

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

Determinação da Erodibilidade e do Fator
Cobertura e Manejo do Solo sob Condições de
Chuva Natural e Simulada

Eliete Nazaré Eduardo

2012



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

**DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE E DO FATOR COBERTURA
E MANEJO DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA NATURAL E
SIMULADA**

Eliete Nazaré Eduardo

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

Co-orientação do Professor
Marcos Bacis Ceddia

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

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2012

631.45

E24d

T

Eduardo, Eliete Nazaré, 1983-

Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada / Eliete Nazaré Eduardo - 2012.

47 f.: il.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.
Bibliografia: f. 38-46.

1. Solos - Erosão - Teses. 2. Solos - Manejo - Teses. 3. Cobertura dos solos - Teses. 4. Chuvas - Métodos de simulação - Teses. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1968- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

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

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

ELIETE NAZARÉ EDUARDO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/02/2012

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

Teodorico Alves Sobrinho. Dr. UFMS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho: à Deus, por sempre guiar meus passos;

Aos meus pais, José Eduardo e Maria Néria Eduardo;

As minhas irmãs, Eliz, Elizabete e Elaine;

Aos meus afilhados Juninho, Pedro Antônio e Marcelo;

Aos meus sobrinhos Mallú, Marcos Paulo e Maria Fernanda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por minha vida e por mais essa realização a que me foi permitida alcançar;

Aos meus pais José Eduardo e Maria Néria Eduardo, pelo amor, carinho e força durante esses anos de caminhada e por possibilitarem a realização desse sonho;

As minhas irmãs Eliz, Elizabete e Elaine, pelo incentivo, apoio e carinho;

Ao professor Daniel Fonseca de Carvalho, pela orientação, confiança em mim depositada, pelas oportunidades e pelo eterno aprendizado;

A minha amiga Dauciléia, irmã que a vida permitiu escolher, primeiramente por esses ótimos anos de convivência, pela companhia nas longas madrugadas de estudo, pela força nos momentos de dificuldade, pela paciência e por fim, por me mostrar que é uma pessoa justa e de caráter (obrigada por ampliar o conceito de amizade)!

Ao Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas, por mostrar o que é trabalhar em equipe e que sempre a “união faz a força”;

Ao Eng. Agrícola e agora mestrando Hermes, aos estudantes de agronomia Lucas e Wilk, pela ajuda na execução desse trabalho em especial nas avaliações com o simulador de chuva;

Ao apoio da Embrapa Agrobiologia na disponibilização da área experimental (Terraço), na pessoa do Gerente de campo Sr Ernani Meirelles. Em especial a todos os funcionários do Campo Experimental por toda ajuda durante esses anos de trabalho;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por conceder a oportunidade de mais esse título;

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS), representado pelo Coordenador Professor Marcos Gervasio Pereira, pela confiança depositada para que este trabalho pudesse ser finalizado, e pelo apoio prestado na execução desse trabalho;

Ao Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da UFMS pelo empréstimo do simulador de chuvas, cedido especialmente para a realização deste trabalho, na pessoa do Professor Teodorico;

A CAPES e a FAPERJ pelo indispensável auxílio financeiro (bolsa) durante os anos de curso.

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

Obrigado a todos.

RESUMO

EDUARDO, Eliete Nazaré. **Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O objetivo desse trabalho foi determinar a erodibilidade do solo (K) e o fator manejo e cobertura do solo (C), sob chuva natural e simulada, em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO em Seropédica (RJ), informações necessárias para o planejamento do uso da terra e conservação do solo e da água. No estudo com chuva natural foram avaliadas as perdas de solo (PS) ocorridas em parcelas padrão de Wischmeier, no período de 2006 a 2011, com seus respectivos índices de erosividades (EI_{30}). As erodibilidades do solo foram calculadas pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade das chuvas anuais (K_a) e total no período (K_t), considerando o coeficiente angular gerado na análise de regressão linear entre esses mesmos parâmetros (K_{ci} e K_{ct}). Para a determinação do fator C, sob chuva natural foram avaliados os tratamentos de milho em nível (MN) e de milho morro a baixo (MMA) em três anos de cultivo. No estudo com chuva simulada, as perdas de solo foram avaliadas no período de setembro a dezembro de 2011, sob os mesmos tratamentos (MN e MMA). A erodibilidade do solo estudado sob chuva natural, para 5 anos de estudo é de $0,0090 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Para a chuva simulada, esse valor é de $0,00021 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; sob chuva natural, os valores médios do fator C calculados são de 0,0070 e 0,0132 $\text{Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, para a cultura do milho cultivado em nível e morro abaixo, e de 0,0932 e 0,1298 $\text{Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sob chuva simulada. Em ambos os estudos, o fator C apresentou maiores valores no início do período avaliado, decrescendo com a evolução da cultura. Os elevados valores do fator C obtidos no estudo com chuva simulada estão associados ao elevado índice de erosividade resultante das características adotadas no uso do simulador de chuva.

Palavras chave: Erosão hídrica. USLE. Fator K. Fator C. Simulador de chuva.

ABSTRACT

EDUARDO, Eliete Nazaré. **Determination of erodibility and soil cover and management factor under natural and simulated rain.** 2012. 47p Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The purpose of this study was to determine the soil erodibility (K) and soil cover and management factor (C) under natural and simulated rainfall in an Udult soil in Seropédica, Rio de Janeiro State, Brazil. In the study with natural rainfall, the soil losses (SL) were evaluated from measurements in Wischmeier standard-plots in the period of 2006 to 2011, with their respective erosivity index (EI_{30}). The soil erodibility values were calculated from the ratio of soil loss and the annual rainfall erosivity (K_a) and total period (K_t), considering the angular coefficient generated from the linear regression analysis between those parameters (K_{ci} and K_{ct}). For the determination of C factor under natural rainfall, it was evaluated the treatments maize in contour lines (MN) and maize in slope lines (MMA) during three years of cultivation. In the study with simulated rainfall, soil losses were evaluated during the period of September to December 2011, under the same treatments (MN and MMA). The soils erodibility under natural rainfall for 5 years of study is $0.0090 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. For the simulated rain, this value is $0.00021 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; under natural rainfall, the average values of C factor calculated are 0.0070 and $0.0132 \text{ Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, respectively, for maize grown in contour and slope line, and 0.0932 and $0.1298 \text{ Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ under simulated rainfall. In both studies, the C factor showed higher values in the beginning of the study period, decreasing with the evolution of culture. The higher C factor values obtained in the study with simulated rainfall are associated with higher erosivity index resulting from the characteristics adopted in the use of simulator rainfall.

Keywords: Water erosion. USLE. K Factor. C Factor. Rainfall simulator.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
	2. 1 A Erosão do Solo	3
	2.2 Erosão Hídrica do Solo.....	3
	2.3 Simulador de Chuva	5
	2.4 Equação Universal da Perda de Solo.....	7
	2.5 Erodibilidade do Solo – Fator “K”	8
	2. 6 Cobertura e Manejo do Solo – Fator C.....	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
	3.1 Estudo com Chuva Natural.....	11
	3.1.1 Caracterização da área experimental	11
	3.1.2 Registro da precipitação e cálculo da erosividade das chuvas	11
	3.1.3 Coleta da enxurrada	12
	3.2 Estudo com Chuva Simulada.....	13
	3.2.1 Caracterização da área experimental	13
	3.2.2 Coleta do escoamento superficial	13
	3.2.3 Calibração e instalação do simulador	14
	3.3 Tratamentos	15
	3.4 Quantificação das Perdas de Solo	16
	3.5 Determinação da Erodibilidade do Solo	17
	3.5.1 Determinação de forma indireta	17
	3.5.2 Determinação de forma direta	17
	3.6 Determinação da Razão de Perda de Solo (RPS).....	18
	3.7 Determinação da Fração da Erosividade (FEI ₃₀)	18
	3.8 Determinação do Fator C - Cobertura e Manejo do Solo	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
	4.1 Estudo com Chuva Natural.....	19
	4.1.1 Registro das precipitações e perdas de solo correspondentes na parcela padrão	19
	4.1.2 Perda de solo nos diferentes tratamentos.....	21
	4.1.3 Análise da erodibilidade – Fator “K”	23
	4.1.4 Análise do fator cobertura e manejo do solo – Fator C.....	26
	4.2 Estudo com Chuva Simulada.....	28
	4.2.1 Caracterização física da área	28
	4.2.2 Caracterização das precipitações.....	29
	4.2.3 Avaliação das perdas de água e solo	30
	4.2.4 Análise das perdas de solo e erosividades acumuladas	33
	4.2.5 Análise da erodibilidade do solo	35
	4.2.6 Análise do fator cobertura e manejo do solo.....	36
5	CONCLUSÕES	37
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
7	ANEXOS	47

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos afeta as terras agrícolas e as áreas de vegetação natural, podendo ser considerado um dos mais importantes problemas ambientais. Dentre as formas de degradação, a erosão hídrica é um dos aspectos mais importantes a ser considerado com relação ao uso e manejo dos solos. De acordo com Lal et al. (2011), em termos globais, há cerca de 1,094 milhões de hectares de áreas propensas a erosão pela água.

A erosão do solo é problema em todo o mundo e constitui fenômeno de importância em razão da rapidez com que se processa e pelo fato de acarretar grandes prejuízos para a exploração agropecuária, para diversas outras atividades econômicas e para o meio ambiente. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), dentre as perdas diretas provocadas pela erosão está o carreamento da massa de terra e com ela o próprio corpo do solo e os nutrientes nela contidos. Esse desgaste resulta na redução da produtividade do solo, ocasionando efeitos econômicos negativos. Como prejuízos indiretos destacam-se o transporte de fertilizantes químicos e agrotóxicos carregados para as correntes fluviais, danificando a fauna aquática e colocando em risco a qualidade da água para uso doméstico. Telles et al. (2011) ressaltam que além das reduções dos atributos físicos, químicos e biológicos, a erosão do solo provoca reduções econômicas, sendo gastos, em todo mundo, milhões de dólares por ano em decorrência da erosão.

Diante desse cenário, o estudo da erosão e conservação dos solos se torna importante, pois o conhecimento antecipado do potencial erosivo de uma determinada área pode direcionar o uso e manejo sustentáveis dos recursos naturais ali contidos (Aquino et al., 2007). Segundo Morgan (2005) o controle da erosão é uma necessidade em quase todos os países do mundo sob praticamente todos os tipos de uso do solo. Nearing et al. (2004) relatam que as consequências da erosão são motivo de preocupação ainda mais agora que somos confrontados pela mudança climática, uma vez que tem sido relatado que mudança climática e eventos extremos podem aumentar as taxas de erosão.

Uma das formas de se conhecer a perda anual de solo consiste em usar modelos de simulação para descrever matematicamente o processo da erosão hídrica. Um dos mais utilizados no mundo é a USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier & Smith, 1978), sendo a erosividade (fator R), a erodibilidade (fator K) e a cobertura e manejo (fator C) importantes variáveis no estudo da conservação do solo e da água.

Onde, a erosividade expressa a capacidade da chuva em causar erosão e para sua caracterização é necessário o cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI_{30}) mensal, obtido por pluviógrafo (Wischmeier & Smith, 1978).

A erodibilidade pode ser determinada de forma direta ou indireta. O método originalmente proposto faz uso de parcelas experimentais, sob condições padrão, possibilitando a determinação do fator K na forma direta, sob chuva natural. Embora seja o mais representativo, apresenta limitações práticas, pois demanda longo tempo de investigação para obter resultados confiáveis. De acordo com Sheklabadi et al. (2003), a erodibilidade pode também ser determinada usando simuladores de chuva. Por outro lado, diferentes métodos indiretos têm sido propostos, para obtenção desse parâmetro de forma mais fácil e rápida.

Já o fator cobertura e manejo do solo (C) é definido como a razão entre as taxas de perda de solo ocorrida durante determinada fase de desenvolvimento da cultura e a perda de solo ocorrida simultaneamente em condições padrão (Wischmeier & Smith, 1978).

Originalmente, os fatores K e C da USLE foram obtidos a partir de eventos de chuva natural, mas em função das dificuldades em campo, os simuladores de chuva têm se tornado alternativa viável e prática. De acordo Alves Sobrinho et al. (2008) os simuladores de chuva

são instrumentos valiosos em estudos que visam caracterizar os efeitos de diferentes manejos de solo nas propriedades do solo.

Nesse contexto se justifica a execução deste trabalho que teve como objetivos: determinar a erodibilidade de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO sob chuva natural e simulada; e determinar o fator cobertura e manejo do solo no mesmo solo sob chuva natural e simulada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Erosão do Solo

Erosão é um processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, que pode ser caracterizada como geológica (natural) ou acelerada (antrópica). A erosão geológica é o desgaste do solo em equilíbrio com a sua taxa de formação e a erosão acelerada é a ação de destruição sobre o solo constituído, em período de tempo muito menor do que o de sua formação. Dois agentes principais atuam sobre a superfície do terreno ocasionando a erosão: a água da chuva (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica). A ação de ambos é semelhante: a primeira fase é a da desagregação das partículas do solo; a segunda, é a do transporte das partículas já desagregadas; e a terceira fase, é a deposição dessas partículas nas partes baixas do terreno. Na erosão eólica, o material deslocado é depositado em qualquer outro local (Bertoni & Lombardi Neto, 2010). A erosão do solo contribui para a formação de paisagens desde que seja natural e ocorra gradualmente. No entanto, torna-se um processo destrutivo quando é exacerbado por uma série de fatores antrópicos, tais como desmatamento, pastoreio excessivo, métodos incorretos de preparo do solo e práticas agrícolas inadequadas (Lal, 2003).

Há milênios o estudo da erosão do solo tem sido uma preocupação ambiental em países como a China e aqueles que fazem fronteira com o Mar Mediterrâneo. Nos Estados Unidos o maior incentivo à pesquisa científica sobre a erosão do solo e conservação veio de Hugh Hammond Bennett, que liderou o movimento de conservação do solo nas décadas de 1920 e 1930. Na Europa Ocidental, houve uma crescente percepção dos efeitos da erosão do solo a partir da década de 1970 (Morgan, 2005).

No Brasil, a pesquisa científica em erosão acelerada do solo teve uma formação recente. Apesar dos primeiros trabalhos terem sido publicados ainda na década de 1940, aproximadamente metade da produção originou-se nos últimos quinze anos (Barretto et al., 2008). Os primeiros trabalhos na área de conservação do solo foram desenvolvidos pelo Engenheiro Agrônomo João Quintiliano de Avellar Marques, em Viçosa-MG, na década de 1940 (Informe Agropecuário, 1985). Cerca de 85% da degradação das terras globais está associada com a erosão do solo, a maioria das quais ocorreu após a segunda guerra mundial (Bruce et al., 1995). Esse valor mostra, acima de tudo, que medidas conservacionistas devem ser tomadas para que o sistema de produção agropecuário seja sustentável.

Em todo o território brasileiro são perdidos a cada ano, milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão. Principalmente na zona rural, as perdas por erosão continuam sendo elevadas, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (Oliveira et al., 2009).

Ainda há grandes lacunas na compreensão do padrão do processo erosivo em solos naturais, incluindo solos em encostas íngremes, ou em solos sob vegetação natural intacta, onde as características estruturais são diferentes das de solos agrícolas (Bryan, 2000).

2.2 Erosão Hídrica do Solo

A erosão hídrica do solo é um processo mecânico que envolve energia, sendo esta proveniente do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, associado diretamente à energia cinética da precipitação (Cassol et al., 2008) e da tensão cisalhante (arraste) correspondente ao próprio escoamento superficial (Silva et al., 2001). A erosão do solo depende de vários fatores, como a textura do solo, permeabilidade, umidade antecedente, intensidade da chuva, uso do solo, tipo e densidade da cobertura vegetal do solo e a inclinação do terreno (Vahabi & Nikkami, 2008). O volume e a velocidade da enxurrada variam com a

intensidade da chuva, com a declividade do terreno e com a capacidade de infiltração de água no solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2010).

Dentre os tipos de degradação, a erosão hídrica é considerada a que mais tem afetado a capacidade produtiva dos solos, facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de manejo agrícola (Carvalho, 1992). Fundamentalmente, a magnitude do processo de erosão hídrica do solo depende de uma combinação da capacidade da chuva de causar erosão (erosividade da chuva) e da sua capacidade de resistir à ação erosiva, definida como erodibilidade do solo (Volk et al., 2008).

O processo erosivo se inicia com a incidência das precipitações. Do volume total precipitado, parte é interceptado pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo, provocando umedecimento dos agregados do solo e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da chuva ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores (Pruski, 2009). A erosão gera problemas ambientais e econômicos relevantes, principalmente ao se considerar escala reduzida como microbacias (Alves et al., 2005). O solo perdido pela erosão hídrica normalmente é mais fértil, pois contém os nutrientes das plantas, matéria orgânica e algum fertilizante que se tenha adicionado. Estudos têm mostrado que a maior perda de nutrientes ocorre no sedimento e que suas perdas na água da enxurrada são baixas (Cassol et al., 2002). No entanto, Oliveira et al. (2010) concluíram que as perdas de nutrientes foram mais influenciadas pela água da enxurrada que pelo material sólido em suspensão. Milhões de toneladas de terra das camadas superficiais mais férteis podem ser perdidos para sempre se ele é arrastado para o mar (Bertoni & Lombardi Neto, 2010).

As alterações na cobertura do solo também têm impacto significativo sobre a degradação do solo regional, incluindo a erosão do solo, a acidificação do solo, lixiviação de nutrientes, e o esgotamento da matéria orgânica. Desde o século passado, erosão acelerada tornou-se um sério problema ambiental (Sharma et al., 2011).

Nos modelos de predição da perda de solo, a erosão hídrica é normalmente separada em “entre sulcos” e “em sulcos”. De acordo com Pruski (2009), a erosão “entre sulcos” é associada ao desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas de chuva, enquanto na erosão “em sulcos” este desprendimento é associado ao escoamento superficial.

Diante do exposto, a predição da erosão hídrica visando planejamento de uso da terra constitui ferramenta importante, possibilitando comparar as perdas efetivas de solo com a tolerância de perda aceitável, sob o ponto de vista agrícola, para determinado solo. Para tanto, é preciso quantificar os fatores envolvidos na modelagem de erosão hídrica e, posteriormente, validar o modelo para cada local e condição edafoclimática (Bertol et al., 2002b).

A determinação do risco de erosão e a previsão da perda de solo dão subsídios importantes para o planejamento agrícola e ambiental de uma região (Correchel, 2003). Além disso, o conhecimento antecipado do potencial erosivo de determinada área pode direcionar o uso e o manejo sustentáveis dos recursos naturais ali contidos (Aquino et al., 2007).

As operações de preparo do terreno também desempenham papel importante no potencial de erosão do solo das áreas cultivadas, pois altera o microrrelevo e a cobertura por resíduos vegetais de sua camada superficial, promovendo a exposição da superfície do solo à ação da erosão hídrica, dependendo do tipo de preparo (Panachuki et al., 2010). Segundo Vieira & Dabney (2011) a erosão em campos agrícolas tem sido reconhecida como um fator importante na redistribuição de solo ao longo do tempo, resultando no desenvolvimento de alterações morfológicas.

Em geral, quanto mais intenso for o evento de chuva, maior perda de solo está a ele associada. Este risco é altamente relevante considerando os modelos de mudança climática, que prevêem um aumento global da frequência e magnitude dos eventos extremos de chuva. Portanto, avaliações, medições e previsões de erodibilidade do solo em terras aráveis são importantes a curto e longo prazo, na manutenção da produtividade agrícola e sustentabilidade

ambiental (Svoray & Ben-Said, 2009). Também é importante examinar os efeitos potenciais dessas mudanças no potencial de erosão do solo em escala de bacias hidrográficas (Sharma et al., 2011), uma vez que provocam carreamento de solo fértil a partir da área de captação, que são depositados em rios, lagos e reservatórios (Zhou et al., 2008) reduzindo a capacidade dos reservatórios de água doce (Demirci & Karaburun, 2011).

2.3 Simulador de Chuva

Os simuladores de chuva ou infiltrômetros de aspersão têm sido bastante utilizados pelos pesquisadores da área de engenharia de conservação de solo e água. De acordo com Montebeller et al. (2001), esses equipamentos aplicam água por aspersão sobre a parcela do solo onde se deseja estudar as características de infiltração, escoamento superficial e produção de sedimentos, podendo ser controlados a intensidade de precipitação, o tamanho e a velocidade de impacto das gotas. Potter et al. (2004) comentam ainda que simuladores de chuvas tem sido amplamente utilizados para avaliar o transporte de elementos químicos.

Morin et al. (1967) classificam os simuladores de chuva em dois tipos: a) simuladores equipados com gotejadores e b) simuladores equipados com bicos. Os simuladores equipados com bicos têm menor custo de construção e, para a formação de gotas, eles devem ser operados sob determinada pressão, a qual pode ser ajustada para obtenção de uma velocidade de impacto das gotas no solo, similar à velocidade terminal das gotas de chuva.

Em estudos de conservação e manejo do solo e da água, tem se tornado cada vez mais frequente o uso de simuladores de chuva, que permitem controlar as características relativas à intensidade, duração e frequência da precipitação. Segundo Alves Sobrinho et al. (2008, 2002), o uso do simulador de chuva reduz o tempo e o custo requerido para experimentos, nos quais quando realizados com chuva natural requerem um longo período de monitoramento. Permite também melhor controle das condições experimentais e a possibilidade de repetir experimentos sob condições idênticas, o que não é possível com chuva natural.

Parcelas de erosão e simulador de chuva são duas formas de estudar processos erosivos do solo, e as pesquisas nessa área tem sido amplamente utilizadas por cientistas de todo o mundo (Vahabi & Nikkami, 2008). Bertol et al. (2003) a fim de estudar as perdas de nutrientes na erosão hídrica, em diferentes sistemas de manejo, utilizaram simulador de chuva de braços rotativos com intensidade constante de 64 mm h^{-1} , em parcelas de $3,5 \times 11,0 \text{ m}$, em São José do Cerrito - SC. Eles concluíram que as perdas de nutrientes foram fortemente influenciadas pelo tipo de manejo do solo adotado, sendo que as maiores perdas ocorreram sob o preparo convencional.

Carvalho et al. (2002) estimaram as perdas de solo e água em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, utilizando simulador de chuvas pendular, em uma parcela de $0,80 \text{ m}^2$, em Seropédica-RJ. Foram aplicadas chuvas com intensidades de 30, 40, 50, 60 e 70 mm h^{-1} , proporcionando energia cinética de 138, 184, 229, 275 e 321 J m^{-2} , respectivamente. Concluíram que as perdas aumentam com o incremento da energia cinética da precipitação, atingindo 9,7 vezes na perda de solo e 6,4 vezes na perda de água, quando o valor da energia cinética das chuvas passou de 138 para 321 J m^{-2} , respectivamente. Os autores ressaltam que a utilização de equipamentos, como o simulador de chuvas, constitui importante ferramenta para a quantificação e o entendimento do processo erosivo em parcelas experimentais.

Bagatini et al. (2011) avaliaram o efeito da mudança no tipo de uso da terra (pastagem nativa para culturas anuais em fileira) na erosão hídrica, utilizando simulador de chuva de braços rotativos com intensidade constante de 64 mm h^{-1} , em parcelas de $3,5 \times 11,0 \text{ m}$, em Eldorado do Sul-RS. Concluíram que a mudança no uso da terra, em geral, não causa perdas relevantes de solo e água por erosão hídrica, o que fortalece a recomendação de preparos conservacionistas de solo para se fazer agricultura com plantas cultivadas, especialmente as de ciclo anual e dispostas em fileira.

Utilizando simulador de chuva portátil, em parcelas de $0,84 \times 1,2 \text{ m}$, (Vahabi & Nikkami, 2008) estudaram o efeito da chuva, textura do solo, umidade antecedente, declividade e cobertura vegetal, na liberação de sedimento, sob duas intensidades $24,5$ e 32 mm h^{-1} , na bacia hidrográfica Taleghan, em Tehran no Iran. Nesta pesquisa, cobertura vegetal e umidade antecedente do solo são reconhecidos como os fatores mais eficientes na determinação da produção de sedimentos e a inclinação do terreno apresentam menor efeito na produção de sedimentos.

Simuladores de chuva também são utilizados para estimar a erodibilidade dos solos. Sheklabadi et al. (2003) utilizaram um simulador de chuva portátil em parcelas de $1,0 \text{ m}^2$ para determinar a erodibilidade de formações geológicas e para encontrar sua relação com as características física e química dos solos na bacia Golabad, Isfahan (Irã). Os resultados mostraram que o uso do simulador de chuva não só diminuiu o período de obtenção de resultados confiáveis, mas permitiu a aplicação de chuvas com diferentes intensidades, duração e frequência.

Silva et al. (1994) avaliaram em Lavras-MG, a erodibilidade de LATOSSOLOS VERMELHO-ESCURO e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO obtida por seis métodos indiretos, com o método direto determinado no campo com simulador de chuva rotativo, em parcelas de $2,0 \times 10 \text{ m}$. Os autores concluíram que para os solos analisados, os métodos indiretos não apresentam resultados satisfatórios quando comparados ao método direto para estimar um valor absoluto do fator erodibilidade.

Simuladores de chuva também são utilizados em estudos de determinação da taxa de infiltração da água (Alves Sobrinho et al., 2008). Alves Sobrinho et al. (2003), estudaram a infiltração de água em solo cultivado sob diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, utilizando-se simulador de chuvas portátil denominado InfiAsper. Concluíram que o sistema de plantio direto proporciona valores de taxa de infiltração superiores aos do preparo convencional e, entre os tratamentos estudados, a sucessão soja-aveia resultou no maior valor de taxa de infiltração final. Por outro lado, Silva et al. (2005) utilizaram o mesmo modelo de simulador para determinar as perdas de solo e água nos sistemas de plantio direto e convencional. Os autores concluíram que as perdas de solo e de água são mais acentuadas no sistema de cultivo convencional, em todos os tratamentos estudados.

Tendo em vista a diversidade dos eventos de chuva de cada região e os impactos diferenciados que estes podem provocar, os simuladores de chuva surgem como uma ferramenta que permite reproduzir essa variação nos eventos de chuva. Na busca da compreensão dessa variação de eventos, Oliveira et al. (2009) estudaram o efeito dos diferentes padrões de precipitação simulada nas perdas de solo, água e nutrientes, em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, em Seropédica-RJ. Eles utilizaram simulador portátil, em parcelas de $0,80 \text{ m}^2$ simulando quatro diferentes padrões de chuva, caracterizados como avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT). Concluíram que após 60 min de chuva simulada as perdas de solo e água observadas para o padrão atrasado são, em média, superiores em 61,6, 46,4 e 13,6%, respectivamente, para o CT, AV e IN (solo), e de 42,0, 19,0 e 19,0%, respectivamente, para o AV, IN e CT (água). Segundo Truman et al. (2007) características de chuvas influenciam os processos afetando a infiltração, o escoamento, descolamento do solo e o transporte de sedimentos e elementos químicos.

Eltz et al. (2001) comentam que a utilização de chuva simulada normalmente impossibilita a reprodução das características das chuvas naturais, em termos de intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva, além das dificuldades de se compararem os resultados obtidos, tendo em vista o uso de consideráveis diversificações de simuladores de chuva, intensidades de chuva e tipos de parcela. Para isso, Alves Sobrinho et al. (2001) comentam que para um simulador de chuvas ser considerado satisfatório, é necessário que ele: a) apresente relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural acima de 75%; b) que a água seja aplicada de modo contínuo na parcela experimental ou, no mínimo, execute duas aplicações por segundo compondo, assim, uma aplicação não intermitente; e c) permita o uso de parcela experimental com área superior a 0,50 m², caracterizada como parcela alvo de precipitação, pois experimentos cuja área útil é inferior a 0,50 m², estão sujeitos a resultados tendenciosos.

2.4 Equação Universal da Perda de Solo

A Equação Universal da Perda de Solo (“*Universal Soil Loss Equation*” – USLE) é um dos modelos de predição da erosão mais conhecidos e utilizados no mundo. Este modelo foi obtido a partir de observações de perda de solo em mais de 10.000 parcelas padrão (3,50 m de largura; 22,10 m de comprimento e 9% de declividade), localizadas em todas as regiões dos Estados Unidos (Wischmeier & Smith, 1978). Trata-se de um modelo matemático obtido por meio de análises estatísticas de dados experimentais e desenvolvido para ser utilizado no planejamento de medidas de conservação do solo (De Maria & Lombardi Neto, 1997). A equação é expressa por:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

em que:

A = perda de solo, Mg ha⁻¹ ano⁻¹;

R = erosividade da chuva, MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹;

K = Fator erodibilidade do solo, Mg ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ ha h.

L = Fator comprimento de declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 22,1 m para o mesmo solo e grau de declive.

S = Fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9 % para o mesmo comprimento de rampa;

C = Fator cobertura e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado.

P = Fator de práticas conservacionistas: representa o efeito de práticas conservacionistas como plantio em nível, terraceamento e plantio em faixas na erosão do solo, expressando a relação entre a perda de solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (morro abaixo).

A parte fundamental da equação é a de isolar cada variável e reduzir o seu efeito a um número-índice, de modo que, quando os valores são multiplicados entre si, o resultado final seja a quantidade prevista de solo erodido. A USLE é geralmente utilizada para dois principais objetivos: o primeiro envolve a orientação metodológica da decisão tomada no planejamento da conservação em terras agrícolas. A equação permite que os planejadores prevejam a taxa média de erosão do solo para cada sistema de cultivo alternativo, técnicas de controle e práticas de manejo em qualquer nível específico de tolerância de perda local. O segundo objetivo consiste em estimar a perda total de solo com base em dados que representam condições locais (Wischmeier & Smith, 1978).

Bryan (2000) comenta que a USLE foi reconhecida como um instrumento prático para ajudar no manejo agrícola e tem sido muito bem sucedida para orientar práticas de manejo do solo, especialmente quando empregada na região onde os dados originais foram adquiridos. Segundo Sharma et al. (2011), a USLE é um modelo amplamente utilizado devido à sua simplicidade e uma maior disponibilidade de parâmetros de entrada.

Para se ter uma aplicação da USLE com confiabilidade, seus parâmetros devem ser testados em relação aos dados medidos (Özhan et al., 2005). Diante disso, o uso do simulador é uma ferramenta importante para testar os dados medidos, e assim verificar se há correlação entre os parâmetros analisados.

2.5 Erodibilidade do Solo – Fator “K”

A erodibilidade expressa, quantitativamente, a suscetibilidade do solo ao processo erosivo (Foster, 1982), e por isso tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo (Silva et al., 2000). Foster (1982) acrescenta que a diferença na erodibilidade de distintos solos ocorre devido às condições intrínsecas desses solos, dadas pelas características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Segundo Bryan (2000), a erodibilidade apresenta variabilidade temporal e espacial e por isso foi definida como uma variável de longo prazo, ao invés de um índice de resposta em eventos específicos de precipitação.

Bertoni & Lombardi Neto (2010) e Amorim et al. (2009) comentam que a erodibilidade é uma propriedade do solo, resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas, sendo influenciada principalmente por características que afetam a capacidade de infiltração, permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada. Knapen et al. (2007) em estudo pioneiro, avaliaram o efeito do plantio direto nas taxas de escoamento e na erodibilidade sob ensaios simulando escoamentos concentrados. Eles concluíram que o efeito do plantio direto sobre as taxas de desagregação do solo é resultado de modificações das propriedades do solo, como aumento de densidade de raízes, as quais afetam a erodibilidade do solo.

Uma das metodologias utilizadas na estimativa da erodibilidade consiste na correlação entre a erosividade da chuva (fator R) e as perdas de solo observadas em parcelas experimentais com chuva simulada. Esta metodologia apresenta a vantagem de agilizar a obtenção de dados importantes a respeito de práticas de manejo do solo e culturas, visando à conservação do solo e da água. A erodibilidade é expressa como a quantidade de solo perdido por unidade do fator R. Adotando a parcela padrão, considera-se que os demais parâmetros da USLE (L, S, C e P) são iguais à unidade, por se tratar da parcela mantida sem cobertura (Wischmeier et al., 1971).

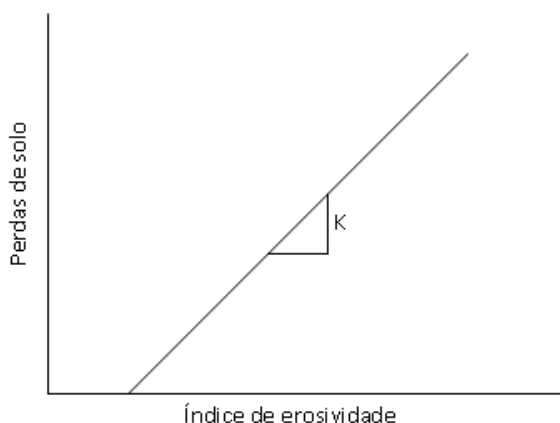
Dessa forma, a USLE fica reduzida à expressão apresentada na equação 2:

$$A = R K \quad (2)$$

Graficamente, o fator K pode ser definido como o coeficiente angular de uma reta que passa pela origem, cuja variável independente é a erosividade (R) e a variável dependente é a perda de solo (A). A Figura 1 ilustra a obtenção gráfica do fator K.

Conforme Albuquerque et al. (2000), a erodibilidade do solo é uma característica utilizada nos planejamentos conservacionistas, especialmente quando áreas agrícolas são utilizadas intensamente. Em termos de conservação do solo, a erodibilidade do solo constitui-

se no fator de maior custo e morosidade para determinação, notadamente no Brasil, em face de extensão territorial e da diversidade edáfica.



Fonte: Pruski (2009)

Figura 1: Ilustração gráfica da erodibilidade do solo (K).

De acordo com Silva et al. (2009), no Brasil ainda são incipientes os estudos envolvendo erodibilidade do solo, dada a morosidade na obtenção dos resultados de experimentos com chuva natural. Os autores argumentam que o conhecimento dos índices de erosividade e de erodibilidade é importante para o planejamento conservacionista, contribuindo para a sustentabilidade dos solos.

Segundo Romkens (1985), melhores estimativas do fator K são obtidas a partir de medições diretas em parcelas de escoamento natural, se o período de observação for suficientemente longo e se as condições de terreno são atendidas. O autor ressalta ainda que boas estimativas podem ser obtidas a partir de estudos com simulador de chuvas desde que a chuva simulada apresente o padrão de precipitação observada na localidade.

Face às dificuldades apresentadas quanto à instalação de parcelas de perdas de solo no campo, custo e morosidade para determinação da erodibilidade, muitos autores têm buscado desenvolver modelos visando sua estimativa de maneira indireta. O primeiro método para a estimativa da erodibilidade do solo foi desenvolvido por Wischmeier et al. (1971), o qual consiste em uma representação gráfica (nomograma) baseada na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade) com percentagem de matéria orgânica. Wischmeier & Smith (1978) ressaltam que o uso do nomograma é indicado para aqueles casos em que a fração silte não exceda 70%. De acordo com Singh & Khera (2009), o nomograma tem sido amplamente utilizado em todo o mundo.

Estimativas indiretas, com base no nomograma ou outras relações de predição de propriedades do solo devem ser cuidadosamente consideradas em relação ao tipo de solo para a qual essas relações foram derivadas.

2. 6 Cobertura e Manejo do Solo – Fator C

O fator cobertura e manejo do solo (fator C) é o fator mais importante do ponto de vista do planejamento de conservação, pois as mudanças no uso da terra adotadas para reduzir a erosão são nele refletidas. Para determinada cultura, o fator C representa o somatório dos produtos da razão de perda de solo (RPS) pela fração do índice de erosividade (FEI_{30}) de cada fase de desenvolvimento da cultura (Wischmeier & Smith, 1978). A RPS é a razão entre a perda de solo ocorrida em um determinado sistema de manejo e a perda ocorrida num solo descoberto, apresentando, portanto, valores entre 0 (zero) e 1 (um). A FEI_{30} também varia

entre zero e um, e representa a porcentagem do índice de erosividade que produziu a erosão utilizada no cálculo da respectiva RPS dentro de cada fase. Assim, o fator C varia de acordo com a erosividade e com a erodibilidade, para cada cultura e tipos de manejo ou cultivo do solo, sendo mais próximo de zero nos sistemas de manejo conservacionistas, e de 1 (um) nos sistemas não-conservacionistas (Bertol et al., 2002a). Percebe-se, portanto, grande dificuldade na determinação desse fator em virtude das muitas combinações possíveis de erosividade, cultura, sistemas de cultivo, tipos de preparo e manejo e tipos de solo (Prochnow et al., 2005). Apesar disso, Gabriels et al. (2003) comentam que o fator C é um importante parâmetro na estimativa do impacto do uso do solo na erosão.

Como o resultado final do fator C é função de uma integração de fatores (solo, clima, topografia, característica do material ou prática de manejo adotada), considera-se o valor numérico deste fator válido especificamente para a região onde o mesmo foi determinado. Assim há necessidade de um amplo estudo da variação do fator C, em um determinado local com suas características climáticas e erosividade das chuvas, para diferentes condições de manejo do solo, durante o período chuvoso, visando o uso mais adequado nos modelos de estudo da erosão (Silva & Schulz, 2001).

Wischmeier (1975) sugeriu que a cobertura do solo pelo dossel, a cobertura do solo pelos resíduos culturais e o efeito residual do uso do solo fossem avaliados separadamente, como subfatores do fator C, permitindo, dessa forma, obter um valor mais refinado. No Brasil, a literatura sobre este assunto é ainda incipiente, sendo, portanto, necessárias o desenvolvimento de pesquisas em diferentes condições edafoclimáticas (Amaral, 2006). O método descrito por Wischmeier e Smith (1978) permite a determinação dos valores de fator C para rotações de culturas e práticas de manejo usadas nos EUA. Para outros países, no entanto, as informações detalhadas para o cálculo deste fator são escassas (Morgan, 2005).

Özhan et al. (2005) comentam que o fator ganha mais importância com a evolução das fases de desenvolvimento das culturas. Segundo os autores, em ecossistemas florestais muito densos, não há necessidade de determinar os fatores C e P separadamente. Gabriels et al. (2003), ao calcularem o fator C para sistemas de rotação das principais culturas de exploração agrícola na Bélgica, observaram que a aplicação de alguns sistemas de rotação podem causar mais erosão por escoamento superficial. Os autores concluíram que estes fatores C calculados, podem ser utilizados como critério para selecionar um sistema de rotação adequado para reduzir o risco de erosão no local, sendo necessária a validação desses valores usando dados das parcelas experimentais de campo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental denominada Terraço, pertencente à EMBRAPA-Agrobiologia e localizada no município de Seropédica-RJ, sob as coordenadas 22° 46' de latitude Sul e 43° 41' de longitude Oeste. O solo é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e o terreno apresenta declividade média de 0,09 m m⁻¹.

3.1 Estudo com Chuva Natural

3.1.1 Caracterização da área experimental

A área experimental constitui-se de três parcelas com dimensões de 22,1 x 3,5 m (77,35 m²), delimitadas nas laterais e extremidades superiores por chapas galvanizadas de 2,00 x 0,20 m, cravadas no solo aproximadamente 10 cm e, nas extremidades inferiores, por calhas coletora de enxurrada (Carvalho et al., 2009). As parcelas de perda de solo utilizadas neste trabalho foram instaladas em 1979 (Freitas et al., 1980), segundo método preconizado por Wischmeier & Smith (1978).

Após a condução de estudos no período de outubro de 1983 a março de 1986 (Carvalho, 1992), as mesmas foram parcialmente desativadas, sendo somente recuperadas em 2004 (Cruz, 2006; Soares et al., 2007; Machado, 2011). Portanto, as avaliações visando a determinação da erodibilidade do solo compreenderam os anos de 2004 a 2011, sendo descartados os períodos chuvosos 2004-2005 e 2005-2006, pois, segundo Wischmeier & Smith (1978), os dois primeiros anos de coleta devem ser desconsiderados, visando minimizar o efeito da variação das condições de superfície no cálculo da erodibilidade.

3.1.2 Registro da precipitação e cálculo da erosividade das chuvas

As características dos eventos de precipitação ocorridos durante o período de condução do experimento foram determinadas a partir dos dados obtidos em pluviógrafo digital, instalado na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), localizado a, aproximadamente, 500 m da área experimental.

De posse dos dados pluviográficos, armazenados a cada minuto, procedeu-se o cálculo dos índices de erosividade EI₃₀ das chuvas ocorridas durante a execução do experimento utilizando-se o programa “Chuveros” (desenvolvido pelo Prof. Elemar Antonino Cassol - UFRGS). O programa calcula a erosividade das chuvas a partir de um arquivo de dados de extensão “DAT”, que deve conter as chuvas individuais e erosivas, ocorridas durante um determinado ano. O programa adota os critérios para individualização das chuvas erosivas propostos por Wischmeier & Smith (1965) e modificados por Cabeda (1976), pelos quais uma chuva é considerada independente quando separada de outra por no mínimo seis horas, com precipitação inferior a 1 mm, e considerada erosiva, quando a lâmina precipitada for superior a 10 mm ou quando a mesma for igual ou superior a 6 mm, em um período máximo de 15 minutos.

A energia cinética das chuvas (Ec) foi calculada para cada segmento do pluviograma com intensidade uniforme, por meio da equação 3 (Foster et al., 1981):

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \quad (3)$$

na qual:

Ec = energia cinética do segmento, MJ ha⁻¹; e

I = intensidade de chuva, mm h⁻¹;

Para a obtenção do EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) de um determinado evento de precipitação, valores de E_c foram multiplicados pela máxima intensidade de precipitação em 30 minutos, denominada I_{30} .

3.1.3 Coleta da enxurrada

Na extremidade inferior de cada parcela havia um sistema coletor (Figura 2), no qual toda enxurrada escoada era conduzida até uma calha coletora, que estava conectada a um primeiro tanque de armazenamento (caixa A), por meio de tubos feitos em PVC, com 0,15 m de diâmetro e 6,0 m de comprimento. Esse tanque possui capacidade de armazenamento de 800 L, sendo dotado de uma calha coletora do tipo GHEIB, que permitia o escoamento de um volume correspondente a 1/11 daquele recolhido na caixa A, quando sua capacidade era atingida. Nesse caso, o volume era recolhido em uma segunda caixa, (caixa B), com capacidade de armazenagem de 1.000 L.

Ambas as caixas eram dotadas de tampas para que a precipitação não fosse contabilizada como escoamento superficial. As coletas de enxurradas foram realizadas sempre após cada evento de chuva capaz de proporcionar escoamento superficial.

O volume total escoado foi obtido a partir da seguinte equação:

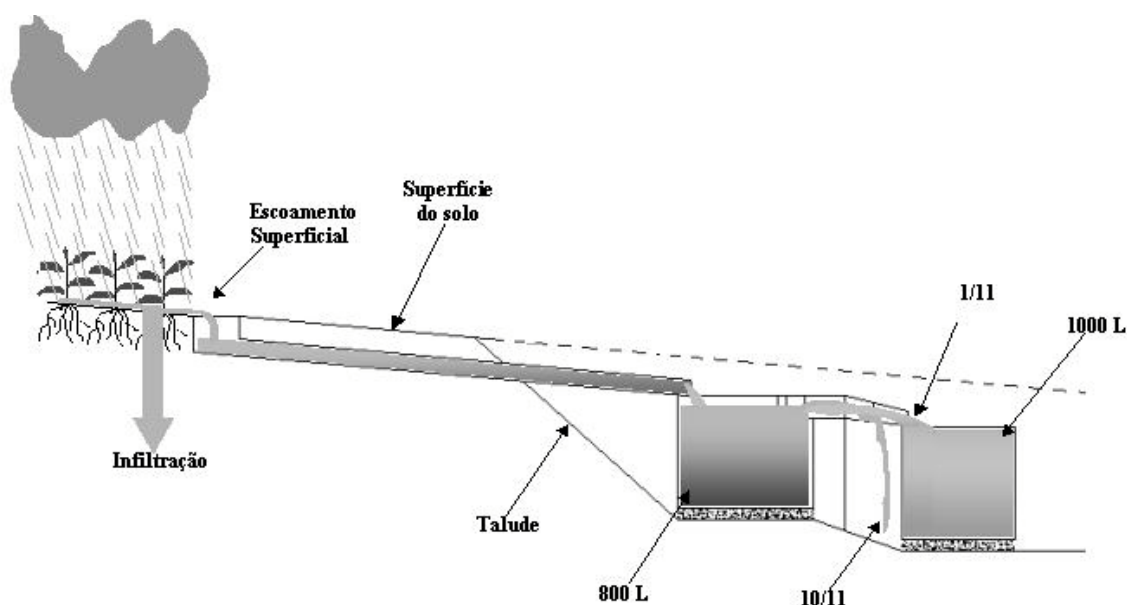
$$Vol = VolA + (11 VolB) \quad (4)$$

em que:

Vol = volume total escoado da parcela, L;

VolA = volume total escoado retido na primeira caixa de armazenamento, L; e

VolB = volume total escoado retido na segunda caixa de armazenamento, L.



Fonte: Cruz (2006)

Figura 2: Esquema do funcionamento do conjunto das estruturas utilizadas nas coletas de perdas de solo e água.

De posse do volume total escoado calculou-se o escoamento superficial, de acordo com a equação 5:

$$L_{esc} = \frac{V_{esc}}{A} \quad (5)$$

em que:

L_{esc} = lâmina escoada, mm;

V_{esc} = volume total escoado da parcela, L; e

A = área da parcela, m^2 .

Após a ocorrência de chuva capaz de gerar escoamento superficial foram realizadas as amostragens do sedimento e da suspensão retidos na(s) caixa(s), conforme os procedimentos descritos a seguir:

a) em se verificando a presença de suspensão na caixa B, a coleta começava por ali, homogeneizando a suspensão e retirando-se 3 (três) alíquotas de 0,5 L cada uma para fins de quantificação do peso de sólidos em suspensão. Após esta coleta, a caixa era esvaziada por um orifício localizado no fundo da mesma, sendo limpa e fechada novamente;

b) após a realização do procedimento descrito anteriormente, toda vez que havia presença de sedimento, fazia-se a coleta do material retido na Caixa A. Para isto, primeiramente era feita a constatação da presença de sedimento no fundo da Caixa, homogeneizando-se logo em seguida o material (suspensão e sedimento), procedendo-se então da mesma forma de coleta descrita no item anterior, coletando-se inclusive o mesmo número de amostras (Carvalho et al., 2009).

3.2 Estudo com Chuva Simulada

Foi utilizado o simulador de chuvas denominado InfiAsper/UFMS (Figura 3a), desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2002, 2008), cedido pelo Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da UFMS, especialmente para a realização deste trabalho.

Segundo os autores, o equipamento apresenta uma uniformidade média de distribuição de água entre 82 a 87% e uma relação entre a energia cinética da chuva produzida e a energia cinética da chuva natural acima de 90%, para intensidades de precipitação inferiores a 100 $mm\ h^{-1}$. O equipamento opera com bicos Veejet 80.150, com pressão de serviço de 35,6 kPa.

3.2.1 Caracterização da área experimental

A área útil experimental correspondia a uma parcela de 0,70 m^2 , delimitada por uma calha de formato retangular conforme Figura 3b, construída em chapas de aço galvanizado de forma a permitir a coleta do volume de água escoado superficialmente. As parcelas foram cravadas no solo e permaneceram fixas na área durante todo o período avaliado. Após a instalação das parcelas no campo, no intuito de verificar as diferenças provocadas pela variabilidade do terreno, foi realizado levantamento dos atributos físicos do solo, tais como densidade de solo (método do anel volumétrico), macro e micro porosidade (método da mesa de tensão) e porosidade total, conforme preconizados por Embrapa (1997). As coletadas foram feitas ao lado das parcelas e em duas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.

3.2.2 Coleta do escoamento superficial

Conforme método apresentado por Oliveira et al. (2010), as parcelas receberam um pré-molhamento, com o objetivo de oferecer condições uniformes de umidade, constituindo-se um pré-requisito necessário antes da aplicação da chuva simulada (COGO et al., 1984). Assim, as parcelas apresentavam condições mais favoráveis à ocorrência do escoamento superficial.

Os testes tiveram duração de 60 minutos e a partir da verificação do início do escoamento superficial, o mesmo era contabilizado em intervalos alternados de um minuto, totalizando 31 coletas por teste. A lâmina de escoamento superficial foi obtida pela relação

entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental (Alves Sobrinho et al., 2008).

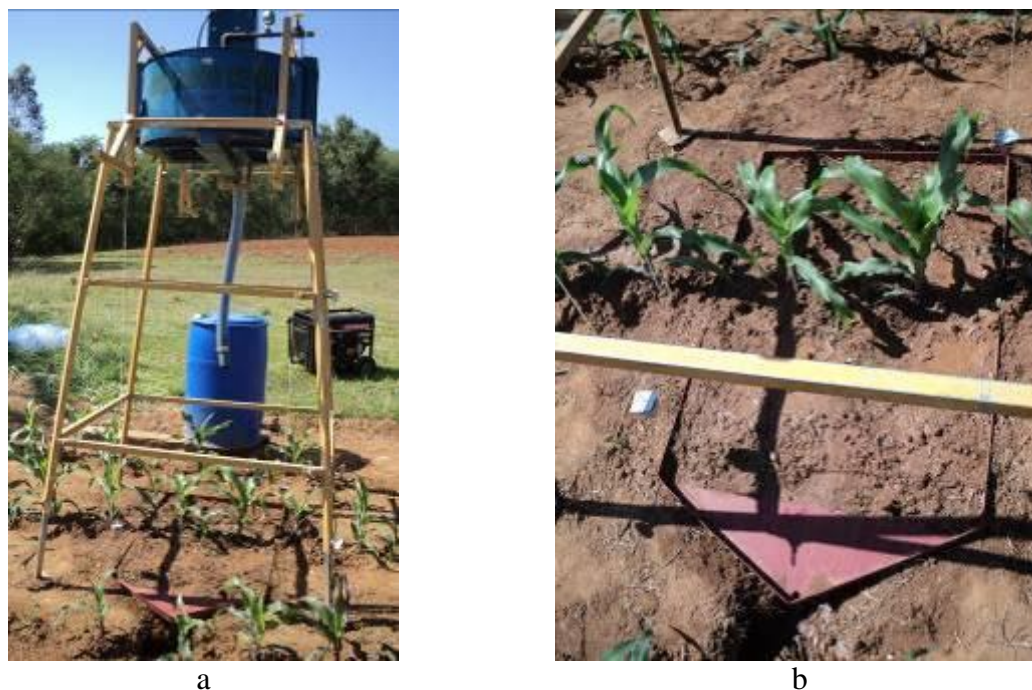


Figura 3: Vista do simulador de chuva usado no projeto (a) e parcela de coleta de erosão (b).

3.2.3 Calibração e instalação do simulador

Antes do início dos testes em campo, procederam-se os testes de calibração do simulador, seguindo método proposto por (Alves Sobrinho et al., 2003). Inicialmente o equipamento foi calibrado para aplicar chuva com intensidade de 30 mm h^{-1} , que representa a lâmina média das chuvas intensas ocorridas na região de Seropédica, RJ (Carvalho et al., 2005). No entanto, em testes preliminares foi verificado que o início do escoamento ocorria, em média, de 35 a 40 minutos após o início da chuva, mesmo com o umedecimento prévio da superfície do terreno. Dessa forma, e prevendo melhor operacionalidade do equipamento em campo, adotou-se a intensidade de precipitação (I_p) média de 60 mm h^{-1} , que tem sido adotada em estudos dessa natureza (Carvalho et al., 2002; Mello et al., 2003; Leite et al., 2004; Silva et al., 2005a; Silva et al., 2005b; Truman et al., 2005; Panachuki et al., 2006; Truman et al., 2007; Bertol et al., 2008; Gilles et al., 2009; Gómes et al., 2009; Luciano et al., 2009; Oliveira et al., 2010).

Após a definição da I_p a ser aplicada, foi realizado o ajuste da abertura das fendas no obturador e da pressão de serviço utilizando uma bandeja do mesmo tamanho da parcela experimental ($0,70 \text{ m}^2$), instalada dentro da área de ação do equipamento. Antes de cada teste, era realizado o posicionamento do simulador e o seu nivelamento em relação à parcela, utilizando-se prumos e nível. Além disso, era conferida a altura dos bicos do simulador para que os mesmos ficassem sempre a 2,30 m acima da superfície do terreno.

A partir dos valores de I_p , duração da chuva, diâmetro médio das gotas aplicada pelo simulador (Alves Sobrinho et al., 2002), pressão de serviço do sistema e altura dos bicos aspersores, foi possível a determinação da energia cinética (E_c) para cada evento de chuva simulada utilizando o programa computacional “EnerChuva”, desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2001). A partir desses resultados se obteve, também, o índice de erosividade (EI_{30}) para cada evento, conforme metodologia apresentada por Carvalho et al. (2005).

3.3 Tratamentos

Antes da estação chuvosa, em cada período de avaliação, o solo das parcelas era preparado de forma convencional (uma aração e duas gradagens), variando o sentido do preparo em função do tratamento adotado:

a) Milho em nível – preparo convencional do solo em nível e milho (*Zea mays*) híbrido da Agrocères (AG-1051) semeado no espaçamento de 1,0 m entre sulcos e 0,3 m entre plantas, com as linhas de plantio dispostas em nível (MN) (Figura 4a);

b) Milho morro abaixo – preparo convencional do solo e plantio de milho com o mesmo espaçamento, porém, com as linhas de plantio dispostas de morro abaixo (MMA); e

c) Solo Exposto - preparo convencional do solo no sentido do declive, mantendo-se o solo sem cobertura durante a execução do experimento (SN) (Figura 4b).

No estudo com chuva natural, a semeadura do milho era realizada entre os meses de outubro a dezembro. A adubação de plantio foi de 50 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. A aplicação foi localizada nos sulcos de plantio e as fontes de N, P e K empregadas foram respectivamente Uréia (46% de N), Termofosfato (16% de P₂O₅) e Sulfato de Potássio (48% K₂O). Cerca de 35 a 40 dias após a semeadura era realizada adubação de cobertura na dosagem de 100 kg ha⁻¹ de N. A adubação aplicada foi baseada nos resultados revelados pela análise química do solo, a partir de amostras coletadas na profundidade de 0,0 - 0,3 m, seguindo recomendações do Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (Almeida et al., 1988).



Figura 4: Unidades experimentais referentes aos tratamentos Milho em nível (a) e à parcela padrão da USLE (b).

Para o estudo com chuva simulada foram empregados os mesmos tratamentos descritos anteriormente (Figura 5). A semeadura do milho foi realizada no dia 04/10/2011, seguindo a mesma adubação. Com a finalidade de evitar replantio foram semeadas duas sementes, após o estabelecimento do milho foi realizado o desbaste de uma planta.

Foram realizados quatro testes com o simulador de chuva, sendo o primeiro no período de 22 a 30/09/11 – antes do plantio do milho (Época 1); o segundo no período de 8 a 11/11/11 (Época 2); o terceiro no período de 30/11 a 5/12/11 (Época 3); e o último, no período de 13/12 a 15/12/11 (Época 4). Foram avaliados os 3 tratamentos com 4 repetições, totalizando 12 parcelas analisadas por teste.

Com a finalidade de melhor análise dos dados de perdas de solo e água e das características física da área, aplicou-se o teste t de Student, para comparação dos dados pareados, ou seja, MN x MMA, MN x SN e SN x MMA.

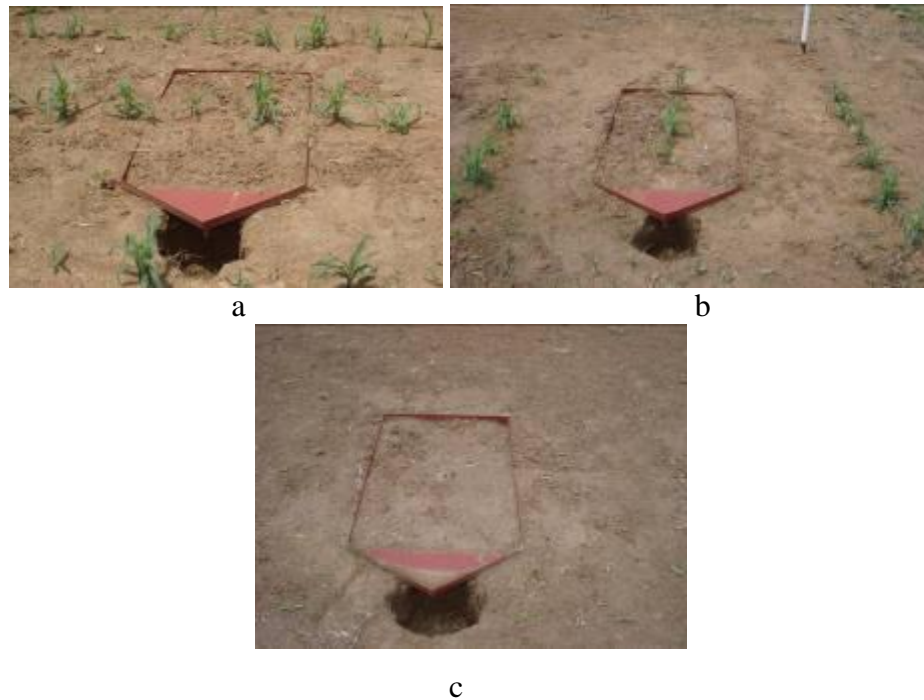


Figura 5: Unidades experimentais dos tratamentos Milho em nível (a), Milho morro abaixo (b) e solo nu (c), referentes aos testes com simulador de chuva.

3.4 Quantificação das Perdas de Solo

Para a determinação da massa de solo erodido, presente na suspensão, o material coletado era agitado e vertido em provetas, adicionando-se cerca de 10 mL de uma solução de sulfato de alumínio na concentração de $0,018 \text{ mol L}^{-1}$, para proporcionar a floculação do material em suspensão, e assim, promover a separação dos sedimentos. Após essa etapa, parte da água era retirada por meio de sifonagem para facilitar a secagem das alíquotas, utilizando estufa a 105°C , durante 24 horas. Após a secagem completa do material, era realizada a determinação da massa de solo nas amostras em suspensão e, em seguida, a massa total proporcional ao volume de enxurrada coletado do evento correspondente.

No estudo com chuva simulada, foram avaliadas as perdas de solo presentes nos volumes coletados a cada 5 minutos, totalizando 11 amostras por teste.

3.5 Determinação da Erodibilidade do Solo

3.5.1 Determinação de forma indireta

De forma indireta, a erodibilidade foi determinada segundo o nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971), representado matematicamente pela equação 6.

$$K = \left\{ 2,1(10^{-4})(12 - OM)M^{1,14} + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3) \right\} / 100 \quad (6)$$

em que:

OM = conteúdo de matéria orgânica, %;

M = parâmetro que representa a textura do solo;

s = classe de estrutura do solo, adimensional; e

O parâmetro M foi calculado utilizando a equação 7.

$$M = (\% \text{silte} + \% \text{areia muito fina})(100 - \% \text{argila}) \quad (7)$$

Os valores de classe de estrutura do solo (s) para os solos de estrutura granular muito fina, granular fina, granular média ou grossa e em blocos, laminar ou mássica, são 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os valores de “p” para solos com permeabilidade rápida, moderada a rápida, moderada, lenta a moderada, lenta e muito lenta são 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Neste estudo a permeabilidade foi obtida utilizando o permeâmetro modelo IAC (Vieira et al., 1988), com orifício no solo para introdução da sonda de 0,15 m e carga hidráulica de 0,05 m. A condição de fluxo constante foi considerada estabilizada após a terceira leitura igual e consecutiva.

Os parâmetros OM e M foram obtidos a partir de determinações física e química realizadas segundo Embrapa (1997), sendo as amostras coletadas a 0,20 m de profundidade, conforme a metodologia proposta por Wischmeier et al. (1971).

3.5.2 Determinação de forma direta

O cálculo da erodibilidade de forma direta foi realizado a partir da análise da perda de solo coletada na parcela padrão (solo exposto) e da erosividade das chuvas ocorridas, conforme análise dos pluviogramas. Os índices de erodibilidade foram calculados pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade das chuvas anuais (Ka) e total no período (Kt) e pela análise de regressão simples entre esses mesmos parâmetros (Kci e Kct).

Também foram analisados os dados coletados na área no período de 2004 a 2010 (Cruz, 2006; Soares et al., 2007; Machado, 2011).

Para a chuva simulada, em virtude de a precipitação apresentar erosividade constante, determinou-se a erodibilidade do solo apenas pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade do evento.

Neste caso, as perdas de solo coletadas foram ajustadas, em virtude do comprimento da parcela ser diferente do comprimento padrão da USLE (fator L - 22,1 m). Para isso, foi utilizada a equação 8, proposta por Wischmeier & Smith (1978):

$$L = \left(\frac{\tau}{\tau_n} \right)^m \quad (8)$$

em que:

- L = fator comprimento de rampa (adimensional);
- τ = comprimento de rampa no campo, (1,0 m);
- τ_n = comprimento de rampa da parcela-padrão da USLE (22,1 m), e
- m = expoente que varia com o grau de declive, adimensional.

Utilizou-se valor de m igual a 0,5, uma vez que a declividade da área era maior que 0,05 m m⁻¹.

3.6 Determinação da Razão de Perda de Solo (RPS)

A razão de perdas de solo foi calculada utilizando-se a equação 9, para as perdas acumuladas durante o período do desenvolvimento vegetal das culturas. Em função da disponibilidade de dados, para o estudo com chuva natural, a RPS foi determinada para os anos de 2007/2008, 2008/2009 e 2010/2011. Para o estudo com a chuva simulada, a RPS foi determinada apenas para o período de realização que compreende os quatro testes, 22/09 a 15/12/2011.

$$RPS_i = \frac{\sum_{i=1}^n PS_m}{\sum_{i=1}^n PS_d} \quad (9)$$

em que:

- i = fase de desenvolvimento da cultura;
- PS_m = perda de solo na parcela com milho, t ha⁻¹;
- PS_d = perda de solo na parcela com solo descoberto, t ha⁻¹; e
- n = número máximo de fases de desenvolvimento da cultura a serem avaliadas.

O ciclo da cultura foi dividido em 4 fases, com igual tempo de duração em cada um deles, conforme metodologia proposta por Wischmeier (1960).

3.7 Determinação da Fração da Erosividade (FEI₃₀)

A FEI₃₀ representa a fração do índice de erosividade (EI₃₀), responsável pela perda de solo numa determinada fase de desenvolvimento da cultura, foi estimada pela razão entre a erosividade das chuvas ocorridas em cada fase e a erosividade total das chuvas no ciclo da cultura (Wischmeier & Smith, 1978), conforme a equação 10.

Foi determinada para o mesmo período do item 3.6.

$$FEI_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R} \quad (10)$$

em que:

- R_i = índice de erosividade na fase i; e R = a erosividade total do período chuvoso.

3.8 Determinação do Fator C - Cobertura e Manejo do Solo

O fator C, para cada fase, foi calculado pelo produto da RPS e FEI₃₀ da referida fase. O somatório dos valores do fator C ao longo do ciclo das culturas permitiu obter o fator C da cultura, sob os diferentes manejos do solo (Equação 11).

$$C = RPS \cdot FEI_{30} \quad (11)$$

O fator C foi determinado para o mesmo período do item 3.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo com Chuva Natural

A Tabela 1 apresenta os dados de precipitação para os meses de janeiro e dezembro desde a retomada dos trabalhos na área do experimento em 2004. O menor valor registrado ocorreu no intervalo de dez/2010 a jan/2011 (221,8 mm), sendo este muito inferior ao observado para o período de 2009/2010, com 692,3 mm.

Tabela 1: Distribuição de precipitação nos meses de dezembro e janeiro no período de 2004 a 2011

Ano	Mês	Total precipitado (mm)
2004	dez	170,2
2005	jan	189,2
	dez	217,9
2006	jan	151,2
	dez	144,5
2007	jan	186,0
	dez	165,7
2008	jan	201,8
	dez	255,8
2009	jan	242,2
	dez	365,1
2010	jan	327,2
	dez	143,8
2011	jan	78,0

Seguindo o mesmo padrão observado em toda a região sudeste do Brasil, o município de Seropédica apresenta uma estação chuvosa bem definida, entre os meses de novembro a março. Entretanto, são normalmente verificados períodos de estiagem durante essa estação (veranico), tendo ocorrido um período de 28 dias sem nenhuma precipitação, nos meses de janeiro e fevereiro de 2011.

4.1.1 Registro das precipitações e perdas de solo correspondentes na parcela padrão

Os eventos de chuva apresentaram ampla variabilidade ao longo dos anos avaliados, ocorrendo, em alguns casos, elevadas perdas de solo a partir de eventos com baixa erosividade. Na Tabela 2 são apresentados os resultados das avaliações na parcela padrão, referente ao período 2006 a 2011, contendo as máximas lâminas, erosividades (EI_{30}) e perdas de solo (PS), e suas respectivas datas de ocorrência. É possível constatar que nem sempre as maiores lâminas precipitadas correspondem às maiores erosividades e maiores perdas de solo, como ocorrido em 11/02/2007 e 24/10/2007. Isto pode ser explicado analisando a ocorrência de chuvas antecedentes à referida perda, as quais proporcionam elevação da umidade do solo, favorecendo maiores desagregação das partículas pelo impacto de gotas e escoamento superficial e, conseqüente, perda de solo.

Ao longo do período avaliado, o máximo valor de erosividade calculado foi de 885,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, correspondente ao evento ocorrido em 11/02/2007. O valor máximo da perda de solo quantificado foi de 21.545 Mg ha⁻¹, determinado em 15/02/2009.

Tabela 2: Períodos chuvosos com as datas de máximas lâminas, EI₃₀ e perdas de solo (PS)

Período	Data	Lâmina (mm)	EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	PS (Mg ha ⁻¹)
2006-2007	11/02/07	100	-	-
	11/02/07	-	885,1	-
	11/02/07	-	-	6,0711
Média		28,3	112,6	0,4515
Total		538,5	2.138,5	8,58
2007-2008	24/10/07	95	-	-
	24/10/07	-	456,2	-
	24/10/07	-	-	4,2647
Média		24,1	59,6	0,4515
Total		578,1	1.431,3	10,84
2008-2009	15/02/09	74	-	-
	28/12/08	-	874,3	-
	15/02/09	-	-	21,544
Média		25,8	161,7	3,5704
Total		593,0	3.719,1	82,12
2009-2010	16/03/10	87	-	-
	16/03/10	-	624,0	-
	28/02/10	-	-	13,223
Média		32,1	198,9	2,4233
Total		514,0	3.182,2	38,77
2010-2011	05/12/10	49	-	-
	22/12/10	-	440,9	-
	22/12/10	-	-	0,7086
Média		19,5	106,0	0,1324
Total		331,3	1.801,9	2,25

Os valores acumulados de EI₃₀ encontrados para os períodos chuvosos de 2008/2009 e 2009/2010 (3.719,1 e 3.182,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) estiveram próximos entre si, mas superiores aos valores encontrados para os períodos 2006/2007, 2007/2008 e 2010/2011.

Os valores totais de lâminas precipitadas foram próximos entre os períodos chuvosos avaliados com exceção para o período de 2010/2011. Por outro lado, os valores totais de perdas de solo apresentaram variação de 82,12 Mg ha⁻¹ e 2,25 Mg ha⁻¹, respectivamente para os períodos de 2008/2009 e de 2010/2011.

No período chuvoso de 2010/2011 (Tabela 2), o valor acumulado de EI₃₀ foi de 1.801,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, próximo ao encontrado por Carvalho et al. (2009) para a mesma região deste estudo (1.268,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), durante o período de 24/12/2004 a 25/05/2005. Analisando a série de dados pluviográficos, referente ao período de 1973 a 1980 da estação 83741 (Ecologia Agrícola), Carvalho et al. (2010) encontraram valores médios de EI₃₀ de 1.090,2; 1.041,8; 763,8; 828,9; 487,5; 260,7 e 53,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, para os

meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho. Esses valores são superiores aos encontrados neste estudo.

Os resultados apresentados na Tabelas 2 mostram a importância de se conhecer a distribuição do índice EI_{30} ao longo do período, utilizando-o como uma ferramenta de orientação para a utilização de práticas conservacionista principalmente nos meses que apresentarem maiores índices de erosividade. No estudo apresentado, o período com maior risco à erosão hídrica compreende os meses de novembro e março, devido ao maior potencial erosivo das chuvas e à maior umidade antecedente do solo neste período.

Carvalho et al. (2005) apresenta um estudo com os valores mensais, anuais e médios dos índices de erosividade (EI_{30}) de Seropédica e Nova Friburgo, para o período de 1974 a 1980. Os resultados mostram que nas regiões estudadas, o período chuvoso compreende os meses de outubro a março, coincidindo com as chuvas de verão, caracterizadas primordialmente como convectivas. Silva et al. (2009) ao estudarem a erosividade para a região de Lavras-MG, no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2002, concluíram que os maiores riscos em relação à erosão hídrica encontram-se entre novembro e março, coincidindo com o maior potencial erosivo das chuvas.

4.1.2 Perda de solo nos diferentes tratamentos

Nas Tabelas de 3 a 5 são apresentadas as perdas de solo nas parcelas solo nu (SN), milho morro abaixo (MMA) e milho em nível (MN), nos períodos chuvosos 2007/2008, 2008/2009 e 2010/2011, respectivamente.

As perdas totais de solo foram 8,7784; 0,0703 e 0,0366 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente, para as parcelas SN, MMA e MN (Tabela 3).

Tabela 3: Perdas de solo nas parcelas com diferentes tratamentos, no período 2007/2008

Data	Perda de solo ($Mg\ ha^{-1}$)		
	SN	MMA	MN
20/10/2007	0,0001	0,0000	0,0000
24/10/2007	4,2647	0,0395	0,0296
25/10/2007	0,0001	0,0000	0,0000
25/10/2007	0,0015	0,0001	0,0001
12/11/2007	0,0003	0,0000	0,0000
13/11/2007	0,0005	0,0012	0,0000
12/12/2007	0,3660	0,0003	0,0007
13/12/2007	0,0126	0,0037	0,0013
23/12/2007	0,0045	0,0000	0,0000
24/12/2007	0,0001	0,0000	0,0000
18/01/2008	0,0001	0,0001	0,0001
20/01/2008	0,1504	0,0044	0,0004
23/01/2008	0,0002	0,0000	0,0000
28/01/2008	0,0002	0,0005	0,0005
05/02/2008	1,1400	0,0065	0,0031
07/02/2008	1,5318	0,0106	0,0002
21/02/2008	0,5921	0,0007	0,0000
27/02/2008	0,7132	0,0027	0,0006
Total	8,7784	0,0703	0,0366
Média	0,0030	0,0004	0,0001

Observa-se que o tratamento MN reduziu em 99,6% as perdas de solo em relação ao tratamento SN. Nas parcelas com cobertura, verifica-se que a parcela MN reduziu em 47,9% as perdas de solo em relação ao MMA.

Para o período 2008/2009 (Tabela 4), as perdas totais de solo determinadas foram de 82,1197; 1,5088 e 0,4344 Mg ha⁻¹, respectivamente para as parcelas SN, MMA e MN. Observa-se que o tratamento MN reduziu em 99,5% as perdas de solo em relação ao tratamento SN. Analisando as parcelas com cobertura, nota-se que a parcela MN reduziu em 71,2% as perdas de solo em relação ao MMA.

Tabela 4: Perdas de solo nas parcelas com diferentes tratamentos, no período 2008/2009

Data	Perda de solo (Mg ha ⁻¹)		
	SN	MMA	MN
16/12/08	0,0100	0,011	0,0016
17/12/08	0,0313	0,0944	0,0028
20/12/08	0,2870	0,0999	0,1029
23/12/08	0,0310	0,084	0,0008
26/12/08	2,4440	0,0659	0,0659
28/12/08	18,9630	0,2451	0,0655
07/01/09	0,0851	0,013	0
15/01/09	0,0020	0	0
19/01/09	6,8766	0,0405	0,0268
21/01/09	0,7371	0,0157	0,0033
22/01/09	0,1793	0,0059	0,0037
27/01/09	0,1944	0,0007	0,001
31/01/09	0,0465	0,0024	0,001
01/02/09	0,0168	0,0011	0
09/02/09	2,107	0,0380	0,0029
13/02/09	2,042	0,1079	0,0473
15/02/09	21,5444	0,0128	0,0019
27/02/09	10,7782	0,0208	0,0108
13/03/09	0,0810	0,3229	0
14/03/09	12,2750	0,323	0,0952
29/03/09	0,1640	0,0002	0
01/04/09	3,1010	0,0032	0,001
03/04/09	0,1230	0,0004	0
16/04/09	0,0100	0,011	0,0016
24/04/09	0,0313	0,0944	0,0028
Total	82,1197	1,5088	0,4344
Média	3,5704	0,0656	0,0189

Analisando as Tabelas 4 e 5, pode-se observar que no início do período de coleta as perdas nas parcelas SN e MMA são de mesma ordem de grandeza, pelo fato da cultura do milho ainda estar no estágio inicial de desenvolvimento, se aproximando da condição de solo descoberto. Com a evolução da taxa de cobertura da cultura as perdas entre as parcelas tornam-se expressivamente diferentes, mostrando a eficiência da cobertura vegetal em relação à parcela SN. Esse efeito é melhor avaliado analisando a precipitação ocorrida em 22/12/10 (34,0 mm), quando uma erosividade de 440,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ proporcionou perdas de 0,7086; 0,0121 e 0,0083 Mg ha⁻¹, respectivamente, para as parcelas SN, MMA e MN. O mesmo padrão nas perdas de solo, entre as parcelas, foi observado em 26/12/2008, para um evento de

67 mm, com erosividade de 65,9. A partir dessas datas, a ocorrência de precipitação não alterou expressivamente o padrão erosivo nas parcelas MN e MMA, que se mantiveram praticamente estabilizado, sendo as perdas na parcela MMA sempre superiores à parcela MN.

Analisando a Tabela 5 as perdas totais de solo foram de 2,2532; 0,3305 e 0,1813 Mg ha⁻¹, respectivamente, para os tratamentos SN, MMA e MN. Nota-se que o tratamento MN reduziu em 92,0% as perdas de solo, em relação ao tratamento SN. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), o cultivo em nível pode reduzir em até 50% as perdas de solo em relação ao cultivo morro abaixo. Pode-se observar uma redução de 45,1% nas perdas de solo do MN em relação ao MMA (Tabela 10), corroborando com os autores supracitados.

Tabela 5: Perdas de solo nas parcelas com diferentes tratamentos, no período 2010/2011

Data	Perda de solo (Mg ha ⁻¹)		
	SN	MMA	MN
05/12/10	0,2824	0,2841	0,1554
06/12/10	0	0	0
07/12/10	0	0	0
14/12/10	0	0	0
15/12/10	0,0126	0,002	0,0023
22/12/10	0,7086	0,0121	0,0083
23/12/10	0,4247	0,0056	0,0021
27/12/10	0,002	0,0005	0,0008
29/12/10	0,0002	0,0002	0,0001
03/01/11	0,0036	0,0004	0,0004
04/01/11	0,0019	0,0002	0,0002
11/01/11	0,0001	0,0001	0
15/01/11	0,3366	0,0073	0,0051
19/01/11	0,005	0,0001	0,0001
28/02/11	0,3058	0,0151	0,0051
01/03/11	0,0015	0,0002	0,0002
05/03/11	0,0873	0,0004	0,0005
16/03/11	0,0027	0,0002	0,0002
17/03/11	0,0004	0,0001	0
30/03/11	0,0073	0,0002	0,0001
01/04/11	0,0583	0,0017	0,0004
03/04/11	0,0049	0	0
05/04/11	0,0073	0	0
Total	2,2532	0,3305	0,1813
Média	0,0049	0,0002	0,0002

4.1.3 Análise da erodibilidade – Fator “K”

a) Determinação de forma indireta

A Tabela 6 apresenta o resultado da análise de matéria orgânica e permeabilidade para as parcelas de solo nu e cultivado com milho em nível.

Tabela 6: Valores de matéria orgânica (MO) e permeabilidade do solo (P)

Tratamento	MO (g kg ⁻¹)	P (mm h ⁻¹)
Solo Nú	12,3	3,9
Milho Nível	23,9	5,7

Analisando os resultados na Tabela 6, pode-se afirmar que o manejo do solo altera a dinâmica da água no mesmo, uma vez que solos cultivados acumulam material orgânico e a folhagem da cultura, principalmente o milho, interceptam as gotas da chuva. De acordo com Truman et al. (2005) sistemas de manejo que acumulam resíduos no solo, o que ajuda a diminuir o impacto das gota de chuva e também o escoamento. Assim, esses solos tendem a apresentar uma melhor qualidade física em função de uma melhor agregação, maior porosidade o que resulta em uma maior permeabilidade, e assim em menor escoamento superficial.

A retirada da cobertura vegetal de um solo e a conseqüente incidência direta da radiação solar sobre a sua superfície podem ser responsáveis pela diminuição dos teores de matéria orgânica.

Utilizando os resultados da análise de textura (Tabela 7), foi obtido valor de 1207 para a variável M (equação 7). A permeabilidade foi classificada como muito lenta, assumindo valor de 6 (muito lenta). A classe de estrutura foi classificada como em blocos (valor 4). A partir dessas variáveis, o valor estimado para K utilizando a equação do nomograma foi de $0,0281 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Tabela 7: Granulometria do solo dentro da parcela de erosão

Local da parcela	Areia (g kg^{-1})				Silte 0,05–0,002 mm (g kg^{-1})	Argila < 0,002 mm (g kg^{-1})
	Grossa 2 – 0,25 mm	Fina 0,25 – 0,10 mm	Muito Fina 0,1 – 0,05 mm	Total 2 – 0,05 mm		
Superior	49,7	529,7	45,0	624,3	101,7	274,0
Médio	45,0	488,0	76,0	609,0	107,3	283,7
Inferior	46,0	482,0	53,0	581,0	118,0	301,0
Média	46,9	499,9	58,0	604,8	109,0	286,2

b) Determinação de forma direta

A Figura 6 apresenta a dispersão dos dados de perda de solo e erosividade para todo o período de análise (2006/2011). Observa-se uma grande dispersão dos pontos, face à sazonalidade das chuvas erosivas e suas correspondentes perdas de solo.

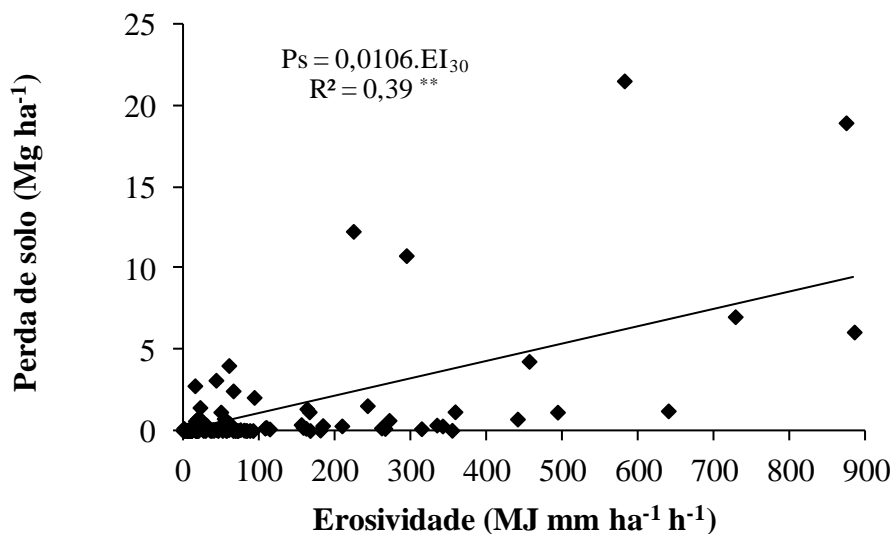


Figura 6: Dispersão e ajuste dos dados entre perda de solo e erosividade (EI_{30}) no período 2006-2011, considerando 114 eventos individuais de chuvas erosivas.

** Estatisticamente significativo ao nível de 1%.

Apesar da grande dispersão dos pontos, comportamento normal em estudos desta natureza, a correlação das variáveis perdas de solo e erosividade das chuvas se apresentou estatisticamente significativa, comprovando o grau de associação entre as ambas.

A Tabela 8 apresenta os índices de erodibilidade calculados pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade das chuvas anuais (Ka) e total no período (Kt) e entre regressão simples entre esses mesmos parâmetros (Kci e Kct). Conforme se observa nessa Tabela, os índices apresentaram alta variabilidade entre os anos avaliados.

Essa variabilidade pode estar relacionada, além das características das chuvas (maior erosividade), a vários outros fatores como: a umidade antecedente no momento dos picos de maior intensidade, precisão na quantificação dos sedimentos sólidos e em suspensão, mobilização do solo por meio de prática de capina antes de chuva de alta erosividade, entre outros.

Tabela 8: Valores de erodibilidade de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO em Seropédica-RJ, no período de 2006 a 2011, em função de EI₃₀ e da perda de solo.

Período	Ka	Kt	Kci	Kct	Número de eventos
	Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹				
2006-2007	0,0033		0,0050 (R ² = 0,74 ^{**})		19
2007 -2008	0,0076		0,0078 (R ² = 0,72 ^{**})		24
2008- 2009	0,0219	0,0090	0,0217 (R ² = 0,70 ^{**})	0,0106 (R ² = 0,39 ^{**})	35
2009- 2010	0,0018		0,0018 (R ² = 0,49 ^{**})		14
2010- 2011	0,0013		0,0013 (R ² = 0,72 ^{**})		22

^{**} Estatisticamente significativo ao nível de 1%.

Comparando-se o valor de erodibilidade calculado Kt (0,0090) com o estimado Kct (0,0106), observa-se que a erodibilidade estimada por regressão linear simples foi 15,09 % maior que a calculada pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas. Bertol (2007) ao estudar um NITOSSOLO HÁPLICO Alumínico, em SC, observou que o valor estimado de K foi 9,0 % superior ao calculado.

Analisando os valores de erodibilidade apresentados na Tabela 8, pode-se observar que o valor estimado pelo uso do nomograma que é $K = 0,0281 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ é cerca de 22 vezes maior que o determinado de forma direta para o período de 2010/2011, onde $K = 0,0013 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Ao comparar o valor estimado com o valor determinado em campo no período de 2006/2011 que é $K = 0,0106 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, essa diferença diminui para cerca de 2,7 vezes. Segundo Amorim et al. (2009), o nomograma normalmente superestima o valor de K para regiões de clima tropical, sendo uma possível explicação para esse comportamento, o fato desse não considerar o efeito dos óxidos de ferro e alumínio, principais agentes cimentantes das partículas em solos desse clima.

O valor de K encontrado para os dados do período 2008-2009 ($0,0219 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) é o mais próximo do valor estimado pelo nomograma. Zhang et al. (2008), comparando dados de erodibilidade medidos com os estimados pelo nomograma em 13 solos no leste da China, verificaram que os valores encontrados pelo uso do nomograma foram consideravelmente maiores do que aqueles medidos a campo.

Estimando a erodibilidade por forma indireta para LATOSSOLO, Silva et al. (2000) concluíram que nenhum dos 23 modelos utilizados mostrou-se recomendável para a estimativa da erodibilidade. Os autores argumentam a necessidade do desenvolvimento de modelos específicos para agrupamento de solos. Por outro lado, Campos Filho et al. (1992), ao compararem valores de erodibilidade obtidos por chuva natural com o nomograma em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, no Agreste Pernambucano, constataram que o

valor de $0,013 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, determinado pelo nomograma, foi praticamente igual ao determinado pelo método direto, cujo valor foi de $0,014 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Os valores de erodibilidade apresentaram uma alta variabilidade temporal, variando de $0,0013$ a $0,0219 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Tabela 8), sendo, por isso, importante o monitoramento anual desse fator. De acordo com Bertol et al. (2007), essa variabilidade é parcialmente explicada pela variabilidade climática que influi no potencial erosivo das chuvas, uma vez que a precipitação natural é variável, espacial e temporalmente (Frauenfeld & Truman, 2004).

Outra explicação vem da interação das propriedades do solo, onde a susceptibilidade ao processo erosivo é altamente influenciada por suas propriedades físicas. Segundo Singh & Khera (2009) mudanças no teor de matéria orgânica do solo, agregação e características de infiltração podem influenciar na mudança de erodibilidade do solo. Essas propriedades intrínsecas do solo influenciam no seu grau de erodibilidade pela ação da água da chuva, pois afetam a taxa de infiltração e a capacidade total de armazenamento da água, geram forças resistentes à dispersão, pela ação do impacto das gotas de chuva, e ao transporte, pelo fluxo superficial.

Devido a essa complexidade envolvida no processo da erodibilidade, Bryan (2000) a define como uma “caixa preta”, e ressalta a importância da compreensão da dinâmica das propriedades do solo no processo. Segundo o autor, as propriedades do solo como agregação, consistência e resistência ao cisalhamento, geralmente dominam resposta de erosão e que essas propriedades coletivamente influenciam o movimento da água, a distribuição das forças erosivas e resistência ao arrastamento.

Para o solo estudado, o valor de erodibilidade deve ser considerado como aquele obtido por meio da série de dados referente ao período 2006-2011, sendo classificada como baixa (Carvalho, 1994). Silva et al. (2009), na região de Lavras-MG, encontraram valores de erodibilidade de $0,0355 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para um CAMBISSOLO e de $0,0032 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para um LATOSSOLO.

Silva et al. (2000) estudando 19 LATOSSOLOS submetidos a experimentos com chuva simulada e natural, verificaram que os LATOSSOLOS apresentaram valores de erodibilidade entre $0,002$ e $0,034 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Bertol et al. (2002b) encontraram um valor de K na ordem de $0,0151 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para um CAMBISSOLO HÚMICO em Lages (SC). Bertol et al. (2007) encontraram um valor de fator K de $0,011 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para o NITOSSOLO HÁPLICO Alumínico. Por outro lado, Marques et al. (1997) encontraram fator K de $0,033 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para a mesma classe de solo desse estudo ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, para a região de Sete Lagoas (MG).

Os resultados apresentados demonstram que as variações nos valores do fator K são devidas às diferenças de classes de solos, onde seus atributos mineralógicos, químicos, físicos e morfológicos são diferenciados. As diferenças encontradas estão associadas às particularidades de cada ordem de solo, sendo os LATOSSOLOS uma ordem que tem como características: solos formados por material intensamente intemperizados, bem estruturados fisicamente o que lhe confere elevada permeabilidade e assim maior resistência ao processo erosivo. Por outro lado, os ARGISSOLOS são mais propensos ao processo erosivo pois apresentam, como característica, uma camada de acúmulo de argila, com menor permeabilidade que a superfície do solo.

4.1.4 Análise do fator cobertura e manejo do solo – Fator C

Na Tabela 9 são apresentados os valores de perdas de solo, fração do EI_{30} , razão de perdas de solo e fator C nas diferentes fases do ciclo da cultura de milho.

Tabela 9: Valores de perdas de solo na parcela padrão (SN), fração do EI₃₀ (FEI₃₀), razão de perdas de solo (RPS) e fator C nas diferentes fases no ciclo da cultura de milho em nível (MN) e no milho morro abaixo (MMA), em três ciclos de estudo

Ciclo da cultura	Fases	SN (kg ha ⁻¹)	FEI ₃₀ *	MN		MMA	
				RPS	C	RPS	C
				(Mg ha Mg ⁻¹ ha ⁻¹)			
20/10/2007 a	1	4.645,85	0,5948	0,0068	0,0041	0,0096	0,0057
	2	155,11	0,1051	0,0033	0,0003	0,0291	0,0031
	3	2.672,15	0,2745	0,0014	0,0004	0,0066	0,0018
	4	1.305,24	0,0256	0,0004	0,0000	0,0026	0,0001
	Média	2.194,59	0,2500	0,0030	0,0012	0,0120	0,0027
10/12/2008 a	1	25.773,00	0,3544	0,0093	0,0033	0,0238	0,0084
	2	12.410,00	0,3172	0,0069	0,0022	0,0171	0,0054
	3	44.679,00	0,2964	0,0024	0,0007	0,0080	0,0024
	4	3.389,70	0,0319	0,0003	0,0000	0,0011	0,0000
	Média	21.562,93	0,2500	0,0047	0,0016	0,0125	0,0041
03/12/2010 a	1	1.434,10	0,5589	0,1181	0,0660	0,2126	0,1188
	2	343,6	0,2388	0,0157	0,0038	0,0225	0,0054
	3	394,6	0,1245	0,0147	0,0018	0,0400	0,0050
	4	80,9	0,0778	0,0087	0,0007	0,0276	0,0021
	Média	563,3	0,2500	0,0393	0,0181	0,0757	0,0328
Média dos 3 ciclos		8.106,94	0,2500	0,0157	0,0070	0,0334	0,0132

* MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹

As fases de desenvolvimento foram divididas em períodos de, aproximadamente, 30 dias. Não foi possível avaliar o período antes do plantio devido à proximidade do preparo do solo e plantio.

Analisando a Tabela 9 observa-se que os valores do fator C variam consideravelmente ao longo das fases de desenvolvimento da cultura, provavelmente em virtude do desenvolvimento da cultura ao longo do tempo. No início do ciclo, a cultura apresenta uma fase de desenvolvimento mais lenta, influenciando nos maiores valores para o fator C (menor cobertura do solo). Além disso, o período correspondente à primeira fase do ciclo da cultura normalmente corresponde ao início do período chuvoso na região, quando o solo está recém preparado e ainda praticamente exposto. Em seguida, a cultura estabiliza seu crescimento, promovendo a interceptação da chuva.

Segundo Pruski (2009), quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, menor será a sua propensão à ocorrência de erosão. Isso porque além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação tende a minimizar o efeito da energia de impacto das gotas de chuva, reduzindo a destruição dos agregados, obstrução dos poros e selamento superficial do solo. De acordo com Bertol et al. (2002a), é esperado que tanto os valores de RPS quanto os do fator C diminuam à medida que a cultura se desenvolva, aumentando a cobertura e melhorando a estrutura do solo.

Analisando o fator C nas fases da cultura, observa-se que os valores variaram de 0,0033 a 0,0660 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, de 0,0003 a 0,0038 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹ e de 0,0004 a 0,0018 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, 0,0000 a 0,0007 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, para as fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente, para o MN. Para MMA, observa-se uma variação de 0,0057 a 0,1188, de 0,0031 a 0,0054, de

0,0018 a 0,0050 e de 0,0000 a 0,0021 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, para as mesmas fases mencionadas. Analisando os valores dos dois manejos o MMA apresentou valores superiores em todas as fases, refletindo o efeito do preparo do solo. Segundo Gilles et al. (2009), os métodos de preparo do solo variam em extensão de superfície do terreno trabalhada, em profundidade de preparo e em grau de fragmentação da massa de solo mobilizada. Volk et al. (2004) ressaltam que práticas diferenciadas de manejo resultam em condições físicas de superfície e subsuperfície do solo distintas, que resultam em níveis variados de erosão hídrica. As condições físicas de subsuperfície influenciam o movimento de água, calor e gases no seu interior.

De Maria & Lombardi Neto (1997) obtiveram para a cultura do milho valores de fator C variando de 0,025 a 0,156 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, respectivamente, para milho contínuo com restos na superfície e milho contínuo restos queimados em diferentes condições edafoclimáticas. Bertol et al. (2001) obtiveram fator C variando de 0,0455 a 0,1437 e de 0,0588 a 0,2158, para a sucessão soja e trigo, respectivamente, dependendo do sistema de manejo do solo. Wischmeier & Smith (1978) pesquisando o efeito de diferentes manejos na cultura do milho, obtiveram valores do fator C de 0,3120, 0,0500, e 0,4150 respectivamente para milho contínuo com restos incorporados, milho contínuo com restos na superfície, milho após soja com restos incorporados. Amaral et al. (2008) estudaram a redução da erosão hídrica nos sistemas de manejo do solo convencional (aração + duas gradagens), reduzido (escarificação + uma gradagem) e sem preparo (semeadura direta), para a sucessão cultural trigo-soja, em um CAMBISSOLO Húmico. Os autores encontraram valores médios de C de 0,23 no sistema de manejo com preparo convencional do solo, 0,06 no sistema de manejo com preparo reduzido e 0,023 no sistema de manejo semeadura direta.

Nos três ciclos de cultivo, o valor médio de RPS foi de 0,0157 e 0,0334 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹ para o MN e MMA, respectivamente. O valor médio do fator C nos três ciclos de cultivo foi de 0,0070 e 0,0132 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹, respectivamente, para o MN e para o MMA. Bertol et al. (2002a) ao estudar a RPS e o fator C para diferentes tipos de manejo em um CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico, em dois ciclos de cultivo de milho encontraram valores médios de RPS de 0,1189; 0,0888 e 0,0611, para o sistema com aração e duas gradagens, escarificação e uma gradagem e semeadura direta, respectivamente. Nesses mesmos sistemas, também para dois ciclos de cultivo os valores médios do fator C foram de 0,1097; 0,0809 e 0,0610 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹. Verifica-se, portanto, que os valores obtidos por Bertol et al. (2002a) foram superiores aos encontrados neste estudo, indicando a influência do manejo e do tipo de do solo na variação do fator C.

Os valores de erosividade também apresentaram grande variação entre os anos em todas as fases de desenvolvimento, concordando com os dados de De Maria & Lombardi Neto (1997), Bertol et al. (2001) e Bertol et al. (2002a).

4.2 Estudo com Chuva Simulada

4.2.1 Caracterização física da área

A Tabela 10 apresenta o resultado da avaliação das características físicas do solo para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm. Observa-se que as variáveis densidade do solo (Ds) e microporosidade apresentaram valores médios próximos entre as parcelas com os distintos tratamentos. Para as variáveis macroporosidade e porosidade total foram observadas maiores diferenças entre as camadas. De acordo com o teste t, essas variáveis apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para a área de MN em relação às demais, em ambas as camadas. A parcela MN também apresentou diferença significativa da parcela SN para a densidade do solo, na camada de 10-20 cm. Os valores médios das características físicas avaliadas não apresentaram diferenças significativas para as áreas de SN e MMA, indicando que o preparo

do solo foi homogêneo na área. O resultado da análise estatística entre as características físicas do solo é apresentado no Anexo A.

Tabela 10: Valores médios das características físicas do solo

Tratamento	Camada (cm)	Ds* (kg dm ⁻³)	Porosidade do solo		
			Macro	Micro (%)	Soma
SN	0-10	1,25	17,01	34,16	51,17
MMA		1,34	10,88	36,52	47,40
MN		1,25	21,52	33,72	55,14
CV (%)		6,93	38,0	7,01	9,64
SN	10-20	1,57	5,14	35,74	40,89
MMA		1,47	6,92	34,49	41,41
MN		1,41	14,64	34,87	49,51
CV (%)		5,0	38,0	4,07	7,48

* Densidade do solo.

4.2.2 Caracterização das precipitações

A Figura 7 apresenta as precipitações naturais e simuladas que ocorrem ao longo do período avaliado. Observa-se que as precipitações naturais ocorreram de forma bem distribuída durante o cultivo do milho, totalizando 147,0 mm, enquanto as chuvas simuladas se concentraram nas 4 épocas, totalizando 244,7 mm.

Durante os testes de campo, a intensidade de precipitação da chuva simulada variou de 60,2 a 62,8 mm h⁻¹, proporcionando valores de erosividade total de 899,3 a 978,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, e erosividade acumulada de 3.728,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. As precipitações naturais proporcionaram erosividade acumulada de 200,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

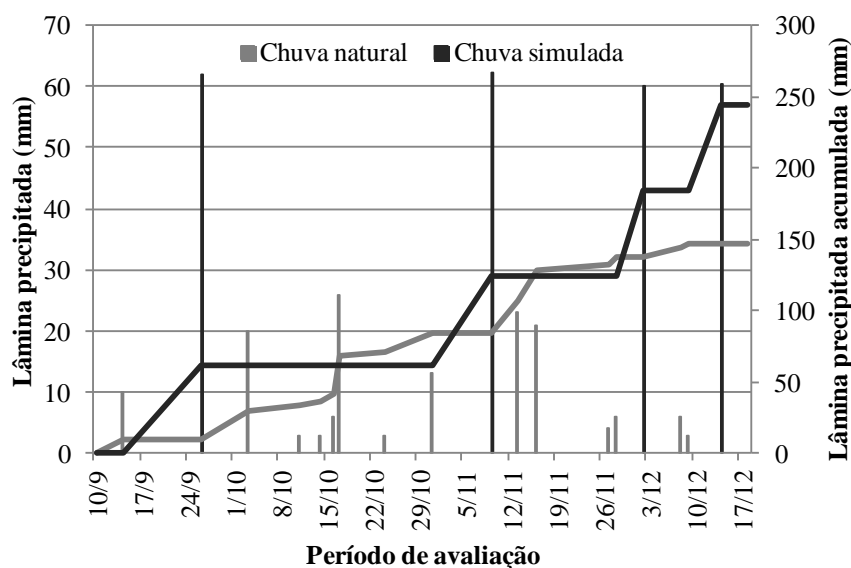


Figura 7: Distribuição das precipitações naturais e simuladas no período de cultivo do milho.

4.2.3 Avaliação das perdas de água e solo

A Figura 8 ilustra o desenvolvimento da cultura do milho entre a segunda (08/11/2011) e quarta (13/12/2011) avaliação, indicando, neste último, a altura limite de utilização do simulador. Nessa época, a cultura já apresentava uma altura praticamente igual à dos bicos do simulador (2,3 m).



Figura 8: Parcelas experimentais com milho durante as fases de testes 2 (a) e 4 (b).

A Figura 9 apresenta a evolução das perdas médias de solo e água para os diferentes tratamentos durante os 60 minutos de chuva simulada. Observa-se que, independente dos tratamentos, as perdas de solo nos testes iniciais (épocas 1 e 2) apresentam maior variação durante a aplicação da chuva. Isso provavelmente ocorreu devido à maior superfície de solo exposta ao efeito erosivo da chuva. Por outro lado, nas épocas 3 e 4, as perdas de solo nas parcelas com cobertura (Figuras 9c e 9e) se comportam de forma estável ao longo do tempo. Na parcela SN (Figura 9a) percebe-se maior variação nas perdas de solo em todos os testes, sendo estas sempre crescentes de um teste para outro. Analisando as Figuras 9b, 9d e 9f, observa-se que, independente da parcela, as lâminas apresentaram um padrão crescente ao longo dos testes, tendendo à uma estabilização no final do teste.

A parcela MN (Figura 9f) apresentou maior discrepância entre os testes nas lâminas escoadas, sendo estas consideravelmente inferiores nos últimos testes, refletindo o efeito do manejo do solo. De maneira geral, esse padrão nas perdas de solo e água na parcela MN pode ser explicado pelo fato de tanto o preparo do solo como o plantio do milho ter sido realizado em nível, proporcionando condições não favoráveis ao aumento da enxurrada e, conseqüentemente, da perda de solo. Outro fator que explica esse padrão é a característica da planta, que a partir de uma determinada fase de desenvolvimento, promove uma cobertura do solo, o que também explica a estabilização nas perdas de solo da parcela MMA (Figura 9c).

Neste caso, não apenas a presença, mas as características morfológicas da cultura do milho, como o tipo de raiz e de folha, o ângulo de disposição das folhas em relação ao colmo, a quantidade e espessura de colmos e o hábito de crescimento, influenciam a erosão hídrica (Amaral et al., 2008; Luciano et al. 2009). Nunes et al. (2011) concluíram que tanto o escoamento superficial quanto a perda de sedimentos diminuem exponencialmente à medida que aumenta a porcentagem de cobertura vegetal. Leite et al. (2004), ao estudarem o efeito da erosão hídrica em um NITOSSOLO HÁPLICO submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada, concluíram que as perdas de solo diminuem exponencialmente com o aumento das coberturas do solo. Silva et al. (2005b) estudaram o efeito da cobertura nas perdas de solo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO utilizando simulador de

chuva, os autores concluíram que houve uma diminuição acentuada nas perdas de solo com o aumento da porcentagem de cobertura do solo.

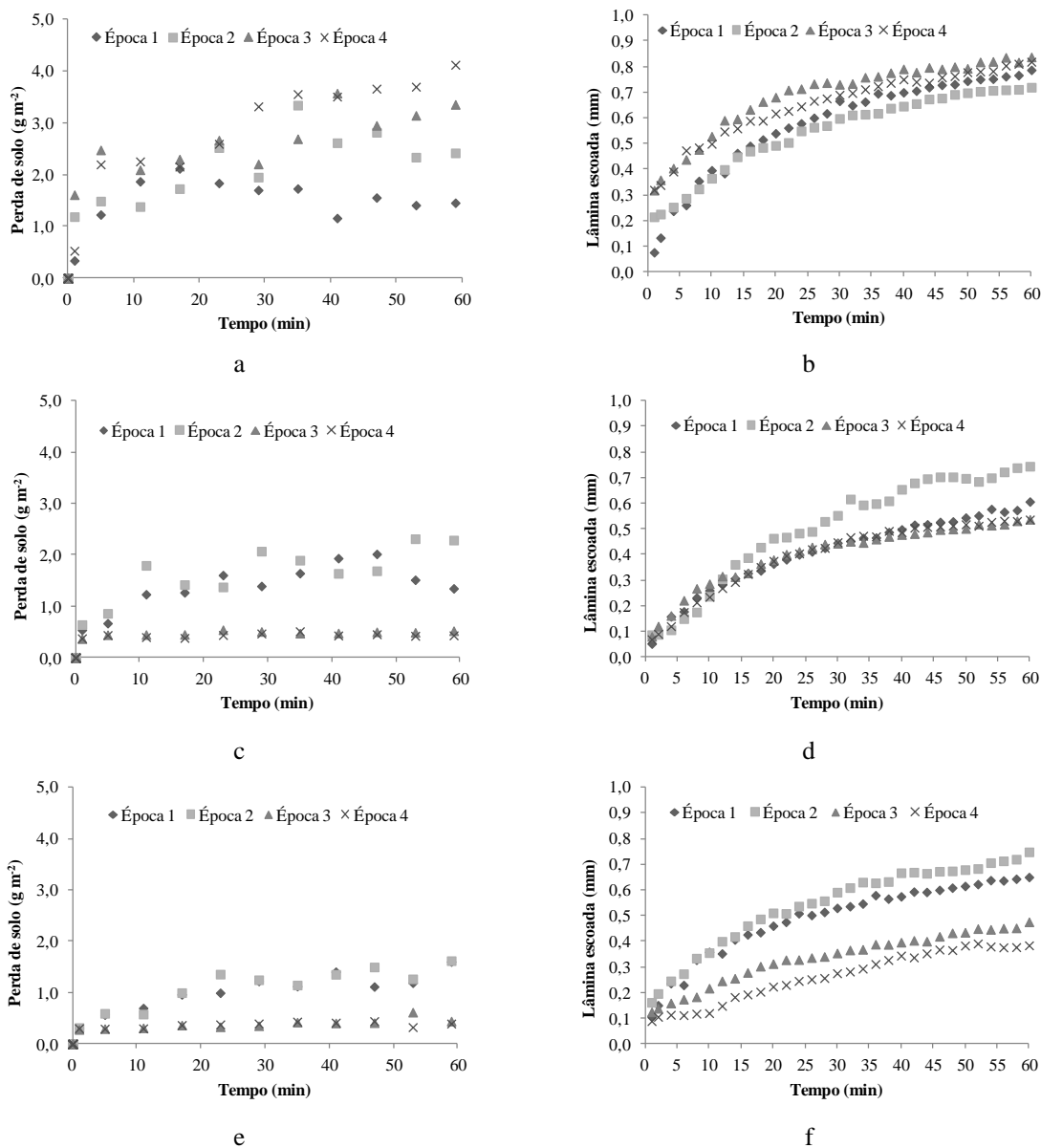


Figura 9: Representação gráfica do padrão das perdas de solo (g m^{-2}) e das lâminas escoadas (mm) ao longo do tempo avaliado de 60 minutos, para as parcelas SN (a, b), MMA (c, d) e MN (e, f).

A Tabela 11 apresenta os dados médios de escoamento ocorrido nas parcelas SN (solo nu), MMA (milho morro abaixo) e MN (milho em nível) durante os testes com o simulador. Para o teste 1, está apresentado o resultado conjunto das parcelas SN e MMA, tendo em vista o mesmo tipo de preparo do solo empregado.

Nas épocas 1 e 2, as lâminas escoadas apresentaram valores médios próximos para os três tratamentos, o que é mostrado pelo baixo coeficiente de variação (CV%). Nas épocas 3 e 4, no entanto, esses valores apresentaram-se com maior diferença, tendo em vista o efeito do desenvolvimento da cultura do milho.

Analisando as colunas, pelo teste t, essas variáveis apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) a partir da terceira época, para a parcela SN em relação às parcelas

com cultivo de milho, indicando o efeito da cobertura na redução do escoamento. No entanto, diferenças mais expressivas ($p < 0,001$) foram observadas quando se comparou o escoamento na parcela MN com o medido na parcela SN. O resultado completo da análise estatística do escoamento superficial nas distintas parcelas está apresentado no Anexo B.

Tabela 11: Valores médios da lâmina escoada (LES), nos tratamentos solo nu (SN), milho morro abaixo (MMA) e milho em nível, ao longo das quatro épocas

Tratamento	LES (mm)				Média Geral
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	
SN	15,1	16,8	21,2	20,1	18,95
MMA		15,5	12,4	12,2	13,15
MN	15,0	16,7	10,4	8,1	12,55
CV(%)	----	18,24	29,67	26,35	19,39

Na Tabela 12 são apresentados os dados médios de perdas de solo ocorridas nas parcelas SN, MMA e MN durante os testes com o simulador. Observa-se que as perdas de solo apresentaram-se de maneira semelhante às perdas de água, porém com maior efeito do cultivo do milho com relação à parcela SN. Na primeira época, todas as parcelas apresentaram valores médios altos de perdas de solo, porém a partir da época 2, com a evolução da cobertura vegetal, esse padrão muda bruscamente e as parcelas MMA e MN passaram a apresentar perdas de solo médias muito inferiores em comparação com a SN. Pode-se verificar, portanto, que a cobertura vegetal atua eficientemente na redução das perdas de solo.

Segundo Silva et al. (2005b), o potencial erosivo das chuvas intensas é reduzido pelo aumento da cobertura do solo.

Tabela 12: Valores médios das perdas de solo, nos tratamentos solo nu (SN), milho morro abaixo (MMA) e milho em nível, ao longo das quatro épocas

Tratamento	Perda de solo (Mg ha^{-1})				Média Geral
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	
SN	0,62	0,90	1,10	1,14	0,95
MMA		0,69	0,20	0,18	0,41
MN	0,43	0,46	0,16	0,15	0,30
CV(%)	18,1	18,24	29,67	26,35	51,34

Analisando as colunas, pelo teste t e comparadas as parcelas com milho à parcela SN, a MN apresentou, a partir da primeira época, perdas significativamente menores ($p < 0,005$) que a MMA ($p < 0,05$) (Anexo C).

O tratamento MN reduziu em 33,86% e em 68,34% as perdas de água (Tabela 16) e solo (Tabela 17), respectivamente, em relação ao tratamento SN, enquanto o MMA reduziu, respectivamente, em 30,7% e em 56,2% as mesmas perdas. Entre os tratamentos com cobertura, o MN contribuiu para uma redução de 27,7% nas perdas de solo em relação ao MMA. Beutler et al. (2003) ao avaliar as perdas de solo e água causadas pela erosão hídrica, no solo sob preparo convencional (sem cultura), cultivo mínimo, rotação de preparos e semeadura direta, concluíram que nos preparos de solo conservacionistas, as perdas de solo foram reduzidas em 80 % em relação aos preparos de solo convencionais.

Constata-se, ainda, nas Tabelas 11 e 12 efeito crescente das perdas na parcela de SN com o tempo, o que pode ser atribuído ao efeito da ausência de cobertura, proporcionando maior impacto das gotas de chuva na superfície, tornando-a mais propensa a erosão.

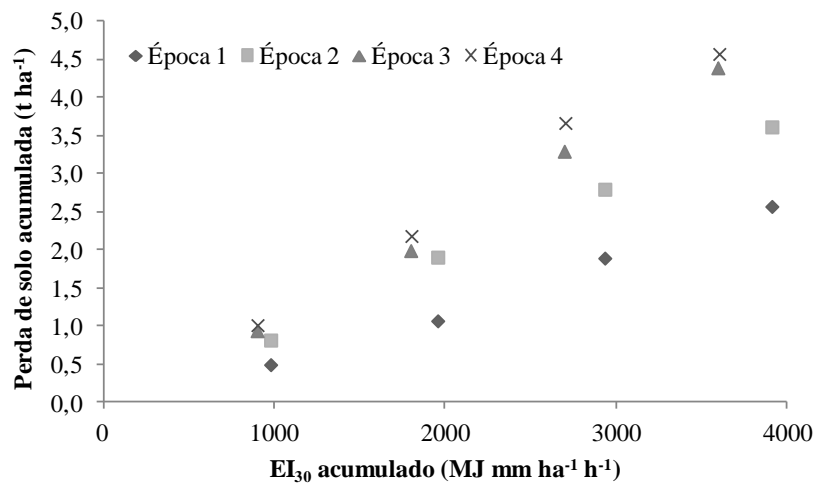
A exemplo dos resultados apresentados por Beutler et al. (2003), Mello et al. (2003), Leite et al. (2004), Carvalho et al. (2009) e Oliveira et al. (2010), foi possível verificar que as perdas de solo foram mais influenciadas pelo manejo do solo que as perdas de água.

4.2.4 Análise das perdas de solo e erosividades acumuladas

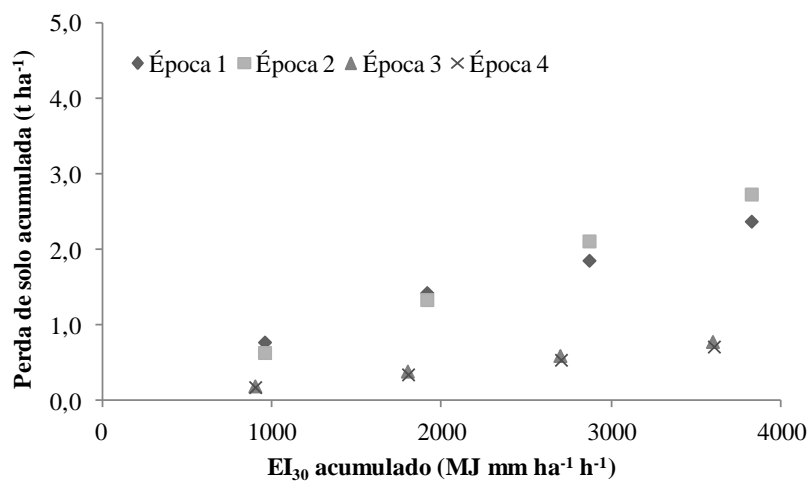
A Figura 10 apresenta o padrão das perdas de solo correlacionadas com as erosividades das chuvas acumuladas durante o período avaliado. Para os dois primeiros testes é possível perceber a estreita relação entre as variáveis analisadas. No entanto, isso não ocorre nos testes finais (Épocas 3 e 4) para as parcelas com cultura (Figuras 10b e 10c), devido ao efeito da cobertura do solo na interceptação das gotas da chuva.

Silva et al. (2005b) estudaram o efeito de diferentes taxas de cobertura do solo, variando de 0 a 100%, nas perdas de solo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO sob chuva simulada. Os autores concluíram que o acúmulo da energia cinética resultante das sucessivas aplicações de chuva simulada, acarretou aumento da perda de solo para todas as porcentagens de cobertura do solo. Esse resultado corrobora com o encontrado neste estudo.

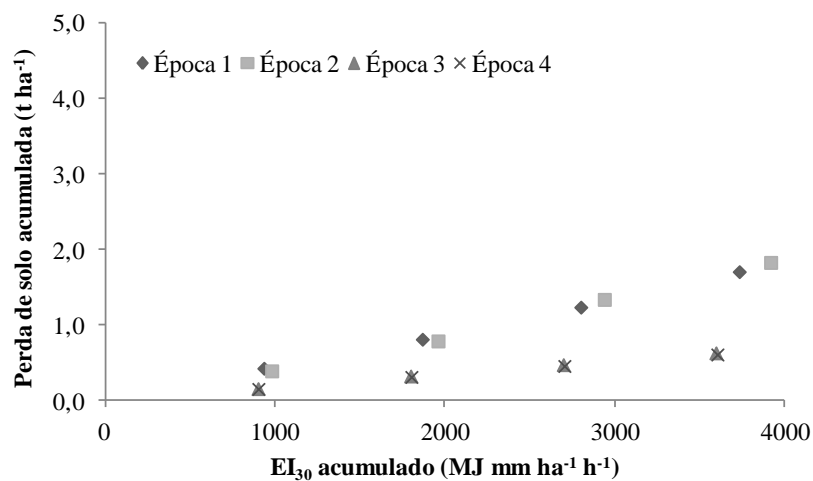
Para a parcela sem cobertura (Figura 10a), as perdas apresentaram padrão crescente em função da erosividade acumulada, mostrando a suscetibilidade do solo ao processo erosivo, quando o mesmo está exposto à ação das chuvas.



a



b



c

Figura 10: Representação gráfica dos padrões das perdas de solo acumulada em função das erosividades acumuladas, nos tratamentos SN (solo nu) (a), MMA (milho morro abaixo) (b) e MN (milho em nível) (c).

4.2.5 Análise da erodibilidade do solo

Os valores de erodibilidade determinados com o uso do simulador de chuva variam de 0,00014 a 0,00027 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (Tabela 13). Como as perdas de solo foram aumentando de uma época para outra (0,64 a 1,14 Mg ha⁻¹), os valores de erodibilidade se apresentaram de forma crescente ao longo das épocas. Isso mostra que em áreas descobertas e, por isso, mais vulneráveis ao processo erosivo a erodibilidade é crescente com o passar do tempo e, dependendo do tempo que o solo permanece exposto, o processo pode se tornar irreversível.

Tabela 13: Energia cinética (EC, em MJ ha⁻¹), intensidade máxima em 30 minutos (I₃₀, mm h⁻¹), produto da EC com o I₃₀ (EI₃₀, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e perda de solo (PS, em Mg ha⁻¹), erodibilidade do solo do teste (Ka) e total do período avaliado (Kt)

Época	EC	I ₃₀	EI ₃₀	PS	K	
					Ka	Kt
					Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹	
1	15,6	62,8	978,3	0,64	0,00014	
2	15,6	62,8	978,3	0,90	0,00020	
3	14,9	60,2	899,3	1,10	0,00026	0,00021
4	15,0	60,3	901,4	1,14	0,00027	

Os valores de K encontrados foram inferiores aos obtidos pela série histórica com chuva natural. Nesse estudo, os períodos avaliados foram superiores e com eventos de diferentes magnitudes. Sob chuva simulada, foi aplicada uma precipitação com intensidade constante e num período de avaliação inferior. Conforme apresentado na Figura 7, os eventos simulados apresentaram altos valores de erosividade, influenciando nos baixos valores de erodibilidade obtidos. Outra explicação refere-se ao tamanho da parcela, 31,6 vezes maior no estudo com chuva natural. Bagarello et al. (2011) estudaram o efeito do tamanho da parcela nas perdas de solo, na concentração de sedimento e no volume de escoamento, variando de 2 a 8 m na largura e de 11 a 22 m no comprimento. Os autores concluíram que a perda de solo foi a variável mais sensível ao tamanho da parcela, e ressaltam que parcelas relativamente curtas e estreitas podem proporcionar, a longo prazo, resultados comparáveis aos obtidos em parcelas mais longas e largas.

Nearing et al. (1999) pesquisaram a variabilidade dos dados de erosão do solo de parcelas de comprimento 22,0 m e largura variando de 2,0 a 8,0 m. Os autores concluíram que a probabilidade do escoamento tornar-se concentrado (maior escoamento superficial e perda de solo) é maior em uma parcela estreita do que em uma larga, em virtude de uma menor quantidade de caminhos para o escoamento do fluxo.

A umidade antecedente do solo também pode interferir nos valores de erodibilidade, pois um solo mais úmido estará mais propenso ao desprendimento das suas partículas, e assim mais suscetíveis ao processo erosivo. Bruce-Okine & Lal (1975), ao estudarem erodibilidade do solo determinada pela resistência ao impacto de gotas de chuva simulada, concluíram que a erodibilidade aumentou significativamente para maiores conteúdos de água no solo.

Singh & Khera (2009) estudando os valores de erodibilidade sob diferentes usos do solo, em quatro localidades do noroeste da Índia, concluíram que a erodibilidade do solo é afetada pela umidade antecedente e que os valores de erodibilidade aumentaram com o aumento da umidade antecedente do solo. Segundo Bryan (2000), o grau de desagregação varia de acordo com as características de agregação, mas também é fortemente influenciada pelas condições de umidade inicial do solo. Apesar da sua variabilidade, o autor resalta que o conteúdo de água no solo determina, em grande parte, a erosão durante as chuvas intensas.

4.2.6 Análise do fator cobertura e manejo do solo

Na Tabela 14 são apresentados os valores de perdas de solo, fração do EI₃₀, razão de perdas de solo e fator C nas diferentes fases do ciclo da cultura de milho, cultivado em nível (MN) e morro abaixo (MMA) durante quatro ciclos de estudo. As fases de desenvolvimento foram assim divididas: antes do plantio; 30 dias após o plantio (DAP); 60 (DAP) e 70 (DAP). Essa divisão foi estabelecida em função do crescimento da planta, a qual após 70 (DAP) apresentaria altura limitante ao uso do simulador.

Observa-se que os valores do fator C variam consideravelmente ao longo dos testes, provavelmente em virtude do desenvolvimento da cultura. Nos testes iniciais, o fator C para o MN foi de 0,1734 e 0,1322, correspondentes às fases 1 e 2, respectivamente; e para o MMA, o fator C foi de 0,2411 e 0,1974, correspondentes às fases 1 e 2, respectivamente. Analisando os testes finais, o fator C apresentou valores reduzidos em ambos tratamentos. Para o MN os valores foram de 0,0348 e 0,0323 correspondentes às fases 3 e 4, respectivamente, e para o MMA, os valores foram de 0,0430 e 0,0379, correspondentes às fases 3 e 4, respectivamente. Analisando os valores encontrados, constata-se o efeito da cobertura sobre a erosão hídrica do solo. O mesmo comportamento foi observado para o estudo com chuva natural.

Tabela 14: Valores de perdas de solo na parcela solo nu (SN), fração do EI₃₀ (FEI₃₀), razão de perdas de solo (RPS) e fator C nas diferentes fases no ciclo da cultura de milho em nível (MN) de milho morro abaixo (MMA), no ciclo de estudo

Período avaliado	Teste	SN (kg ha ⁻¹)	FEI ₃₀ ([°])	MN		MMA	
				RPS	C	RPS	C
				(Mg ha Mg ⁻¹ ha ⁻¹)			
22/09/2011	1	643,00	0,2604	0,6659	0,1734	0,9260	0,2411
	2	903,96	0,2604	0,5076	0,1322	0,7582	0,1974
15/12/2011	3	1.097,76	0,2393	0,1452	0,0348	0,1796	0,0430
	4	1.143,11	0,2399	0,1347	0,0323	0,1578	0,0379
Média		946,96	0,2500	0,3634	0,0932	0,5054	0,1298
Total		3.787,83	1,0000	1,4535	0,3726	2,0216	0,5194

([°]) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹

Os fatores C médios do período avaliado foram de 0,0932 e de 0,1298 para MN e MMA, respectivamente (Tabela 14). Comparando as perdas de solo sob chuva simulada com as observados nas parcelas sob chuva natural e com erosividade semelhante, constatou-se no período chuvoso 2008-2009 (Tabela 9), nos dias 28/12/2008 e 19/01/2009, perdas de 18,963; 0,2451 e 0,0655 Mg ha⁻¹, e de 6,8766; 0,0405 e 0,0268 Mg ha⁻¹, respectivamente para SN, MMA e MN. Nessa época, a cultura do milho se encontrava na fase de desenvolvimento referente ao teste 2 (chuva simulada), no qual foram encontrados valores de 0,90; 0,69 e 0,46 Mg ha⁻¹, respectivamente, para os mesmos tratamentos. Observa-se que apesar dos valores de perda de solo encontrados sob chuva natural serem superiores aos obtidos sob chuva simulada, a variação segue a mesma tendência, podendo assim, considerar o simulador de chuva equipamento representativo das perdas de solo e água sob diferentes manejos do solo.

Em ambos os estudos (chuva natural e simulada) os maiores valores do fator C foram obtidos quando a área estava ocupada com a cultura do milho cultivado no sentido do declive (MMA). Isso ratifica a importância das práticas agrícolas adotadas no combate ao processo erosivo do solo. Segundo Lal et al. (2011), a adoção de técnicas de manejo que mantenham o solo coberto com resíduos, como rotação de culturas, irá melhorar a qualidade do solo contribuindo para minimizar a sua erosão.

5 CONCLUSÕES

A erodibilidade do solo estudado sob chuva natural, para 5 anos de estudo é de $0,0090 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Para a chuva simulada, esse valor é de $0,00021 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Os valores médios do fator C calculados são de 0,0070 e $0,0132 \text{ Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, e de 0,0932 e $0,1298 \text{ Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, para cultivo de milho em nível e morro abaixo, e sob chuva natural e simulada.

Em ambos os estudos, o fator C apresentou maiores valores no início do período avaliado, decrescendo com a evolução da cultura;

Os maiores valores de fator C obtidos no estudo com chuva simulada estão associados ao elevado índice de erosividade resultante das características adotadas no uso do simulador de chuva.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; DE-POLLI, H.; CUNHA, L.H; FREIRE, L.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; PEREIRA, N.N.C.; EIRA, P.A.; BLOISE, R.M.; SALEK, R.C. Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Editora Universidade Rural. 1988. 179p. (Coleção Universidade Rural. Ciências Agrárias, n.2).
- ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A.; REINERT, D.J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.141-151, 2000.
- ALVES, A.; SOUZA, F.J.; MARQUES, M. Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o Método USLE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia. Anais... Goiânia. INPE, p. 2011-2018, 2005.
- ALVES SOBRINHO, T. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. 1997. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- ALVES SOBRINHO, T. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
- ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO, R.M.; MONTEBELLER, C.A. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v.12, n.1, p.28-35, 2001.
- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.337-344, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H.G. & GÓMEZ, J.A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. *Soil Use Management*. v.24, p.163-170, 2008.
- AMARAL, A. J. Fator cobertura e manejo da equação universal de perda de solo para soja e trigo em um Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006. 112p (Dissertação de Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2006.
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um cambissolo húmico da Região do planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: Pruski, F. F. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 279p.

AQUINO, D. N. et al. A aplicação da USLE e SIG na estimativa da perda de solos em uma micro bacia hidrográfica do semi-árido do estado do ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007. Bonito, MG. Anais... Bonito, MS: Acqua Consultoria, 2007.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; GIORDANO, G.; MANNOCCHI, F.; PAMPALONE, V.; TODISCO F.; VERGNI, L. Effect of plot size on measured soil loss for two Italian experimental sites. *Biosystems Engineering*, v.108, p.18-27, 2011.

BAGATINI, T.; COGO, N.P.; GILLES, L.; PORTELA, J.C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H.T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.999-1011, 2011

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, Gerd. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.2443-2460, 2008.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; FABIAN, E. L.; PEGORARO, R.; ZAVASCHI, E.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.3, p.243-250, 2008.

BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico alumínico. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:451-461, 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.545-552, 2002a.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.465-471, 2002b.

BERTOL, I.; Mello, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. *Scientia Agrícola*, v.60, n.3, p.581-586, 2003.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico alumínico determinada em condições de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 541-549, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010. 355 p.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.509-517, 2003.

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

BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W.; EAST, L.J.; MILLER, W.P. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. Soil Science Society of America Journal, v.59, p.654-660, 1995.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. Geomorphology, v.32, p.385-415, 2000.

CABEDA, M. S. V. Computation of storm EI value. West Lafayette: Purdue University, USA, 1976. 6p. (texto pessoal, não publicado).

CAMPOS FILHO, O.R.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, n.9, p.1363-1370, set. 1992.

CARVALHO, C.N. Fluxo geoquímico de sódio, potássio, cálcio e magnésio em função do uso agrícola. Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 306p. Tese (Doutorado em Química).

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E.S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J.G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.1, p.3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; EVANGELISTA, A. W. P.; KHOURY JÚNIOR, J. K.; SILVA, L. D. B. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$ em Seropédica – RJ. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p.244-252, mar./abr, 2010.

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S.; CEDDIA, M.B.; LANA, A.M.Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo - RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.S.; BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p.1239-1251, 2008.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCHI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, p.705-712, 2002.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices as expressed by a mulch factor. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, n.2, p.368-73, 1984.

CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs. Piracicaba, 2003. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

CRUZ, E.S. Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-amarelo. Seropédica-RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006, 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo).

De MARIA, I.C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.263-270, 1997.

DEMIRCI, A.; KARABURUN, A. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environ Earth Science*. *Environmental Earth Sciences*, Online First™, 22 August 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997.212p.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.3, p.485-493, 2001.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T. (Ed.). *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 297-380. (ASAE Monograph, 5).

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.36 p.335-359.1981.

FRAUENFELD, B.; TRUMAN, C.C. Variable rainfall intensity effects on runoff and interrill erosion from two Coastal Plain Utlisols in Georgia. *Soil Science*, v.169, p.143–154, 2004

FREITAS, P.L.; SOUSA, R.L.P.; FONTES, L.E.F.; MADEIRA NETO, J. S. Avaliação de perda de solo e água com chuva natural, em Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, na área experimental do SNLCS, Município de Itaguaí, RJ. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1980. 5p. (EMBRAPA-SNLCS. Pesquisa em Andamento, 1)

GABRIELS, D.; GHEKIERE G.; WOUTER, S.; ROTTIERS, I. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. *Soil & Tillage Research*, v.74, p.47–53, 2003.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, p. 1427-1440, 2009.

GÓMES, J. A.; ALVES SOBRINHO, T.; GIRÁLDEZ, J.V.; FERERES E. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in na olive grove of Southern Spain. *Soil & Tillage Research*, v.102, p.5-13, 2009.

INFORME AGROPECUÁRIO. As experiências de um conservacionista no Brasil. Belo Horizonte, n.128, p.77-79. 1985.

KNAPEN, A.; POESEN, J.; GOVERS, G.; DE BAETS, S. The effect of conservation tillage on runoff erosivity and soil erodibility during concentrated flow. *Hydrological Processes*, v.22, p.1497–1508. 2007.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, v.29, p.437-450, 2003.

LAL, R.; DELGADO, J.A.; GROFFMAN, P.M.; MILLAR, N.; DELL, C.; ROTZ, A. Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.66, n.4, p.276-285, 2011.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1033-1044, 2004.

LUCIANO, R.V.; BERTOL, I. VÁZQUEZ, E.V.; FABIAN, E.L. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, Viçosa, v.33, p.669-676, 2009.

MACHADO, R. L. Atributos físicos de chuvas erosivas no Estado do Rio de Janeiro e erodibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica - RJ. 2011. 144p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011. (no prelo)

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

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

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES, A. C. S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuva pendular. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.1-5, 2001.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3^a ed. New York: Longman Scientific & Technical, 2005. 304p.

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

NEARING, M.A.; GOVERS, G.; NORTON, L.D. Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal*, v.63, p.1829-1835, 1999.

NEARING, M.A.; PRUSKI, F.F.; O'NEAL, M.R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.59, n.1, p.43-50, 2004.

NUNES, A.N.; ALMEIDA, A.C.; COELHO, C.O.A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, v.31, p.687-699, 2011.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, p.955-960, 2009.

OLIVEIRA, J.R.; PINTO, M.F.; SOUZA, W.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.2, p.140-147, 2010.

ÖZHAN S.; BALCI A.N.; ÖZYUVACI N.; HIZAL A.; GOKBULAK F.; SERENGIL Y. Determination of cover and management factor of the Universal Soil-Loss Equation for forest ecosystems in Marmara Region, Turkey. *Forest Ecology and Management*, v.214, p.118-123, 2005.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; Vitorino, A.C. T.; Carvalho, D. F.; Urchei, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.2, p.261-268, 2006

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; URCHEI, M. A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, p.443-451, 2010.

POTTER, T.L.; TRUMAN, C.C.; BOSCH, D.D.; BEDNARZ, C.W. Fluometuron and pendimethalin runoff from strip and conventionally tilled cotton in the southern Atlantic Coastal Plain. *Journal of Environmental Quality*, v.33, p.2122-2131, 2004

PROCHNOW, D.; FALCI DECHEN, S. C.; De MARIA, I. C.; Castro, O. M.; VIEIRA, S. R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, p.91-98, 2005.

PRUSKI, F. F. Processo físico de ocorrência da erosão hídrica. In: PRUSKI, F. F. *Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 279p.

ROMKENS, MJM. Soil Erodibility Factor: A Perspective. *Soil Erosion and Conservation*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, p.445-461. 1985.

SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.144-153, 2005a.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M. de; FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.2287-2298, 1999.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, jun. 2000.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação de métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n.11, p.1751-1761, nov. 1994.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho- Amarelo utilizando simulador de chuva. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005b.

SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N. ; PRUSKI, F. F.; SHAEFER, C. E. G. R. ; AMORIM, R. S. S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico-Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 12-20, 2001.

SILVA, A. M. & SCHULZ, H. E. Estimativa do fator “C” da EUPS para cobertura morta de resíduos vegetais de origem urbana para as condições de São Carlos (SP, BRASIL). Interciência, Caracas, v.26, n.12, p. 615-618, 2001.

SILVA A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI N.; AVANZI JUNIOR, C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.33, p.1811-1820, 2009.

SINGH, M. J.; KHERA, K. L. Nomographic estimation and evaluation of soil erodibility under simulated and natural rainfall conditions. Land Degradation & Development, v.20, p. 471-480, 2009.

SHARMA, A.; TIWARI, K.N.; BHADORIA, P.B.S. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. Environmental Monitoring and Assessment v.173, p.789–801, 2011.

SHEKLABADI M.; KHADEMI, H.; CHARKHABI, A. H. Runoff and sediment yield in soils developed on different parent materials in the Golabad watershed Ardestan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, v.7, n.2, p. 85–101, 2003.

SOARES, P.F.C., ZUCHELLO, F.; CARVALHO, D.F.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Variações quantitativas no estoque de carbono em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo "

Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira", 2007, Gramado. Anais...Gramado: SBCS, 2007. CD-ROM.

SVORAY, T.; BEN-SAID, S. Soil loss, water ponding and sediment deposition variations as a consequence of rainfall intensity and land use: a multi-criteria analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.35, p.202–216, 2009.

TELLES, T. S. ; GUIMARÃES M. F.; DECHEN, S. C.F. The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.287-298, 2011.

TRUMAN, C.C.; SHAW, J.N.; REEVES, D.W. Tillage effects on rainfall partitioning and sediment yield from an Ultisol in Central Alabama. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.60, n.2, p.89-98, 2005.

TRUMAN, C.C.; STRICKLAND, T.C.; POTTER, T.L.; FRANKLIN, D.H.; BOSCH, D.D. Variable rainfall intensity and tillage effects on runoff, sediment, and carbon losses from a loamy sand under simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality*, v.36, n.5, p.1495-1502, 2007.

VAHABI, J.; NIKKAMI, D. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*, v.23, n.4, p.376–386, 2008.

VIEIRA, D.A.N.; DABNEY, S.M.; Modeling edge effects of tillage erosion. *Soil & Tillage Research*, v.111, p.197–207, 2011.

VIEIRA, S. R.; REYNOLDS, W.D.; TOPP, G.C. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERANGA, P.J. and BACHELET, D., eds. *Validation of Flow and Transport Models for the Unsaturated Zone: Conference Proceedings*. Las Cruces, N.M., Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, 1988. p.471-483. (Research Report 88-SS-04) (Conference Of Validation Of Flow And Transport Models For The Unsaturated Zone, Ruidoso, Novo México, 1988).

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

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea a estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.1713-1722, 2008.

ZHANG, K.L.; SHU, A.P.; XU, X.L.; YANG, Q.K.; YU, B. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. *Journal of Arid Environments*, v.72, p.1002–1011, 2008.

WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, v.24, p.322-326, 1960.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.26, n.5, p.189-193, Sept./Oct. 1971.

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

WISCHMEIER, W. H. Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources, USDA-ARS, ARS-40, U. S. Govt. Printing Office, WASHINGTON, DC, p.118-124, 1975.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, 1965. 52p. agricultural handbook, 282.

ZHOU, P.; LUUKKANEN, O.; TOKOLA, T.; NIEMINEN, J. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, v.75, p.319–325, 2008.

7 ANEXOS

Tabela A: Determinação dos valores de probabilidade (p) para as médias das características físicas nas três áreas estudadas, SN, MMA e MN, nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm

Tratamentos	DS		Macro		Micro		Total	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
MN x MMA	0,1261	0,2724	0,0071	0,0143	0,1546	0,7477	0,0005	0,0026
MN x SN	0,9705	0,0147	0,3974	0,0065	0,7788	0,2702	0,4122	0,0147
MMA x SN	0,2085	0,1436	0,2845	0,5154	0,2647	0,2993	0,4379	0,8508

p < 0,05 indica que houve diferença estatística entre as duas áreas, a 5% de probabilidade, pelo Teste t de Student.

Tabela B: Determinação dos valores de probabilidade (p) para as médias de lâminas escoadas nas três áreas estudadas, SN, MMA e MN

Tratamentos	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Média geral
MN x MMA	0,1905	0,5811	0,6018	0,2227	0,8101
MN x SN		0,9497	0,0005	0,0000	0,0014
MMA x SN	----	0,5474	0,0460	0,0369	0,0323

p < 0,05 indica que houve diferença estatística entre as duas áreas, a 5% de probabilidade, pelo Teste t de Student.

Tabela C: Determinação dos valores de probabilidade (p) para as médias de perdas de solo nas três áreas estudadas, SN, MMA e MN

Tratamentos	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Media geral
MN x MMA	0,0848	0,0044	0,0006	0,0057	0,0012
MN x SN		0,0009	0,0011	0,0043	0,0025
MMA x SN	----	0,0235	0,0013	0,0046	0,0046

p < 0,05 indica que houve diferença estatística entre as duas áreas, a 5% de probabilidade, pelo Teste t de Student.