,4	0,4
222	17/3/2007	112	7,2	994,0	10,7	30,7	5,0	66,7
223	18/3/2007	113	35,8	1029,8	6,5	122,7	3,6	5,5
224	18/3/2007	113	3,1	1032,9	7,7	40,9	16,7	0,4
225	19/3/2007	114	7,5	1040,4	2,0	81,8	2,7	3,7
226	20/3/2007	115	4,8	1045,2	1,1	40,9	97,1	4,5
227	21/3/2007	116	2,4	1047,6	1,2	10,2	50,0	2,0

Quadro 2B. Dados de perdas de solo referentes a cada evento de chuva ocorrido durante o período de 11/11/2002 a 21/03/2007 obtidos nas parcelas experimentais instaladas em Cambissolo

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )				PA (mm)				Cesc									
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN						
1	23,9	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
1	6,5	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
4	7,9	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
5	31,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
6	4,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
8	32,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
11	71,2	0,21	0,16			0,11	0,01	2,72	2,27			1,26	0,38	0,038	0,032			0,018	0,005
11	24,2	0,08	0,06			0,03	0,00	1,87	1,04			1,41	0,00	0,077	0,043			0,058	0,000
13	37,2	0,60	0,25			0,50	0,20	10,10	5,62			3,42	2,55	0,272	0,151			0,092	0,069
16	3,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
25	13,0	0,00	0,00			0,00	0,00	0,25	0,05			0,13	0,03	0,019	0,004			0,010	0,002
26	16,7	0,13	0,11			0,09	0,05	0,07	0,06			0,05	0,05	0,004	0,004			0,003	0,003
28	4,1	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
30	8,5	0,00	0,00			0,00	0,00	0,03	0,01			0,00	0,00	0,004	0,001			0,000	0,000
30	6,5	0,47	0,34			0,14	0,04	4,11	3,38			3,63	1,07	0,632	0,520			0,558	0,165
30	50,8	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
31	71,6	0,08	0,06			0,02	0,00	2,25	1,94			0,43	0,35	0,031	0,027			0,006	0,005
35	3,8	0,90	0,43			0,26	0,03	2,74	2,08			1,97	1,25	0,721	0,547			0,518	0,329
35	25,2	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
36	10,6	0,26	0,14			0,12	0,02	1,74	1,16			0,66	0,47	0,164	0,109			0,062	0,044
36	16,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
40	42,0	1,08	0,56			0,24	0,06	3,76	3,51			1,48	0,93	0,090	0,084			0,035	0,022
44	0,7	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
44	4,8	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
49	1,0	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
52	4,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
53	63,0	1,73	1,20			0,28	0,08	6,17	5,74			1,11	0,59	0,098	0,091			0,018	0,009
54	69,5	22,76	10,81			0,77	0,03	11,49	9,92			7,26	2,41	0,165	0,143			0,104	0,035
55	15,3	0,06	0,02			0,00	0,00	0,31	0,17			0,10	0,04	0,020	0,011			0,007	0,003
56	60,0	0,95	0,64			0,00	0,00	6,07	5,87			0,99	0,88	0,101	0,098			0,017	0,015

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
57	20,5	1,06	0,21			0,00	0,00	2,14	1,80			0,24	0,05	0,104	0,088			0,012	0,002
58	5,8	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
62	14,7	0,14	0,06			0,02	0,00	0,80	1,03			0,36	0,03	0,054	0,070			0,024	0,002
63	31,0	13,97	13,67			0,00	0,00	11,54	5,85			4,47	0,85	0,372	0,189			0,144	0,027
64	4,1	0,04	0,04			0,00	0,00	0,18	0,10			0,02	0,01	0,044	0,024			0,005	0,002
64	7,2	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
67	8,5	0,08	0,02			0,00	0,00	0,46	0,16			0,07	0,01	0,054	0,019			0,008	0,001
67	7,8	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
68	1,0	6,43	3,46			0,10	0,02	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
68	60,0	0,00	0,00			0,00	0,00	16,56	13,60			3,18	1,02	0,275	0,227			0,053	0,017
70	26,2	3,55	1,91			0,01	0,00	10,72	6,66			1,27	0,23	0,000	0,000			0,000	0,000
71	7,5	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
72	2,4	0,14	0,12			0,00	0,00	1,14	0,47			0,00	0,01	0,000	0,000			0,000	0,000
72	8,2	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
75	3,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
79	6,5	0,19	0,18			0,00	0,00	0,67	0,42			0,00	0,00	0,103	0,065			0,000	0,000
79	14,0	1,26	0,90			0,00	0,00	2,38	1,63			0,04	0,02	0,170	0,116			0,003	0,001
82	15,7	1,18	0,80			0,00	0,00	1,93	1,72			0,03	0,04	0,123	0,110			0,002	0,003
98	7,8	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
98	9,5	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
122	7,2	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
125	33,4	0,00	0,00			0,00	0,00	1,23	1,08			0,06	0,04	0,037	0,032			0,002	0,001
127	36,8	0,00	0,00			0,00	0,00	3,74	3,65			0,09	0,10	0,102	0,099			0,002	0,003
131	3,4	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,000	0,000			0,000	0,000
131	25,6	0,00	0,00			0,00	0,00	0,19	0,05			0,19	0,07	0,007	0,002			0,007	0,003
45	6,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,018	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
54	1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
62	35,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,26	3,05	1,14	1,77	0,18	0,43	0,092	0,086	0,032	0,050	0,005	0,012
66	36,1	0,77	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	4,51	4,20	1,18	1,49	0,21	0,51	0,125	0,116	0,033	0,041	0,006	0,014
69	15,4	4,45	1,31	0,04	0,00	0,00	0,00	1,87	1,94	0,48	0,72	0,12	0,23	0,121	0,126	0,031	0,047	0,008	0,015
77	145,2	6,66	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	25,07	23,44	5,48	9,08	3,24	2,34	0,173	0,161	0,038	0,063	0,022	0,016

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
86	5,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,37	0,18	0,00	0,01	0,00	0,084	0,073	0,035	0,000	0,002	0,000
88	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,70	0,22	0,03	0,01	0,02	0,093	0,159	0,050	0,007	0,002	0,005
93	5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,26	0,04	0,00	0,01	0,01	0,078	0,047	0,007	0,000	0,002	0,002
94	23,9	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97	3,82	0,93	1,15	0,17	0,23	0,166	0,160	0,039	0,048	0,007	0,010
95	5,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,90	0,22	0,29	0,02	0,03	0,162	0,155	0,038	0,050	0,003	0,005
96	30,3	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,03	4,77	1,04	1,62	0,14	0,45	0,166	0,157	0,034	0,053	0,005	0,015
99	13,6	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	2,05	0,49	0,64	0,08	0,15	0,159	0,151	0,036	0,047	0,006	0,011
101	10,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74	1,71	0,34	0,56	0,07	0,16	0,164	0,161	0,032	0,052	0,007	0,015
102	89,3	11,29	7,07	0,42	0,13	0,00	0,01	22,68	21,17	5,95	10,17	2,16	5,15	0,254	0,237	0,067	0,114	0,024	0,058
109	27,3	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	1,33	0,33	0,06	0,12	0,35	0,042	0,049	0,012	0,002	0,004	0,013
110	54,5	5,70	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	11,85	12,27	2,03	4,86	0,05	0,40	0,217	0,225	0,037	0,089	0,001	0,007
111	45,3	3,12	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	7,45	8,19	1,63	2,74	0,03	0,27	0,164	0,181	0,036	0,060	0,001	0,006
112	39,2	8,55	6,63	0,00	0,00	0,00	0,00	8,44	9,22	1,66	2,06	0,06	0,28	0,215	0,235	0,042	0,053	0,002	0,007
112	30,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,05	5,27	0,96	1,49	0,00	0,18	0,164	0,172	0,031	0,049	0,000	0,006
112	10,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,74	2,68	0,37	0,57	0,00	0,04	0,258	0,253	0,035	0,054	0,000	0,004
113	11,6	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01	2,04	0,42	0,65	0,00	0,02	0,173	0,176	0,036	0,056	0,000	0,002
118	47,7	5,73	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	8,49	9,87	0,43	0,35	0,12	0,39	0,178	0,207	0,009	0,007	0,003	0,008
120	37,5	4,34	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	6,16	6,09	1,02	1,87	0,00	0,48	0,164	0,162	0,027	0,050	0,000	0,013
126	15,0	3,72	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	2,42	0,52	0,79	0,00	0,12	0,164	0,161	0,035	0,052	0,000	0,008
136	45,0	4,90	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	10,40	9,37	2,57	2,72	0,00	0,56	0,231	0,208	0,057	0,060	0,000	0,012
153	38,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,65	0,43	0,18	0,00	0,00	0,00	0,070	0,011	0,005	0,000	0,000	0,000
156	3,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46	0,39	0,42	0,04	0,00	0,01	0,406	0,108	0,117	0,011	0,000	0,003
170	37,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,42	0,22	0,00	0,00	0,07	0,013	0,011	0,006	0,000	0,000	0,002
192	21,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	62,7	3,93	2,82	0,32	0,23	0,16	0,05	8,81	2,36	3,28	7,62	5,39	1,35	0,141	0,038	0,052	0,122	0,086	0,022
30	8,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30	16,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,25	0,11	0,13	0,18	0,08	0,024	0,015	0,007	0,008	0,011	0,005
31	34,8	3,17	2,65	0,03	0,02	0,03	0,02	3,09	0,91	1,08	2,96	1,45	0,76	0,089	0,026	0,031	0,085	0,042	0,022
32	20,1	2,89	2,18	0,08	0,06	0,02	0,01	2,03	0,42	0,65	1,15	0,80	0,38	0,101	0,021	0,032	0,057	0,040	0,019
42	17,4	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	0,47	0,51	1,06	0,75	0,30	0,072	0,027	0,029	0,061	0,043	0,017
43	29,0	1,15	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	1,16	0,86	2,37	1,23	0,59	0,085	0,040	0,030	0,082	0,042	0,020
44	10,6	2,58	1,95	0,01	0,00	0,00	0,00	0,89	0,35	0,33	0,81	0,43	0,20	0,084	0,033	0,031	0,076	0,041	0,019
44	15,6	2,47	1,57	0,03	0,02	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,020	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
47	6,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
49	4,4	1,08	0,96	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
63	53,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,44	2,86	2,90	5,58	3,19	2,03	0,102	0,053	0,054	0,104	0,060	0,038
68	21,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	0,49	0,64	1,48	0,85	0,42	0,086	0,022	0,029	0,068	0,039	0,019
68	9,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,30	0,28	0,76	0,43	0,15	0,082	0,030	0,028	0,077	0,043	0,015
70	7,8	0,61	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,18	0,26	0,51	0,32	0,15	0,085	0,023	0,033	0,065	0,041	0,019
74	23,2	0,26	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	2,14	0,53	0,81	1,57	0,85	0,54	0,092	0,023	0,035	0,068	0,037	0,023
95	13,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,27	0,45	0,75	0,46	0,29	0,070	0,020	0,033	0,055	0,034	0,021
110	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,09	0,005	0,002	0,005	0,005	0,005	0,020
110	7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,004	0,003	0,001	0,001	0,003	0,001
110	5,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,004	0,002	0,002	0,002	0,006	0,002
130	23,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	46,3	7,10	5,47	2,35	0,75	0,69	0,57	7,40	2,67	4,44	3,84	3,51	0,00	0,160	0,058	0,096	0,083	0,076	0,000
26	10,9	1,21	0,92	1,59	0,76	0,64	0,53	2,26	1,52	2,60	2,65	2,70	1,77	0,207	0,139	0,238	0,243	0,248	0,162
29	50,4	6,82	3,21	5,46	2,66	2,28	1,74	13,64	6,64	10,10	8,29	8,00	3,93	0,271	0,132	0,200	0,164	0,159	0,078
30	27,3	1,81	0,00	4,06	0,45	1,56	0,97	4,83	4,79	5,45	4,39	4,36	4,57	0,177	0,175	0,200	0,161	0,160	0,167
35	14,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
36	4,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
46	20,4	1,25	0,87	0,64	0,61	0,47	0,38	5,43	0,00	4,08	0,00	3,92	3,64	0,266	0,000	0,200	0,000	0,192	0,178
51	11,6	0,38	0,25	0,22	0,20	0,15	0,09	1,06	2,58	1,74	2,18	1,66	1,64	0,092	0,222	0,150	0,188	0,143	0,141
52	6,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
54	24,5	1,42	0,00	1,02	0,85	0,72	0,65	2,73	3,21	4,47	3,17	3,35	2,81	0,111	0,131	0,182	0,129	0,137	0,114
69	60,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
70	105,3	5,22	4,18	3,02	2,20	2,32	1,98	23,97	5,42	14,23	13,82	11,61	7,29	0,228	0,052	0,135	0,131	0,110	0,069
82	18,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
85	5,5	3,48	0,00	1,06	0,72	0,00	0,00	0,00	2,15	0,83	0,00	0,78	1,51	0,000	0,391	0,151	0,000	0,142	0,274
86	10,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
86	15,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
87	23,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
88	5,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
90	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
91	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
94	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
95	11,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
96	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
98	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
99	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
100	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
101	7,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
102	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
102	5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
105	11,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
106	61,3	3,44	2,42	2,08	0,31	0,74	0,21	2,96	4,24	0,62	4,62	0,60	2,47	0,048	0,069	0,010	0,075	0,010	0,040
107	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
110	12,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
111	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
111	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
114	3,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
114	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
114	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
115	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
116	80,8	3,28	1,11	0,73	0,00	0,00	0,00	6,36	4,73	5,92	4,39	5,58	0,00	0,079	0,059	0,073	0,054	0,069	0,000
116	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
118	9,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
119	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	6,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	16,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	39,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,52	1,18	0,91	0,57	1,22	0,032	0,013	0,030	0,023	0,014	0,031
13	1,0	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
14	12,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	43,6	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	2,70	0,52	2,81	2,26	1,22	1,79	0,062	0,012	0,064	0,052	0,028	0,041
20	14,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	7,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	5,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28	5,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30	53,8	0,47	0,19	0,07	0,03	0,03	0,03	3,84	1,52	3,68	3,09	1,22	0,68	0,071	0,028	0,068	0,057	0,023	0,013
31	34,1	0,75	0,87	0,24	0,19	0,02	0,02	3,64	2,33	2,92	3,53	1,25	0,81	0,107	0,068	0,086	0,104	0,037	0,024
32	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
33	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
35	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
35	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
35	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
36	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40	102,9	0,42	0,59	0,13	0,03	0,01	0,01	13,43	9,12	11,93	8,08	2,26	6,39	0,131	0,089	0,116	0,079	0,022	0,062
40	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
41	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
41	3,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
42	40,9	1,79	4,02	0,71	1,23	0,24	0,38	8,86	4,76	4,56	5,56	3,92	5,25	0,217	0,116	0,111	0,136	0,096	0,128
44	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
45	40,6	1,33	2,46	0,44	0,97	0,27	0,19	5,17	3,85	3,49	4,08	3,64	4,47	0,127	0,095	0,086	0,100	0,090	0,110
46	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
47	21,8	1,51	0,00	0,58	0,00	0,00	0,43	4,29	1,35	1,98	3,97	3,97	4,10	0,197	0,062	0,091	0,182	0,182	0,188
48	5,1	0,11	2,05	0,09	0,89	0,57	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
48	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
49	27,6	0,00	2,02	0,00	0,69	0,00	0,00	6,57	2,27	2,40	4,47	5,14	5,56	0,238	0,082	0,087	0,162	0,186	0,201
49	24,5	2,17	1,34	0,86	0,42	1,04	0,84	5,06	2,91	3,13	4,86	3,66	5,06	0,207	0,119	0,128	0,198	0,149	0,207
50	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
51	3,4	0,00	2,37	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
51	23,5	3,22	1,06	1,01	0,57	1,77	1,44	5,25	2,85	3,32	4,65	0,00	3,51	0,223	0,121	0,141	0,198	0,000	0,149

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

Continua...

DAP	Ppt	PS (t ha <sup>-1</sup> )						PA (mm)						Cesc					
		DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN	DMA	DEN	SMA	SEN	MMA	MEN
52	16,4	2,81	1,82	0,92	0,75	1,48	0,79	0,91	0,23	1,33	0,36	0,00	0,88	0,055	0,014	0,081	0,022	0,000	0,054
54	3,7	0,00	0,58	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
54	11,2	1,54	0,07	0,49	0,02	0,38	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
58	73,3	0,00	1,97	0,00	0,60	1,81	1,62	7,06	2,70	6,27	5,14	5,61	5,25	0,096	0,037	0,086	0,070	0,077	0,072
58	2,7	2,66	2,65	2,23	0,83	1,12	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
59	3,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
60	105,0	5,29	1,63	2,60	0,94	1,90	1,76	14,12	0,12	13,29	13,46	13,72	11,64	0,134	0,001	0,127	0,128	0,131	0,111
60	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	4,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
63	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
63	6,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
64	1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
66	18,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
67	17,0	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,94	0,00	1,48	0,00	0,00	0,00	0,114	0,000	0,087	0,000	0,000	0,000
68	8,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
69	2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
71	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
72	7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
73	18,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
73	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
74	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
79	33,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	0,46	2,95	2,18	2,54	1,24	0,095	0,014	0,088	0,065	0,076	0,037
79	8,9	1,61	0,89	0,21	0,05	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
82	33,1	0,27	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,024	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
82	5,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
85	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
97	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
112	7,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
113	35,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,008	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
113	3,1	0,76	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
114	7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
115	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
116	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

DMA - solo descoberto com preparo convencional (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive; DEN - solo descoberto preparado de forma convencional no sentido transversal ao declive; SMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados no sentido do declive; SEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com soja, ambos realizados em nível; MMA - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados no sentido do declive; MEN - solo preparado de forma convencional e cultivado com milho, ambos realizados em nível.

### APÊNDICE C

Quadro 1C. Taxas de escoamento e de desprendimento em entressulcos em função do tempo de aplicação da chuva artificial para o Argissolo

Tempo (min)	Taxa de escoamento (mm h <sup>-1</sup> )				Taxa de desprendimento em entressulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )x10 <sup>-4</sup>			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
2	3,4	3,1	2,1	2,6	0,3367	0,2260	0,3417	0,3330
4	3,6	3,8	3,6	3,4	0,3188	0,2950	0,7802	0,5329
6	3,8	4,3	9,8	10,3	0,5098	0,7382	1,9973	2,3052
8	4,6	6,0	21,3	25,2	0,5849	1,4933	3,4063	2,7600
10	5,0	16,1	26,7	35,7	0,8861	2,9711	4,4167	3,4400
12	9,8	29,8	29,7	40,1	1,3838	4,5774	4,6740	4,1983
14	12,2	36,9	32,2	43,0	1,5294	5,8458	5,4834	5,3097
16	14,6	40,6	40,5	42,9	1,7925	6,2044	5,8219	4,9693
18	18,0	40,8	39,9	45,3	2,2155	6,6436	6,0534	5,0742
20	20,2	42,9	44,2	47,3	2,2395	6,5571	6,3157	5,1565
22	23,5	43,2	43,5	47,5	2,3654	6,1953	5,9604	5,0061
24	26,1	45,9	43,7	45,9	3,1210	7,1717	6,1367	5,7810
26	27,9	42,3	49,2	45,8	3,4854	6,7839	5,7411	5,4762
28	29,8	48,0	49,0	48,2	3,4064	7,4235	6,2452	5,7265
30	32,1	48,9	47,1	44,6	3,3008	6,6865	6,3056	5,7390
32	37,4	49,5	47,5	45,4	3,6283	7,3800	5,8528	6,0831
34	38,4	49,7	53,1	47,8	4,1412	7,4101	6,0756	6,4788
36	40,3	53,8	50,2	49,5	4,4278	6,2365	6,4438	5,8103
38	43,2	50,9	47,5	45,9	4,7677	7,5695	6,1674	6,2835
40	44,9	50,4	52,5	49,2	5,0612	7,4903	6,3571	5,6101
42	44,4	48,9	52,5	46,3	4,8973	6,8369	6,3710	5,2863
44	53,8	50,7	50,7	47,5	5,5225	7,1043	6,3677	6,1410
46	49,5	48,5	50,6	47,1	5,9244	7,3705	6,0361	5,7135

Continua...

Tempo (min)	Taxa de escoamento (mm h <sup>-1</sup> )				Taxa de desprendimento em entressulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )x10 <sup>-4</sup>			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
48	49,7	50,6	51,6	46,1	5,9592	7,2834	6,0658	5,2527
50	50,2	49,5	49,2	48,9	5,8323	6,6426	5,9117	5,5462
52	50,1	53,8	53,8	48,3	5,6694	6,7410	6,0119	5,9801
54	50,6	50,9	54,3	48,3	5,6551	6,9820	6,0607	5,6651
56	50,1	51,1	48,9	48,3	5,2671	6,9943	6,0049	5,7782
58	50,2	51,1	47,3	47,8	6,1291	6,7218	5,7719	4,4576
60	49,5	51,1	47,7	49,7	5,7591	6,6811	5,1507	5,7367
62	49,4	50,1	48,0	47,1	5,8359	6,7730	5,6138	5,0596
64	47,5	54,0	52,6	45,9	5,7473	7,1375	5,7072	4,7202
66	48,0	49,9	51,3	51,1	6,0474	6,1307	5,5598	5,2154
68	50,6	51,8	52,3	50,4	6,3427	6,7337	5,8389	5,3668
70	50,9	51,8	54,0	49,7	6,0618	6,8415	5,8263	5,3720
72	51,1	51,9	51,0	47,7	6,1535	6,4961	3,6944	5,3609
74	52,1	54,7	48,2	49,7	6,7285	6,7901	5,2206	5,3025
76	52,8	54,5	49,9	49,7	6,1371	7,1279	5,5287	5,2499
78	49,7	51,8	51,3	47,8	5,7805	6,8606	4,9970	5,0657
80	48,3	50,1	46,6	48,5	6,4588	6,2427	4,9704	5,1400
82	53,1	52,8	48,9	49,0	5,9688	6,7875	5,2178	5,0862
84	48,9	50,7	49,5	46,3	6,1027	7,2428	5,1404	5,0362
86	48,0	54,9	54,0	47,7	6,4109	6,0281	5,7529	4,9821
88	47,1	51,9	50,9		6,3158	6,7764	5,1695	
90	49,4	53,1	46,3		6,8600	6,5805	5,1794	

Quadro 2C. Taxas de escoamento e de desprendimento em entressulcos em função do tempo de aplicação da chuva artificial para o Cambissolo

Tempo (min)	Taxa de escoamento (mm h <sup>-1</sup> )				Taxa de desprendimento em entressulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )x10 <sup>-4</sup>			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
2	1,4	4,2	3,7	5,0	0,0604	0,1999	0,2041	0,1834
4	1,1	1,4	5,1	6,1	0,2202	0,6447	0,6210	0,5070
6	1,3	4,2	7,0	9,4	0,2787	0,7300	0,7023	0,5899
8	2,4	7,3	7,3	9,8	0,3546	0,8148	0,6972	0,6568
10	2,8	3,7	13,0	15,4	0,5185	1,0092	0,8540	0,8146
12	2,4	7,8	13,0	17,3	0,5172	1,1272	0,9482	0,8695
14	7,3	8,3	18,8	19,8	0,3717	1,2462	1,8525	1,4429
16	6,1	18,7	18,6	25,2	0,4236	1,4011	1,4307	1,2851
18	7,5	22,6	19,7	26,4	0,4493	1,7172	1,6108	1,5597
20	8,4	23,4	23,3	24,7	0,5659	1,9588	1,8380	1,5688
22	10,8	24,4	23,9	27,0	0,7124	2,1363	1,9466	1,6317
24	14,9	22,6	26,2	24,4	0,7252	2,1233	2,0451	1,6698
26	8,3	25,4	25,3	34,2	0,7411	1,9410	1,8674	1,5684
28	9,5	28,8	25,2	33,6	0,9561	2,1971	1,8800	1,7710
30	10,2	28,4	28,2	29,9	1,1301	2,1995	1,8614	1,7755
32	12,0	27,3	26,7	30,3	1,1825	2,5771	2,1680	1,9880
34	12,9	27,4	28,2	30,2	1,0907	2,2095	2,0836	1,8964
36	15,4	28,3	28,5	31,1	1,2828	2,6093	2,0693	2,1507
38	17,0	30,0	28,6	30,0	1,3139	2,3510	1,9276	2,0556
40	18,4	27,9	32,5	30,2	1,8689	2,3210	1,8559	1,5349
42	19,0	30,6	31,2	30,7	2,0372	2,0653	1,8729	1,7569
44	21,5	32,7	31,6	29,8	2,4817	2,6347	2,2846	2,0998
46	24,7	32,8	31,4	30,1	2,2987	2,5944	2,2094	2,0371

Continua...

Tempo (min)	Taxa de escoamento (mm h <sup>-1</sup> )				Taxa de desprendimento em entressulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )x10 <sup>-4</sup>			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
48	24,4	31,6	33,8	30,4	1,9003	1,9264	1,7470	1,6388
50	26,4	35,2	32,9	32,4	2,4471	2,5980	2,2528	2,0706
52	29,3	34,6	32,3	31,2	3,2483	3,2780	2,5203	2,5599
54	29,6	33,2	34,5	32,4	2,5021	2,9061	2,2541	2,1404
56	29,9	32,9	35,3	31,2	2,8056	3,3299	2,4253	2,4587
58	36,5	34,4	34,4	32,2	2,9662	2,8669	2,2826	2,3605
60	37,3	38,1	36,4	36,0	2,9527	3,3577	2,5811	2,5161
62	38,7	39,4	36,5	36,9	2,8517	3,3096	2,7432	2,4723
64	38,9	40,2	37,5	39,1	2,5510	3,1681	2,5332	2,0951
66	39,9	40,5	38,8	38,1	3,0115	3,0530	2,7687	2,5972
68	42,0	47,8	46,5	40,6	3,1983	3,3955	2,9443	2,7062
70	41,4	43,1	44,2	44,1	3,0533	3,4461	2,9347	2,7058
72	44,2	45,3	45,7	44,1	3,6692	3,8734	2,2029	3,1966
74	44,3	45,1	47,0	43,3	3,4921	3,5241	2,7095	2,7520
76	45,9	46,7	45,9	42,9	3,2031	3,7202	2,8856	2,7400
78	45,5	47,7	42,0	43,4	3,3616	3,9898	2,9060	2,9459
80	46,4	47,9	43,8	43,7	3,6606	3,5381	2,8170	2,9131
82	47,7	49,6	49,2	45,9	3,3143	3,7689	2,8973	2,8242
84	48,9	50,6	47,2	49,1	1,9003	1,9264	1,7470	1,6388
86	50,9	50,5	46,8	46,9	2,4471	2,5980	2,2528	2,0706
88	48,6	50,5	49,3	46,0	3,2483	3,2780	2,5203	2,5599
90	49,6	50,4	49,5	46,3	2,5021	2,9061	2,2541	2,1404

## APÊNDICE D

Quadro 1D. Velocidade superficial, Área molhada (A) e perímetro molhado (Pm) para cada vazão aplicada para o Argissolo

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade superficial (m s <sup>-1</sup> )				Área molhada (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>				Perímetro molhado (m)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
14	0,444	0,402	0,371	0,389	0,661	0,715	0,779	0,691	0,1749	0,1810	0,1851	0,1994
	0,434	0,400	0,382	0,414	0,719	0,760	0,726	0,785	0,1861	0,1876	0,1944	0,1906
	0,395	0,439	0,419	0,454	0,973	0,402	0,384	0,415	0,1510	0,2200	0,1578	0,1547
	0,470	0,360	0,344	0,372	0,695	0,782	0,747	0,808	0,1808	0,1930	0,1889	0,1852
	0,458	0,374	0,357	0,386	0,700	0,778	0,743	0,804	0,1830	0,1909	0,1911	0,1874
	0,449	0,384	0,367	0,397	0,795	0,681	0,650	0,704	0,1756	0,1981	0,1834	0,1799
	0,446	0,387	0,370	0,400	0,748	0,731	0,698	0,755	0,1810	0,1928	0,1891	0,1854
	0,453	0,380	0,363	0,393	0,701	0,777	0,742	0,803	0,1840	0,1898	0,1922	0,1885
21	0,519	0,455	0,435	0,470	1,349	0,957	0,914	0,989	0,2136	0,2584	0,2231	0,2188
	0,504	0,472	0,451	0,488	1,263	0,905	0,865	0,936	0,2121	0,2491	0,2216	0,2172
	0,460	0,515	0,492	0,533	1,299	0,859	0,820	0,887	0,2150	0,2463	0,2246	0,2202
	0,522	0,453	0,433	0,468	1,239	0,934	0,893	0,966	0,2113	0,2498	0,2207	0,2164
	0,516	0,460	0,439	0,475	1,317	0,833	0,796	0,861	0,2034	0,2571	0,2125	0,2083
	0,531	0,442	0,423	0,457	1,286	0,876	0,837	0,905	0,2043	0,2563	0,2134	0,2093
	0,542	0,430	0,411	0,444	1,250	0,922	0,881	0,953	0,2060	0,2547	0,2152	0,2110
	0,551	0,420	0,401	0,434	1,210	0,969	0,926	1,001	0,2081	0,2528	0,2174	0,2132
28	0,556	0,486	0,465	0,503	1,490	1,166	1,114	1,205	0,2364	0,2744	0,2470	0,2422
	0,578	0,462	0,441	0,478	1,485	1,080	1,032	1,117	0,2252	0,2789	0,2353	0,2307
	0,590	0,448	0,428	0,463	1,395	1,184	1,132	1,224	0,2305	0,2740	0,2408	0,2361
	0,573	0,468	0,447	0,484	1,409	1,170	1,118	1,209	0,2333	0,2713	0,2437	0,2390
	0,538	0,506	0,483	0,523	1,451	1,122	1,072	1,159	0,2365	0,2683	0,2471	0,2422
	0,546	0,497	0,475	0,514	1,443	1,130	1,080	1,168	0,2356	0,2692	0,2461	0,2413
	0,527	0,517	0,494	0,535	1,455	1,116	1,066	1,154	0,2381	0,2667	0,2488	0,2439
	0,534	0,510	0,488	0,527	1,464	1,106	1,057	1,143	0,2361	0,2687	0,2466	0,2418

Continua...

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade superficial (m s <sup>-1</sup> )				Área molhada (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>				Perímetro molhado (m)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
<b>35</b>	0,588	0,516	0,493	0,533	0,644	1,417	1,354	1,464	0,2602	0,2164	0,2718	0,2665
	0,534	0,572	0,547	0,591	1,391	1,137	1,086	1,175	0,2493	0,2632	0,2604	0,2553
	0,544	0,563	0,538	0,582	1,197	1,337	1,277	1,382	0,2636	0,2484	0,2754	0,2700
	0,609	0,494	0,471	0,510	0,620	1,820	1,738	1,881	0,2821	0,2280	0,2947	0,2890
	0,613	0,489	0,468	0,506	0,565	1,860	1,777	1,923	0,2836	0,2263	0,2963	0,2905
	0,619	0,482	0,460	0,498	0,289	2,060	1,968	2,129	0,2932	0,2153	0,3063	0,3003
	0,586	0,520	0,496	0,537	0,609	1,828	1,746	1,889	0,2882	0,2210	0,3011	0,2952
	0,604	0,499	0,477	0,516	0,398	1,982	1,894	2,049	0,2928	0,2157	0,3059	0,2999
<b>42</b>	0,602	0,527	0,503	0,544	1,509	1,665	1,591	1,721	0,2795	0,2840	0,2920	0,2863
	0,557	0,574	0,549	0,594	1,683	1,688	1,612	1,744	0,2906	0,2857	0,3035	0,2976
	0,628	0,499	0,477	0,516	1,484	1,878	1,794	1,940	0,2868	0,2896	0,2996	0,2937
	0,601	0,528	0,505	0,546	1,715	1,655	1,581	1,710	0,2793	0,2973	0,2917	0,2860
	0,632	0,493	0,471	0,510	1,476	1,885	1,801	1,948	0,2859	0,2905	0,2987	0,2928
	0,578	0,553	0,528	0,571	1,669	1,702	1,626	1,759	0,2872	0,2892	0,3000	0,2941
	0,617	0,511	0,488	0,528	1,489	1,873	1,790	1,936	0,2891	0,2872	0,3020	0,2961
	0,598	0,532	0,508	0,550	1,670	1,701	1,625	1,758	0,2829	0,2935	0,2956	0,2898
<b>49</b>	0,561	0,491	0,469	0,507	1,527	2,101	2,007	2,171	0,2974	0,2803	0,3107	0,3046
	0,573	0,478	0,457	0,494	1,892	2,161	2,065	2,233	0,2977	0,3046	0,3110	0,3049
	0,548	0,505	0,482	0,521	2,020	2,037	1,946	2,105	0,2971	0,3052	0,3104	0,3043
	0,563	0,489	0,467	0,505	1,577	2,443	2,334	2,524	0,3147	0,2867	0,3288	0,3223
	0,521	0,532	0,509	0,550	1,708	2,329	2,225	2,407	0,3194	0,2817	0,3336	0,3271
	0,587	0,462	0,441	0,477	1,436	2,561	2,447	2,647	0,3136	0,2880	0,3275	0,3211
	0,580	0,470	0,449	0,486	1,492	2,515	2,403	2,599	0,3136	0,2880	0,3275	0,3211
	0,549	0,504	0,481	0,520	1,700	2,336	2,232	2,414	0,3130	0,2886	0,3269	0,3206

Quadro 2D. Velocidade superficial, Área molhada (A) e perímetro molhado (Pm) para cada vazão aplicada para o Cambissolo

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade superficial (m s <sup>-1</sup> )				Área molhada (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>				Perímetro molhado (m)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
14	0,375	0,368	0,346	0,345	0,620	0,748	0,714	0,773	0,1746	0,1599	0,1824	0,1788
	0,391	0,384	0,361	0,361	0,772	0,711	0,679	0,734	0,1740	0,1772	0,1818	0,1782
	0,396	0,388	0,366	0,357	0,742	0,741	0,708	0,766	0,1777	0,1733	0,1857	0,1821
	0,388	0,381	0,358	0,364	0,683	0,799	0,763	0,826	0,1815	0,1694	0,1896	0,1859
	0,390	0,383	0,361	0,362	0,679	0,802	0,767	0,829	0,1822	0,1686	0,1903	0,1866
	0,400	0,391	0,370	0,354	0,645	0,834	0,797	0,862	0,1868	0,1637	0,1951	0,1913
	0,395	0,387	0,365	0,358	0,569	0,900	0,860	0,930	0,1913	0,1586	0,1999	0,1960
	0,382	0,377	0,353	0,368	0,581	0,890	0,851	0,920	0,1881	0,1621	0,1965	0,1927
21	0,476	0,475	0,440	0,504	1,188	1,084	1,036	1,121	0,2137	0,2317	0,2233	0,2189
	0,472	0,472	0,436	0,511	1,302	0,986	0,942	1,019	0,2054	0,2425	0,2146	0,2104
	0,479	0,478	0,443	0,506	1,302	0,986	0,942	1,019	0,2066	0,2413	0,2159	0,2116
	0,478	0,477	0,442	0,506	1,275	1,018	0,972	1,052	0,2091	0,2390	0,2184	0,2141
	0,473	0,473	0,437	0,510	1,204	1,095	1,046	1,132	0,2141	0,2341	0,2237	0,2193
	0,474	0,474	0,439	0,509	1,148	1,153	1,102	1,192	0,2187	0,2295	0,2284	0,2240
	0,478	0,477	0,442	0,506	1,073	1,227	1,172	1,268	0,2246	0,2235	0,2346	0,2300
	0,491	0,487	0,454	0,497	1,065	1,234	1,179	1,275	0,2274	0,2205	0,2376	0,2330
28	0,493	0,501	0,456	0,595	1,645	1,352	1,292	1,398	0,2383	0,2853	0,2489	0,2441
	0,488	0,493	0,451	0,565	1,553	1,400	1,338	1,447	0,2407	0,2725	0,2515	0,2466
	0,466	0,475	0,431	0,580	1,576	1,375	1,314	1,421	0,2347	0,2782	0,2452	0,2404
	0,580	0,475	0,431	0,466	1,682	1,254	1,198	1,296	0,2266	0,2857	0,2367	0,2321
	0,494	0,498	0,457	0,561	1,719	1,207	1,153	1,248	0,2285	0,2840	0,2387	0,2340
	0,488	0,493	0,451	0,565	1,616	1,330	1,271	1,375	0,2360	0,2770	0,2466	0,2418
	0,481	0,487	0,445	0,570	1,717	1,211	1,157	1,251	0,2264	0,2860	0,2365	0,2318
	0,445	0,459	0,412	0,592	1,411	1,544	1,475	1,595	0,2412	0,2720	0,2520	0,2471

Continua...

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Velocidade superficial (m s <sup>-1</sup> )				Área molhada (m <sup>2</sup> )x10 <sup>-3</sup>				Perímetro molhado (m)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
<b>35</b>	0,513	0,519	0,474	0,602	1,298	1,726	1,649	1,784	0,2647	0,2634	0,2765	0,2711
	0,515	0,518	0,476	0,576	1,533	1,817	1,736	1,878	0,2704	0,2726	0,2825	0,2770
	0,469	0,481	0,434	0,605	1,403	1,935	1,849	2,000	0,2673	0,2758	0,2792	0,2737
	0,485	0,494	0,448	0,596	1,534	1,816	1,735	1,877	0,2641	0,2790	0,2759	0,2705
	0,511	0,515	0,473	0,578	1,518	1,831	1,749	1,892	0,2704	0,2726	0,2825	0,2770
	0,513	0,516	0,474	0,577	1,289	2,033	1,943	2,101	0,2818	0,2606	0,2944	0,2887
	0,510	0,514	0,472	0,579	1,501	1,846	1,764	1,908	0,2711	0,2719	0,2832	0,2777
	0,494	0,501	0,456	0,590	1,235	2,079	1,986	2,148	0,2801	0,2624	0,2926	0,2869
<b>42</b>	0,517	0,529	0,478	0,651	1,218	1,980	1,891	2,046	0,2815	0,2739	0,2941	0,2883
	0,486	0,498	0,450	0,623	1,516	2,168	2,072	2,241	0,2848	0,2896	0,2975	0,2917
	0,476	0,490	0,440	0,629	1,499	2,183	2,086	2,257	0,2832	0,2912	0,2958	0,2901
	0,528	0,531	0,488	0,596	1,549	2,140	2,044	2,212	0,2924	0,2817	0,3055	0,2995
	0,460	0,477	0,425	0,638	1,080	2,527	2,414	2,612	0,2956	0,2783	0,3088	0,3027
	0,525	0,529	0,485	0,598	1,512	2,172	2,075	2,245	0,2934	0,2807	0,3065	0,3005
	0,454	0,473	0,420	0,641	1,192	2,438	2,330	2,520	0,2902	0,2840	0,3032	0,2972
	0,520	0,525	0,480	0,601	1,386	2,280	2,178	2,356	0,2978	0,2760	0,3111	0,3050
<b>49</b>	0,501	0,494	0,463	0,481	2,779	2,229	2,130	2,304	0,2982	0,3269	0,3115	0,3054
	0,501	0,498	0,464	0,509	2,675	2,217	2,118	2,292	0,2978	0,3293	0,3111	0,3050
	0,517	0,510	0,478	0,497	2,895	1,950	1,863	2,016	0,2868	0,3399	0,2996	0,2937
	0,507	0,502	0,469	0,505	2,614	2,285	2,183	2,362	0,3026	0,3246	0,3161	0,3099
	0,510	0,505	0,472	0,502	2,612	2,287	2,185	2,364	0,3034	0,3237	0,3169	0,3108
	0,529	0,519	0,489	0,488	2,698	2,192	2,094	2,265	0,3026	0,3246	0,3161	0,3099
	0,522	0,514	0,482	0,493	2,728	2,157	2,061	2,229	0,2992	0,3279	0,3126	0,3065
	0,536	0,525	0,496	0,482	2,734	2,150	2,054	2,222	0,3020	0,3251	0,3155	0,3093

Quadro 3D. Tensão cisalhante do escoamento e taxa de desprendimento em sulcos para cada vazão aplicada para o Argissolo

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Tensão cisalhante (N m <sup>-2</sup> )				Taxa de desprendimento em sulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
14	0,716	0,851	0,774	0,749	0,013344	0,013134	0,012548	0,013573
	0,820	0,785	0,750	0,812	0,005791	0,004917	0,004697	0,005081
	1,027	0,512	0,489	0,529	0,001438	0,001268	0,001211	0,001310
	0,773	0,833	0,795	0,860	0,001949	0,001904	0,001819	0,001968
	0,788	0,818	0,782	0,846	0,002046	0,001999	0,001910	0,002066
	0,857	0,746	0,713	0,771	0,003353	0,003368	0,003218	0,003481
	0,829	0,777	0,742	0,803	0,004926	0,005513	0,005267	0,005697
	0,794	0,812	0,776	0,839	0,012213	0,013850	0,013231	0,014313
21	1,126	0,862	0,824	0,891	0,033849	0,030154	0,028808	0,031163
	1,091	0,822	0,785	0,849	0,016385	0,013117	0,012532	0,013556
	1,133	0,769	0,734	0,794	0,011849	0,009394	0,008975	0,009708
	1,066	0,851	0,813	0,879	0,011785	0,009669	0,009238	0,009993
	1,118	0,788	0,753	0,815	0,005540	0,004964	0,004742	0,005130
	1,088	0,825	0,788	0,853	0,007893	0,007495	0,007160	0,007746
	1,057	0,861	0,822	0,890	0,010697	0,010876	0,010390	0,011240
	1,026	0,896	0,856	0,926	0,014102	0,014154	0,013522	0,014627
28	1,164	0,949	0,907	0,981	0,048697	0,043032	0,041112	0,044473
	1,148	0,923	0,882	0,954	0,022231	0,020449	0,019537	0,021134
	1,089	0,989	0,945	1,022	0,016853	0,015706	0,015005	0,016232
	1,111	0,965	0,922	0,997	0,017873	0,015025	0,014355	0,015528
	1,157	0,913	0,872	0,943	0,011531	0,008957	0,008558	0,009257
	1,148	0,923	0,882	0,954	0,011562	0,010039	0,009591	0,010375
	1,166	0,902	0,862	0,932	0,016550	0,013118	0,012532	0,013557
	1,167	0,902	0,861	0,932	0,014647	0,016326	0,015597	0,016872

Continua...

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Tensão cisalhante (N m <sup>-2</sup> )				Taxa de desprendimento em sulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
35	0,740	1,046	0,999	1,081	0,054469	0,063471	0,060638	0,065595
	1,122	0,878	0,839	0,907	0,023996	0,025553	0,024413	0,026409
	1,032	0,976	0,933	1,009	0,016091	0,020236	0,019333	0,020913
	0,744	1,241	1,186	1,283	0,017066	0,019085	0,018233	0,019723
	0,719	1,262	1,206	1,305	0,010854	0,011747	0,011223	0,012140
	0,607	1,352	1,292	1,397	0,009723	0,012123	0,011582	0,012529
	0,769	1,220	1,166	1,261	0,013481	0,014767	0,014108	0,015262
	0,669	1,303	1,245	1,346	0,012796	0,017088	0,016325	0,017660
42	1,142	1,147	1,095	1,185	0,055342	0,075057	0,071708	0,077570
	1,254	1,118	1,068	1,155	0,028343	0,036200	0,034584	0,037412
	1,112	1,260	1,204	1,302	0,020690	0,027244	0,026028	0,028156
	1,232	1,141	1,090	1,179	0,019828	0,023096	0,022065	0,023869
	1,103	1,269	1,212	1,311	0,008495	0,014892	0,014227	0,015390
	1,232	1,140	1,090	1,179	0,011796	0,014107	0,013477	0,014579
	1,126	1,247	1,191	1,289	0,010558	0,017549	0,016766	0,018137
	1,217	1,157	1,105	1,196	0,013548	0,017536	0,016754	0,018123
49	1,200	1,359	1,298	1,405	0,086053	0,068259	0,065213	0,070544
	1,337	1,397	1,335	1,444	0,051073	0,042193	0,040310	0,043605
	1,414	1,319	1,260	1,363	0,042428	0,030195	0,028848	0,031206
	1,236	1,494	1,427	1,544	0,032208	0,027284	0,026067	0,028198
	1,330	1,404	1,341	1,451	0,019889	0,016792	0,016042	0,017354
	1,149	1,572	1,502	1,625	0,019918	0,015705	0,015004	0,016230
	1,181	1,544	1,475	1,595	0,022481	0,017579	0,016794	0,018167
	1,296	1,437	1,372	1,485	0,023660	0,018117	0,017309	0,018724

Quadro 4D. Tensão cisalhante do escoamento e taxa de desprendimento em sulcos para cada vazão aplicada para o Cambissolo

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Tensão cisalhante (N m <sup>-2</sup> )				Taxa de desprendimento em sulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
14	3,929	3,868	3,695	3,997	0,013344	0,013134	0,012548	0,013573
	4,344	3,688	3,523	3,811	0,005791	0,004917	0,004697	0,005081
	4,272	3,766	3,598	3,892	0,001438	0,001268	0,001211	0,001310
	4,071	3,977	3,800	4,110	0,001949	0,001904	0,001819	0,001968
	4,070	3,978	3,800	4,111	0,002046	0,001999	0,001910	0,002066
	4,015	4,033	3,853	4,168	0,003353	0,003368	0,003218	0,003481
	3,796	4,248	4,058	4,390	0,004926	0,005513	0,005267	0,005697
	3,769	4,274	4,083	4,417	0,012213	0,013850	0,013231	0,014313
21	5,140	4,579	4,375	4,732	0,033849	0,030154	0,028808	0,031163
	5,412	4,333	4,140	4,478	0,016385	0,013117	0,012532	0,013556
	5,434	4,308	4,116	4,452	0,011849	0,009394	0,008975	0,009708
	5,358	4,396	4,199	4,543	0,011785	0,009669	0,009238	0,009993
	5,155	4,618	4,412	4,773	0,005540	0,004964	0,004742	0,005130
	5,016	4,763	4,551	4,923	0,007893	0,007495	0,007160	0,007746
	4,851	4,932	4,712	5,097	0,010697	0,010876	0,010390	0,011240
	4,882	4,900	4,681	5,064	0,014102	0,014154	0,013522	0,014627
28	5,798	5,123	4,895	5,295	0,048697	0,043032	0,041112	0,044473
	5,711	5,253	5,019	5,429	0,022231	0,020449	0,019537	0,021134
	5,676	5,290	5,053	5,467	0,016853	0,015706	0,015005	0,016232
	5,946	4,999	4,776	5,166	0,017873	0,015025	0,014355	0,015528
	6,144	4,773	4,560	4,932	0,011531	0,008957	0,008558	0,009257
	5,863	5,090	4,863	5,261	0,011562	0,010039	0,009591	0,010375
	6,094	4,830	4,615	4,992	0,016550	0,013118	0,012532	0,013557
	5,185	5,779	5,521	5,973	0,014647	0,016326	0,015597	0,016872

Continua...

Vazão (L min <sup>-1</sup> )	Tensão cisalhante (N m <sup>-2</sup> )				Taxa de desprendimento em sulcos (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
35	5,053	5,888	5,625	6,085	0,054469	0,063471	0,060638	0,065595
	5,699	6,069	5,798	6,272	0,023996	0,025553	0,024413	0,026409
	5,200	6,539	6,247	6,758	0,016091	0,020236	0,019333	0,020913
	5,553	6,210	5,933	6,418	0,017066	0,019085	0,018233	0,019723
	5,651	6,116	5,843	6,320	0,010854	0,011747	0,011223	0,012140
	5,226	6,515	6,225	6,734	0,009723	0,012123	0,011582	0,012529
	5,615	6,150	5,876	6,356	0,013481	0,014767	0,014108	0,015262
	5,019	6,702	6,403	6,927	0,012796	0,017088	0,016325	0,017660
42	4,682	6,351	6,067	6,563	0,055342	0,075057	0,071708	0,077570
	5,384	6,876	6,569	7,106	0,028343	0,036200	0,034584	0,037412
	5,288	6,963	6,652	7,196	0,020690	0,027244	0,026028	0,028156
	5,673	6,609	6,314	6,830	0,019828	0,023096	0,022065	0,023869
	4,405	7,722	7,377	7,980	0,008495	0,014892	0,014227	0,015390
	5,591	6,686	6,388	6,910	0,011796	0,014107	0,013477	0,014579
	4,565	7,588	7,249	7,842	0,010558	0,017549	0,016766	0,018137
	5,341	6,914	6,606	7,146	0,013548	0,017536	0,016754	0,018123
49	8,510	6,750	6,449	6,976	0,086053	0,068259	0,065213	0,070544
	8,140	6,724	6,424	6,949	0,051073	0,042193	0,040310	0,043605
	8,630	6,142	5,868	6,347	0,042428	0,030195	0,028848	0,031206
	8,052	6,822	6,517	7,050	0,032208	0,027284	0,026067	0,028198
	8,064	6,808	6,505	7,036	0,019889	0,016792	0,016042	0,017354
	8,298	6,543	6,251	6,762	0,019918	0,015705	0,015004	0,016230
	8,326	6,510	6,220	6,728	0,022481	0,017579	0,016794	0,018167
	8,395	6,429	6,142	6,644	0,023660	0,018117	0,017309	0,018724

## APÊNDICE E

Quadro 1E. Taxa de infiltração de água em função do tempo de aplicação da chuva artificial para o Argissolo

Tempo (min)	Taxa de infiltração de água (mm h <sup>-1</sup> )		
	R1	R2	R3
10	56,7	60,8	60,0
30	35,6	24,2	26,4
60	18,2	10,3	11,2
75	10,5	14,8	8,3
85	13,5	10,2	9,6
90	12,9	8,5	10,3
95	7,2	9,4	8,7
105	7,2	5,9	6,6
115	6,3	6,4	7,0
130	6,6	6,5	6,6
140	7,8	7,9	8,0
155	11,6	10,8	9,6
170	9,8	9,5	9,6
180	9,5	8,2	9,5
195	12,5	9,1	10,1
205	9,7	6,5	8,3
220	8,3	8,2	7,5
230	10,0	6,8	8,4
245	8,9	8,3	7,3
260	6,9	6,0	7,3
275	7,7	6,3	7,8
285	11,4	5,4	5,5
300	8,0	8,3	6,3
310	8,2	6,8	5,8
325	8,8	6,5	5,8
340	8,8	6,0	6,9
350	9,4	7,1	4,9
360	9,1	9,7	8,5

Quadro 2E. Taxa de infiltração de água em função do tempo de aplicação da chuva artificial para o Cambissolo

Tempo (min)	Taxa de infiltração de água (mm h <sup>-1</sup> )		
	R1	R2	R3
30	61,7	62,3	60,5
40	56,5	58,6	51,8
60	51,6	60,7	54,7
70	54,8	52,3	53,6
85	48,3	51,5	56,5
90	44,4	53,3	51,0
100	35,4	25,1	24,4
110	19,8	27,0	20,7
120	34,9	37,5	34,3
140	21,8	32,5	22,2
150	33,6	33,6	32,7
165	25,4	24,3	29,9
175	24,7	25,7	26,0
185	20,4	27,4	24,9
195	23,9	36,4	38,7
205	14,5	27,6	25,6
210	29,7	27,5	31,2
215	12,5	22,7	21,9
220	23,9	22,5	28,5
230	16,3	22,8	19,3
235	17,3	26,1	22,6
240	9,1	19,5	29,4
245	19,1	14,0	19,7
250	13,8	14,2	19,8
260	14,3	17,3	24,4
265	11,7	19,7	20,9
270	9,4	8,6	16,4
280	15,8	13,0	14,8
285	16,4	7,0	16,2
290	15,7	6,8	22,3
300	14,2	9,2	13,6
305	17,5	10,3	14,1
310	15,5	6,8	18,3
320	12,0	7,1	16,2
330	7,7	15,0	16,9
350	10,3	11,4	14,7
360	10,0	13,9	14,3
370	11,7	12,3	12,4
380	9,8	18,6	15,6
385	9,3	13,1	14,5
390	13,2	12,9	12,2
395	10,4	11,6	14,0
405	10,8	13,4	10,9
410	11,0	12,9	13,9

Continua...

420	12,4	12,6	11,5
430	12,4	12,5	12,5
450	14,3	6,2	16,9
460	11,7	6,9	15,8
475	13,0	8,1	14,3
490	14,4	10,3	12,7
500	13,1	10,6	13,9
515	12,3	12,5	12,1
530	12,5	12,6	12,1
540	12,6	14,2	13,5

---