



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**ERODIBILIDADE ENTRESSULCOS EM SOLOS
COM B TEXTURAL E B LATOSSÓLICO DO
MUNICÍPIO DE LAVRAS-MG**

PAULO MARCOS DE PAULA LIMA

1999

CIRCULAÇÃO E EMPRÉSTI

.....

.....

48956

MEN 34275

PAULO MARCOS DE PAULA LIMA

**ERODIBILIDADE ENTRESSULCOS EM SOLOS COM B TEXTURAL
E B LATOSSÓLICO DO MUNICÍPIO DE LAVRAS-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "Doutor".

Orientador

Prof. Hécio Andrade

LAVRAS
MINAS GERAIS
1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Lima, Paulo Marcos de Paula

Erodibilidade entressulcos em solos com B Textural e B Latossólico do
município de Lavras – MG. / Paulo Marcos de Paula Lima. – Lavras : UFLA, 1999.
128 p. : il.

Orientador: Hécio Andrade.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Erosão. 2. Erodibilidade entressulcos. 3. Chuva simulada. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.45

PAULO MARCOS DE PAULA LIMA

**ERODIBILIDADE ENTRESSULCOS EM SOLOS COM B TEXTURAL
E B LATOSSÓLICO DO MUNICÍPIO DE LAVRAS-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "Doutor".

APROVADA em 17 de Dezembro de 1999

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Júnior	DCS - UFLA
Prof. Dr. José Maria de Lima	DCS - UFLA
Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva	DCS - UFLA
Prof. Dr. Nilson Salvador	DEG - UFLA



Prof. Dr. Hélcio Andrade
DCS - UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

PROBILIDADE INTERESSADA EM SEUS COMBUSTÍVEIS
E A INFLUÊNCIA DO MÉRITO DE LAYAS

Uma aproximação à Universidade Federal de
Lavras como parte das atividades de Programa de
pesquisas em desenvolvimento, bem como
concentração em temas e métodos de trabalho para
obtenção de grau de Doutorado.

APROVADA em 17 de Dezembro de 1999

DCS - UFLA

Prof. Dr. Manoel de Souza Dias Júnior

DCS - UFLA

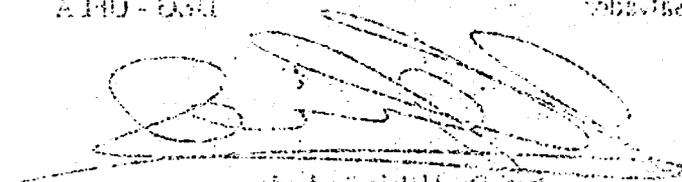
Prof. Dr. José Maria de Lima

DCS - UFLA

Prof. Dr. Maria Tereza Neves Silva

DCS - UFLA

Prof. Dr. Nelson Zamboni



Prof. Dr. Elmano Araújo

DCS - UFLA

(Assinatura)

LAVRAS

MIRAS GÊRIS - BR 481

Há sempre, em toda viagem, um ponto de partida e um ponto de chegada.

O importante é saber caminhar...

(Almir Paula Lima)

**Ao Senhor meu Deus, princípio de
todas as coisas, pelo AMOR de me permitir caminhar**

**Aos meus pais, Almir e Wanda,
por me mostrarem o caminho e me
ensinarem a percorrê-lo.**

**Aos meus irmãos Luiz Augusto e Ângela
pelo compartilhamento das dores e alegrias
da caminhada.**

**À Selma, Flávio e Marcelo, que suavizaram
os trechos mais difíceis ...**

com amor,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras através do Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento através da Delegacia Federal de Agricultura em Minas Gerais (DFA-MG), pelo apoio.

Ao Delegado Federal de Agricultura em Minas Gerais e amigo, Dr. Humberto Ferreira de Carvalho Neto, pela amizade e apoio, minha gratidão.

Aos colegas da Representação Regional do Ministério da Agricultura em Lavras.

Ao Prof. Dr. Hércio Andrade, pela amizade na orientação e confiança.

Aos Profs. Drs. Vicente de Paula Pereira (UNESP) e Vítor Gonçalves Bahia (UFLA) pela contribuição técnica e sugestões.

Ao colega e amigo Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, pela paciência, amizade e inestimável contribuição.

Ao colega e amigo Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva, pela amizade, sugestões e compartilhamento durante o curso.

Aos professores e funcionários do DCS especialmente os Profs. Drs. Nilton Curi, Mozart Martins Ferreira, Waldemar Faquin, José Maria de Lima e Moacir de Souza Dias Jr., pelo apoio e amizade.

Ao Eng^o Agrônomo Antônio Pérsio Berardo, pelo valioso apoio na cessão de equipamentos para a linha de sucção da motobomba.

Aos alunos da graduação e monitores do DCS, Cláudia Milene, Marconi, Vitor, Antônio Marcos, João Paulo, Hudson, Eduardo, Vanessa,

Daniel, Gustavo, Sérgio Gualberto e Jonas, pela inestimável colaboração nas coletas de campo.

Aos pós-graduandos e colegas Andréia Cristiane (DEX) e Marco Aurélio Carolino pela colaboração prestada.

Ao colega e pesquisador da EPAMIG, Dr. Enilson de Barros Silva pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos Setores de Transportes, Oficina, Galpão de Máquinas, Prefeitura do Campus, Departamentos de Engenharia, Zootecnia, Fitotecnia e Educação Física, pelo apoio.

Aos funcionários Adriana (Secretaria pós – graduação do DCS), Oswaldo Francisco Carvalho (DEG), Antônio Alves Mesquita e Eli de Souza Tourino (Galpão de Máquinas), Carlos Alberto Santos e Wander Tadeu Torres (Oficina Mecânica), Jamil Estevão Carvalho (Prefeitura), Mário José Oliveira (DAG) e Vítor César Verissimo (DCS), pela preciosa colaboração.

Aos laboratoristas do DCS, Carlos Antônio Ribeiro, Dulce Claret Monteiro Moraes, João Batista Corrêa e Delanne Ribeiro, meus agradecimentos

À memória do funcionário Jairo Lima Júnior, laboratorista do DCS/UFLA.

Às amigas e colegas da EPAMIG, Dras. Helena Maria Ramos Alves e Marilusa Pinto Coelho Lacerda pelas “frases” de incentivo, amizade e auxílio prestado.

Ao prof. Renato Paiva (DBI) pela revisão do inglês.

A todas as pessoas que, de todas as formas, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Fases da erosão hídrica e erodibilidade do solo	3
2.2 Modelos de predição de perdas de solo	5
2.3 Modelagem do processo de erosão entressulcos do solo	7
2.4 Propriedades superficiais do solo que afetam a erosão.....	11
2.4.1 Declividade e comprimento de rampa.....	11
2.4.2 Selamento e encrostamento superficial do solo	14
2.4.3 Rugosidade	18
2.4.4 Resistência do solo à erosão	20
2.4.5 Intensidade de chuva	21
2.5 Atributos físicos, químicos e mineralógicos que influenciam a erodibilidade entressulcos	22
2.5.1 Atributos físicos	22
2.5.2 Atributos químicos e mineralógicos	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Descrição geral da área	29
3.2 Área experimental	29
3.3 Solos.....	30
3.4 Determinações de campo	30
3.4.1 Simulação de chuvas	30
3.4.2 Parcelas experimentais	33
3.4.3 Umidade do solo	34
3.4.4 Perdas de solo e infiltração	34
3.5 Determinações de laboratório	34
3.5.1 Análises químicas e mineralógicas	36

3.5.2 Análises físicas	36
3.5.3 Erodibilidade entressulcos	37
3.5.4 Análises estatísticas	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Efeitos do tipo de solo (S), declividade (D%) e intensidade de chuva (I) nas taxas de enxurrada (R) e erosão entressulcos (Di)	40
4.1.1 Taxas de erosão entressulcos (Di)	40
4.1.2 Taxas de enxurrada (R)	52
4.2 Efeitos do solo, declive e intensidade de chuva de 60 mm/h nas taxas de erosão entressulcos (Di) e enxurrada (R)	62
4.3 Contraste entre a chuva de 60 mm/h e as outras chuvas aplicadas em todos os declives e solos	66
4.4 Correlações entre as erodibilidades entressulcos (Ki) e os atributos do solo	67
4.5 Determinação das erodibilidades entressulcos (Ki)	79
5 CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS.....	101

RESUMO

LIMA, Paulo Marcos de Paula. **Erodibilidade entressulcos em solos com B textural e B latossólico do município de Lavras-MG. Lavras: UFLA, 1999. 128p. (Tese- Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*.**

O objetivo deste trabalho foi estudar as perdas de solo e água e determinar a erodibilidade entressulcos (K_i) de três solos de textura argilosa: Podzólicos Vermelho Escuro (PE) e Vermelho Amarelo (PV) e um Latossolo Roxo (LR), visando obter subsídios para a aplicação no modelo WEPP- Water Erosion Prediction Project- na região de Lavras-MG, bem como estudar a relação do K_i com alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos e características de superfície. Foi adotado um delineamento experimental do tipo blocos inteiramente casualizados com os três solos, quatro declives (15%, 25%, 35%, 45%), cinco intensidades de chuva simulada (60, 50, 70, 90 e 120 mm h^{-1}), com umedecimento prévio das parcelas e cinco repetições. Foram determinadas as taxas de erosão entressulcos (D_i) e de enxurrada (R) cujos valores foram analisados através de análise de variância considerando-se os modelos das equações de regressão (superfície de resposta) que foram ajustados para cada solo em função dos declives e intensidades de chuvas aplicadas. Foram feitos contrastes no mesmo declive dos solos estudados entre a chuva de intensidade de 60 mm h^{-1} aplicada em uma hora, que foi considerada como tratamento adicional. Os resultados mostraram que o PV foi o solo que apresentou as maiores taxas de erosão entressulcos (D_i) seguido do PE e LR. Para os dois Podzólicos, as taxas de erosão entressulcos (D_i) e de enxurrada (R) foram mais dependentes da intensidade (I) da chuva aplicada do que da declividade do solo (D) ao contrário do Latossolo Roxo, em que o fator declividade (D) foi o que mais influenciou a D_i (a partir de 15% de declive) e o R (para todos os declives). Os atributos do solo que melhor se correlacionaram com a erodibilidade entressulcos (K_i) foram os óxidos de ferro, caulinita, argila dispersa em água, volume total de poros, densidade do solo e de partículas, matéria orgânica e agregados $< 0,105$ mm. As erodibilidades entressulcos determinadas foram : $4,67 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ para o PE; $6,85 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ para o PV e $3,38 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ para o LR.

* Comitê orientador: Hécio Andrade – UFLA (Orientador), Vicente de Paula Pereira – UNESP, Moacir de Souza Dias Júnior – UFLA, Marçílio Vieira Martins Filho – UNESP, Marx Leandro Naves Silva - UFLA e José Maria de Lima – UFLA.

ABSTRACT

LIMA, Paulo Marcos de Paula. **Interrill erosion of argillic and oxic B horizons from Lavras – MG. Lavras: UFLA, 1999. 128p. (Thesis – Doctorate in Soil and Plant Nutrition)*.**

The objectives of the work were to assess soil and water losses and determine interrill erodibility (K_i) of three soils with a clayey texture : Dark Red Podzolic (PE), a Yellow Red Podzolic (PV) and a Dusky Red Latosol (LR) for the application of the WEPP (Water Erosion Prediction Project) model at the region of Lavras, state of Minas Gerais, Brazil and evaluate the relationship between K_i and some soil physical, chemical and mineralogical properties and surface characteristics. A complete randomized block design consisted of the three clayey soils, four slopes (15%, 25%, 35%, 45%), five simulated rainfall intensities (50, 60, 70, 90 and 120 mm h⁻¹) and five replications was carried out under prewetted conditions. The interrill erosion rates (D_i) and runoff rates (R) were measured and the results analysed by variance analysis. Regression equations adjusted for each soil as a function of slopes and rainfall intensities were used. An additional treatment consisted of rainfall intensity of 60 mm h⁻¹ were contrasted with each slope, soil type and the other rainfall intensities. The results showed that the PV had the highest interrill erosion rates (D_i) followed by the PE and LR. For the two podzolic soils, D_i and R were more dependent on the rain intensity than on slope. For the Latosol, D_i (after 15% declivity) and R were more affected by the slope. The soil parameters that showed better correlation with interrill erodibility were iron oxide, caulinite, water dispersible clay, total volume of pores, bulk density, particle density, organic matter and aggregates < 0.105mm. The interrill erodibility rates determined were: $4,67 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ for PE; $6,85 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ for PV and $3,38 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ for LR.

*Guidance committee: Hécio Andrade - UFLA (Major Professor), Vicente de Paula Pereira – UNESP, Moacir de Souza Dias Júnior – UFLA, Marcílio Vieira Martins Filho – UNESP, Marx Leandro Naves Silva – UFLA and José Maria de Lima – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

As perdas de solo por erosão têm sido avaliadas no decorrer dos últimos anos, por questões operacionais e de custos, por meio de modelos cujos parâmetros são empíricos. Dentre esses modelos, o mais conhecido e utilizado é a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978), cujo uso tem sido comum para a determinação de um importante parâmetro de perda de solo que é o fator K, a erodibilidade ou susceptibilidade do solo à erosão. Através desse modelo, pode-se estimar a erosão hídrica global, incluindo a erosão entressulcos e em sulcos, independente do uso do solo e manejo de culturas.

Na EUPS, a erodibilidade é considerada constante, quando o estado da arte atual tem conceituado a erodibilidade como uma propriedade dinâmica, alterável diante das modificações de superfície e dos atributos do solo, o que permite estimar mudanças temporais e espaciais do fator K e aplicações em diferentes condições de solo, clima e manejo, tendo sido relacionada à fonte do processo de erosão (impacto da gota de chuva e escoamento superficial).

Visando uma técnica mais precisa para estimativa da erosão hídrica, surgiu o projeto WEPP - Water Erosion Prediction Project (Elliot et al., 1989), que é um modelo baseado nos processos hidrológicos e capaz de estimar fenômenos como a deposição em pés de encosta, o aporte de sedimentos a rios e reservatórios e a relação de enriquecimento do sedimento, parâmetros não considerados nos modelos empíricos existentes.

No modelo WEPP, os dados necessários são obtidos facilmente no Brasil através de levantamentos pedológicos existentes e de amostras de solo processadas em laboratórios, requerendo-se apenas a calibração no campo de parâmetros, tais como a erodibilidade entressulcos e em sulcos do solo em questão.

Esses parâmetros são influenciados por diversas propriedades superficiais e atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, os quais determinam a sua magnitude e cujo conhecimento revela a existência de uma diferenciação de seus valores entre as classes morfológicas dos solos, permitindo entender melhor o desenvolvimento de modelos de predição de perdas por erosão.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi determinar as perdas de solo e água e a erodibilidade entressulcos de três solos da região de Lavras-MG - Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho Escuro e um Latossolo Roxo - estudando as relações com suas propriedades de superfície e atributos físicos, químicos e mineralógicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fases da erosão hídrica e erodibilidade do solo

A erosão hídrica do solo foi definida por Ellison (1946) como sendo um processo de desagregação, transporte e deposição das partículas pelos agentes erosivos hídricos (gotas de chuva e escoamento superficial) cuja ocorrência determina, segundo Meyer e Wischmeier (1969), o surgimento de quatro sub-processos, simultâneos ou não: a desagregação e transporte das partículas do solo pelo impacto das gotas da chuva (salpico), a desagregação e o transporte do solo pelo escoamento superficial da água.

Trabalhos como os de Wischmeier (1973), Mutchler e Young (1975), Meyer (1981) e Radcliffe et al. (1991) relatam a intensa força hidrodinâmica que pode ser gerada no ponto de impacto da gota, fazendo com que esta fase da erosão hídrica seja a maior produtora de sedimentos em comparação ao escoamento superficial para comprimentos de rampa curtos, conforme relataram Ekern (1950), Ellison (1947) e Foster, Meyer e Onstad (1977).

O escoamento superficial da água se inicia quando a intensidade de chuva supera a capacidade de infiltração do solo e atinge seu potencial de retenção e acúmulo superficial de água. Inicialmente esse escoamento se dá na forma de fluxo laminar raso, momento em que predomina a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e o transporte por esse fluxo, o que caracteriza a erosão entressulcos. À medida que o fluxo se concentra, ambos, transporte e desagregação, ocorrem por sua ação, o que caracteriza a erosão em sulcos (Ellison, 1947; Mutchler e Young, 1975; Meyer, Foster e Nikolov, 1975; Foster, 1982 e Zhang et al., 1998).

Tais fenômenos erosivos são governados pelas propriedades de superfície do solo (declive, selamento superficial, encrostamento, rugosidade, comprimento de rampa) e pelos atributos físicos, químicos e mineralógicos a

eles inerentes (textura, estrutura, estabilidade dos agregados, densidade do solo e de partículas, volume total de poros, porcentagem de macro e microporos, teor de argila dispersa, agregação do solo, umidade antecedente, resistência à penetração, diâmetros médios geométrico e ponderado, teor de matéria orgânica, porcentagem de óxidos de Fe e Al, ligações eletroquímicas, umidade inicial, óxidos de ferro e alumínio, teor de caulinita e gibsitita, pH, teores e qualidade de nutrientes disponíveis, grau de intemperismo), conforme ressaltam trabalhos de Bubenzer e Jones (1971); Römkens, Roth e Nelson (1977); Watson e Laflen (1986); Pereira (1989); Silva (1994); Martins Filho (1994); Goff, Bent e Hart (1994); Reichert e Norton (1996); Fattah e Upadhyaya (1996).

A erodibilidade do solo e a erosividade da chuva são, segundo Goff, Bent e Hart (1994), os dois principais fatores a influenciar a erosão entressulcos, notadamente o primeiro que, juntamente com as propriedades de superfície e atributos do solo, irão influenciar o processo.

Bajracharya, Elliot e Lal (1992) definiram a erodibilidade entressulcos do solo como a susceptibilidade que ele apresenta à desagregação e transporte pelas gotas de chuva e por um fino fluxo superficial de água. Por ser uma propriedade do solo cuja magnitude está ligada diretamente à taxa de perda por erosão entressulcos, é também influenciada por aqueles atributos a ele inerentes (Watson e Laflen, 1986; Liebenow et al., 1990; Bajracharya, Elliot e Lal, 1992; Albuquerque e Cassol, 1997).

Logo, as condições de superfície em que ocorrem e as características hidráulicas dos fluxos superficiais presentes nas áreas de erosão entressulcos são muito distintas, o que faz com que o estudo em separado deste processo facilite o entendimento dos mecanismos da erosão hídrica, propicie o desenvolvimento de modelos fundamentais que descrevam as perdas de solo auxiliando no estudo de práticas de controle de erosão (Braidá, 1994) e disponibilize informações

valiosas no estabelecimento de critérios para a adaptação destes modelos no âmbito da gênese do solo.

2.2 Modelos de predição de perdas de solo

A estimativa da perda de solo por erosão tem sido estimada, ao longo dos últimos anos, por meio de modelos empíricos, dentre os quais a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978) tem sido a mais utilizada. Esse modelo tem sido bastante usado para a determinação da erodibilidade do solo ou fator K, definido como sendo a susceptibilidade do solo à erosão. A erodibilidade, obtida para uso neste modelo, é o valor da erodibilidade global do solo, isto é, abrange os efeitos da erodibilidade nos sulcos e na área entre os sulcos. Devido a isto, a EUPS é satisfatória para estimar valores médios anuais de perdas de solo, porém, não é válida para a determinação de perdas para uma chuva qualquer isolada (Foster, Meyer e Onstad, 1977).

Em trabalhos mais recentes sobre modelos de predição de perdas de solo, a erodibilidade do solo tem sido conceituada como uma propriedade dinâmica que ocorre em dois processos distintos de erosão: em sulcos e entressulcos (Ghidey e Alberts, 1994; Grosh e Jarret, 1994; Braidá, 1994 e Martins Filho, 1999). Dentre os modelos que utilizam esse conceito, está o WEPP- Water Erosion Prediction Project (Nearing et al., 1989), que pode ser considerado o estado da arte atual na modelagem do processo de erosão do solo. A vantagem do uso desse modelo em relação à EUPS está na possibilidade de estimar a distribuição espacial e temporal da erodibilidade e aplicações em diferentes tipos de solo, clima e culturas. O modelo WEPP não apenas calcula a perda de solo nas áreas a montante como também é capaz de quantificar impactos a jusante como o aporte e a relação de enriquecimento do sedimento.

Assim, o modelo pode estimar fenômenos como deposição em pés de encosta, a deposição de sedimentos nos rios e reservatórios e a relação de enriquecimento destes sedimentos que anteriormente não eram considerados na EUPS e suas modificações.

A erodibilidade do solo, portanto, é o mais importante parâmetro na determinação das perdas totais por erosão hídrica, o tem sido ratificado por análises de sensibilidade dos componentes dos modelos existentes (Renard et al., 1991). O fator K depende das relações entre uma gama de propriedades superficiais e atributos físicos, químicos e mineralógicos que são intrínsecos à gênese de cada solo e influenciados pelo manejo. Esse fator também tem sido buscado através de determinações diretas no campo usando-se chuvas naturais ou simuladas e indiretas em laboratórios, buscando-se, nos dois casos, a proposição de modelos que permitam estimativas de perdas de solo próximas da realidade.

A necessidade da obtenção de informações sobre essa capacidade de perda de solo tem gerado dados e informações para alimentar os modelos existentes, a fim de se obter resultados rápidos e confiáveis para uso imediato nas soluções de problemas conservacionistas e ambientais.

Poucos são os trabalhos existentes no Brasil para a determinação das erodibilidades em sulcos e entressulcos, destacando-se os de Angulo Filho, Elliot e Dechen (1990); Braida (1994); Martins Filho (1994) e Martins Filho (1999). Nos solos da região de Lavras-MG nenhum trabalho foi realizado visando determinar valores para tais parâmetros.

Logo, informações acerca de valores da erodibilidade entressulcos do solo são importantes pois permitem seu uso nos diversos modelos propostos na literatura, principalmente o WEPP- Water Erosion Prediction Project, que pode ser considerado a ponta da modelagem de erosão do solo.

2.3 Modelagem do processo de erosão entressulcos do solo

A modelagem do processo de erosão entressulcos tem seu início no trabalho de Foster, Meyer e Onstad (1977), os quais, a partir da equação da continuidade (para o transporte de sedimentos), produziram uma série de derivadas considerando o fluxo hidráulico num estado de equilíbrio dinâmico:

$$dG/dx = D_r + D_i \quad [1]$$

sendo, dG a taxa de sedimento por unidade de largura e tempo ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$); dx a distância considerada ao longo do canal (m); D_r a taxa de erosão, ou taxa de deposição pelo fluxo no canal ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e D_i o influxo de sedimentos das áreas adjacentes aos sulcos ou áreas entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A partir de 1950, o surgimento dos simuladores de chuva propiciou um avanço significativo no entendimento do processo erosivo do solo, permitindo ensaios com chuvas simuladas no campo e em condições mais controladas de laboratório, levando cientistas como Moldenhauer e Long (1964), Meyer (1981), Alberts et al. (1989) e Liebenow et al. (1990) a sugerirem que a desagregação entressulcos do solo é proporcional à intensidade de chuva elevada a um expoente, a erodibilidade entressulcos e a um fator relacionado ao declive do solo, concordando com relatos mais antigos de Neal (1938) e Ellison (1947) :

$$D_i = K_i I^p \quad (\text{Ellison, 1947; Meyer, 1981 e Alberts et al., 1989}) \quad [2]$$

$$D_i = K_i I^p S^q \quad (\text{Neal, 1938}) \quad [3]$$

$$D_i = K_i I^p S_f \quad (\text{Watson e Laflen, 1986 e Liebenow, 1990}) \quad [4]$$

sendo, D_i a taxa de erosão entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); K_i a erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4}); I é intensidade de chuva (m s^{-1}); p e q expoentes e S_f o fator declividade.

O expoente da intensidade de chuva foi proposto ser próximo de 2,0 para solos com teor de argila $\geq 13\%$ (Meyer, 1981), valor posteriormente confirmado por Meyer e Harmon (1984) e Watson e Laflen (1986), independentemente do teor de argila do solo.

Com relação ao efeito da declividade na erosão entressulcos, várias relações foram propostas ao longo dos anos (Martins Filho, 1999), culminando com o trabalho de Liebenow et al. (1990), que propuseram avaliar estes efeitos através da equação :

$$S_f = 1,05 - 0,85 \exp^{-4 \text{sen} \theta} \quad [5]$$

sendo, S_f o fator declividade e θ o ângulo de declive da parcela.

A equação [5] tem sido adotada no cômputo do efeito do declive nas perdas entressulcos, não obstante as críticas sofridas por considerar os efeitos do impacto das gotas de chuva e de um fino fluxo superficial, principal mecanismo de transporte de sedimentos nas áreas entressulcos, de acordo com Elliot et al. (1991) citados por Kinnell e Cummings (1993).

Braida (1994) e Martins Filho (1994) assumiram a validade da equação [5] para o Brasil. Recentemente, entretanto, Martins Filho (1999) propôs que a seguinte equação representaria melhor o efeito da declividade:

$$S_f = 1,061 - 1,037 e^{-4 \text{sen} \theta} \quad [6]$$

onde, S_f o fator declividade e θ o ângulo de declive.

Os efeitos da enxurrada e infiltração no transporte de sedimentos entressulcos foram computados por Ghidry e Alberts (1994) e Flanagan e Nearing citados por Bradford e Foster (1996), como sendo :

$$D_i = R I K_i S_f \quad [7]$$

sendo, D_i a taxa de erosão entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); R a taxa de enxurrada (m s^{-1}); I a intensidade de chuva (m s^{-1}); K_i a erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4}) e S_f o fator declividade.

A equação [7] tem sido largamente usada para a avaliação da erodibilidade entressulcos, em condições de chuva natural ou simulada, no campo ou em laboratório, através do isolamento do valor de K_i .

A obtenção de K_i demanda uma metodologia trabalhosa e de alto custo, além de, muitas vezes, demorada e complexa. Uma vez que este parâmetro é relacionado e influenciado pelas propriedades de superfície e atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, tentativas de relacioná-lo a fatores da equação [7] têm sido feitas com o intuito de buscar métodos indiretos que possam ser usados no campo ou laboratório, a partir do conhecimento daqueles atributos e propriedades.

Assim sendo, Elliot et al. (1989) propuseram, dentro do projeto WEPP, equações para predição indireta do K_i de solos conforme seu teor de argila:

para solos com teor de argila $\leq 35\%$:

$$K_i (10^{-6}) = -2,92 - 2,71 (\text{Arg}_{da}/\text{Arg}) - 0,51 \text{ Mg} + 0,1 \text{ Arg}_{da} + 4,19 [\text{Arg}/(\text{Fe} + \text{Al})]^{0,16} + 1,24 \text{ CE} \quad [8]$$

para solos com teor de argila $> 35\%$:

$$K_i = \{2,67 - 0,115 \ln\{[(0,18 - Agr)100]^2\}\} \quad [9]$$

sendo, K_i a erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4}); Arg_{da} a fração de argila dispersa em água (valor expresso de 0-1); Arg o teor de argila (valor expresso de 0-1); Fe o teor de ferro (valor expresso de 0-1); Mg o teor de magnésio (cmol kg^{-1}); Al o teor de alumínio (valor expresso de 0-1); CE a condutividade elétrica (mmhos cm^{-1}) e Agr a fração de agregados de 1 a 2 mm obtida após peneiramento a seco.

As equações [8] e [9], entretanto, foram formuladas há mais de duas décadas, não havendo experimentos que avaliem a validade de seus conceitos (Huang, 1998). Martins Filho (1999) fez esta avaliação para os Latossolos no Brasil e concluiu que o modelo que melhor expressa o K_i dos solos da região estudada (Jaboticabal-SP) pode ser escrito :

$$K_i \times 10^{-6} = -186,206 - 273,984 (ADA/Arg) + 0,637 ADA - 38,436 [(Arg/(Fe+Al))] + 0,725 - 0,040 DMP - 0,960 U + 177,907 IK_i \quad [1]$$

sendo, K_i a erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4}); ADA a fração de argila dispersa em água (kg g^{-1}); Arg o teor total de argila (g kg^{-1}); Fe e Al o teor de Fe_2O_3 e Al_2O_3 (g kg^{-1}); MO o teor de matéria orgânica (g kg^{-1}); DMP o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (mm); U a umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e IK_i a relação molecular SiO_2/Al_2O_3 .

O autor concluiu que são necessários mais trabalhos para calibrar e validar o modelo proposto e que por este motivo ele não deve ser extrapolado para outros Latossolos, evitando-se erros que poderão comprometer a interpretação dos resultados.

2.4 Propriedades superficiais do solo que afetam a erosão

2.4.1 Declividade e comprimento de rampa

Uma das variáveis a influenciar a erosão entressulcos é a declividade do terreno sendo fortes as evidências do seu efeito (Grosh e Jarret, 1994; Liebenow et al., 1990) que tem estreita relação com o ângulo de impacto das gotas da chuva, transporte por salpico e, ainda, com a velocidade e capacidade de transporte de sedimentos por um fino fluxo superficial (Lattanzi, Meyer e Baumgardner, 1974). Em superfícies pouco inclinadas, a erosão entressulcos é limitada pela capacidade de transporte de sedimentos deste fluxo.

O equilíbrio dinâmico das perdas de solo na enxurrada aumentou linearmente com a declividade, segundo Grosh e Jarret (1994), variando cerca de 6 vezes mais em declives de 5% a 85% para solos barro-argilo-siltosos. Os mesmos autores registraram ainda um leve aumento do salpicamento, da desagregação total pelo salpico e do deflúvio no sentido declive abaixo. Verificaram ainda que, a partir de 15% até 85% de declividade, não houve diferenças nas taxas de estabilização de enxurrada, indicando que as taxas de deflúvio não foram afetadas pelo declive. As perdas combinadas de salpico e deflúvio foram lineares à declividade. Sugeriram os autores que para os solos com declividade acima de 30%, o modelo WEPP tende a subestimar as perdas de solo sugerindo ainda que algumas propriedades do solo deveriam ser levadas em consideração no fator declividade.

Resultados concluindo um aumento das taxas de erosão entressulcos proporcional ao aumento da declividade do solo foram também encontrados por Quansah (1981); Van Liew e Saxton (1983); Hahn, Moldenhauer, Roth (1985) e Poesen (1985). Lattanzi, Meyer e Baumgardner (1974) encontraram que o aumento da declividade na faixa de 2% a 20% para um solo barro-siltoso atingiu valores de perda de solo maiores que o dobro.

A evidente influência da declividade na erosão do solo fez com que Liebenow et al. (1990), usando chuva simulada, propusessem um fator de declividade baseado na inclinação da parcela para ser considerado nas determinações das taxas de erosão entressulcos. Os dados obtidos por estes autores mostram ainda que o fator de declive proposto pode ser função das propriedades do solo, a exemplo do que demonstraram também Singer e Blackward (1982).

Esses autores apresentaram resultados sobre o efeito da declividade em função da relação entre o ângulo de inclinação e erosão entressulcos para declives superiores a 50%, mostrando que as propriedades do solo e os efeitos do declive não são independentes. Segundo os autores, as taxas de perdas de solo aumentam rapidamente com o aumento da declividade de 35 para 40%, tornando-se, a partir daí, praticamente constantes. Tais resultados foram atribuídos às condições experimentais de curtos comprimentos de rampa, entretanto, em elevados ângulos de inclinação do solo, ocorre menor efeito direto do impacto das gotas d'água da chuva na superfície. Inferiu-se, então, que em declives elevados o fluxo d'água, ao invés do impacto, pode dominar o processo de erosão e, neste caso, um solo com textura muito fina pode apresentar maior resistência à erosão devido à sua maior resistência ao cisalhamento.

Uma maior correlação direta da declividade com a erosão em sulcos, entretanto, foi encontrada por Watson e Laflen (1986), e o seu aumento acarreta um aumento na velocidade do fluxo superficial e na sua capacidade de transporte ficando, neste caso, a erosão entressulcos limitada pela taxa de desagregação (Foster e Meyer, 1975 citados por Braida, 1994).

Resultados semelhantes foram encontrados por Meyer e Harmon (1992), trabalhando em laboratório, que relataram pouca influência da declividade na erosão entressulcos em comparação com a intensidade e energia da chuva,

ressaltando a importância da simulação com características de chuva natural na condução de experimento de erosão.

A capacidade de transporte do fluxo raso na erosão entressulcos aumentou significativamente pela ação do impacto da gota, sendo dependente da intensidade de chuva e da declividade, segundo relato em laboratório de Guy, Dickinson e Rudra (1987).

Estudos avaliando a influência do declive (3% a 9%), entre outros parâmetros, nas perdas de solo por erosão entressulcos, concluíram que elas foram maiores a 9% de declividade do que a 3% (Lang et al., 1984), evidenciando o efeito deste fator.

Evidências semelhantes também foram encontradas por Bradford e Foster (1996), que determinaram em laboratório o efeito do declive nas perdas de solo entressulcos para solos secos e pré-umedecidos, com texturas variando de argilosa a barro-siltosa e encontraram uma correlação significativa ($r = 0,96$) do aumento da declividade com a produção de sedimentos. Estudo de oito solos e dez variações de declividade (5 a 58%) conduzido por Bryan (1979) encontrou uma função polinomial para a maioria dos casos, com uma forte relação entre erosão entressulcos e declive do solo.

O comprimento de rampa é um atributo importante, juntamente com a declividade, nas considerações sobre a erosão entressulcos (Hussein e Lafien, 1982). Meyer e Harmon (1989) estudando os efeitos dos comprimentos de rampa e da declividade na erosão de quatro solos cultivados com variações nas intensidades de chuvas, relatam uma maior influência do comprimento de rampa em superfícies onde ocorreu sulcamento. Já as declividades maiores afetaram significativamente a erosão para todos os casos. Os autores concluíram que tanto o declive quanto o comprimento de rampa afetaram a erosão da superfície cultivada, principalmente para solos mais erodíveis e a uma mais alta intensidade de chuva.

Trabalho de Pereira (1989) com Latossolo Vermelho Escuro argiloso mostrou que rampas com até um metro de comprimento apresentavam apenas erosão entressulcos e rampas mais compridas apresentavam erosão em sulcos, evidenciando o efeito deste parâmetro nas perdas de solo.

2.4.2 Selamento e encrostamento superficial

O selamento superficial forma-se, segundo Ellison (1947), pela ação mecânica do impacto da gotas de chuva e pela deposição superficial de partículas desagregadas, obedecendo a três estágios, segundo Chen et al. (1980): I - do início da chuva até o início do escoamento superficial; II - do início do escoamento superficial até uma taxa constante de escoamento e III - após a taxa de escoamento tornar-se constante.

A formação do selamento superficial do solo, segundo Chen et al. (1980) e Radcliffe et al. (1991), envolve dois mecanismos principais complementares entre si : i) a desagregação física dos agregados do solo pelo impacto da gota de chuva e posterior “empacotamento” ou acomodamento das partículas nos poros e ii) dispersão química da argila e posterior iluviação com conseqüente bloqueio dos poros.

O fenômeno de selamento no solo irá influenciar a erodibilidade entressulcos, sendo um processo dinâmico e que deve ser sempre observado em função do tempo (Mualem, Assouline e Rhodenburg, 1990). A ocorrência do selamento superficial, definido por Römken (1979) como uma fase inicial da formação de uma crosta no solo, é determinada por fatores externos como planta, cobertura vegetal, intensidade e duração de chuva (Hoogmoed e Stroosnijder, 1984) topografia, (Bradford e Huang, 1992), umidade antecedente e tempo de secagem do solo (Rose, 1962 e Mualem, Assouline e Rhodenburg, 1990).

Na literatura, a formação do selamento tem sido muito mais relatada sob o prisma dos processos físicos e genéticos do que sob o ponto de vista químico (Valentin, 1985 e 1991), entretanto esses mecanismos são complementares entre si (Miller e Scifres, 1988; Shainberg et al., 1989; Zhang e Miller, 1996), sendo que tanto o controle quanto o efeito final na erosão entressulcos dependerão da interação entre eles (Zhang et al., 1998).

Os dois principais atributos que influenciam o selamento do solo são a textura e a agregação segundo relato de Ferry e Olsen (1975) e Ben-Hur e Shainberg et al. (1989), sendo que em solos de estrutura granulada ou com pouca agregação, a sua textura pode ser o fator dominante. Heil, Juo e McInnes (1997) citando Monier e Stengel (1982), relatam que solos de textura média e com alto teores de silte e solos arenosos com baixo teores de silte foram os que apresentaram maior tendência ao selamento.

Outros atributos do solo também afetam a formação do selamento superficial, diretamente ou indiretamente, pelos seus efeitos na agregação: a quantidade e qualidade de matéria orgânica, os cimentos inorgânicos (óxidos Fe e Al), mineralogia, salinidade, tipo de argila, condições de floculação/dispersão (Agassi, Shainberg e Morin, 1981; Bartoli, Philippy e Burtin, 1988; Shadfan, Dixon e Clahoun, 1985). Ferry e Olsen (1975) encontraram correlação direta entre a estabilidade dos agregados e matéria orgânica para Alfissolos. Para as regiões áridas e semi-áridas que possuem solos com encrostamento superficial, Uehara e Jones (1974), citados por Heil, Juo e McInnes (1997), sugeriram que a sílica amorfa é o agente cimentante mais atuante.

A taxa de erosão entressulcos foi definida por Bradford, Ferris e Remley (1987) como um processo dependente do tempo e influenciado por mudanças nas propriedades superficiais do solo como selamento e encrostamento. O selamento foi definido como a degradação estrutural causada numa fina camada superficial durante a ocorrência de um evento de chuva ou irrigação e o

encrostamento como um aumento da resistência da superfície selada na subsequente fase de secagem (Römken, Prasad e Parlange, 1990).

O selamento e encrostamento superficial do solo reduzem as taxas de infiltração, aumentam a resistência do solo e podem aumentar a erosão através do aumento do deflúvio (Ellison, 1947; Moldenhauer e Long, 1964). Entre os mais importantes fatores determinantes da erosão estão as propriedades físicas e químicas que determinam a erodibilidade e selamento do solo. Park, Mitchell e Bubenzer (1983) ressaltam a importância de considerar as propriedades da superfície do solo (declive, selamento, encrostamento, rugosidade) juntamente com as propriedades da chuva, afetando a erosão hídrica.

Ao investigarem a influência do selamento superficial do solo nas perdas por erosão entressulcos em três tipos de solo, Levy, Levin e Shainberg (1994) encontraram um aumento na taxa de perda de solo linear com o aumento do teor de argila, para chuva utilizando água destilada, tendo o selamento diminuído com o aumento deste teor, sendo inversamente proporcional à erosão do solo.

A infiltração em três solos irrigados com diferentes texturas não foi significativamente influenciada durante a formação do selamento superficial e sim quando este já estava presente no solo no início da irrigação, de acordo com relato de Eisenhauer, Heerman e Klute (1992).

O selamento superficial e deflúvio foram estudados por Bissonais e Singer (1993) para dezessete solos da Califórnia com variações no teor de argila, sódio trocável e carbono orgânico. Segundo os autores, não ocorreu erosão nem deflúvio para tratamentos com teor de carbono orgânico entre 31 e 70 g kg⁻¹ e Fe_d + Al de 2,4 a 10,7%. Entretanto, para tratamento com teor de argila < 200 g kg⁻¹, carbono orgânico igual a 30 g kg⁻¹ e Fe_d + Al igual a 2%, a ocorrência do selamento foi imediata, bem como a redução da taxa de infiltração, causando um aumento do deflúvio e perda de solo. Os autores sugerem ainda que a formação do selamento do solo aumenta o deflúvio e a erosão ao longo do tempo dos

estágios preliminares de seu desenvolvimento, a exemplo do que também observaram Bradford, Ferris e Remley (1987) e Chaves (1987).

Valores máximos da taxa de perda de solo foram atingidos, segundo Moore e Singer (1990), durante o segundo estágio da formação do selamento superficial do solo, estabilizando e decrescendo no terceiro estágio devido, principalmente, à redução na taxa de salpico de partículas do solo. Tal redução ocorre devido ao aumento da profundidade do fluxo superficial e ao decréscimo na erodibilidade da camada superficial provocada pela compactação e remoção seletiva das partículas desagregadas. Segundo Miller (1987), durante o evento de chuva, as taxas de erosão diminuem com o tempo devido ao adensamento e à perda de sedimentos prontamente transportáveis.

Heil, Juo e McInnes (1997), comparando amostras de Alfissolo com e sem selamento, levando em consideração os atributos que influenciam o selamento superficial, encontraram que, para amostras seladas, o teor de argila foi cinco vezes maior e que o selamento ocorreu a partir de teores maiores de 5% de argila. O teor de areia foi significativamente menor, assim como o pH (1,3 vezes) e o carbono orgânico. Os agregados estáveis em água aumentaram devido ao maior teor de argila e os teores de Fe e Al associados à argila foram encontrados como fator de controle na formação do selamento superficial. Os mesmos autores observaram ainda que, na chuva com 90 mm h^{-1} , houve a formação do selamento durante os primeiros 30 minutos, na maioria dos casos, sem mudar a espessura do selo.

O encrostamento do solo ocorre quando sua superfície se torna endurecida ou impermeável após o ciclo de secagem/umedecimento, após a formação do selamento, podendo ser induzido pelo impacto da gota de chuva (crostas estruturais) ou pela translocação das partículas finas (crostas deposicionais) e sua subsequente deposição fora do seu local de origem (Fattah e Upadhyaya, 1996).

Em regiões áridas e semi-áridas ocorre a formação de crostas na superfície dos solos cujo agente cimentante principal das partículas é a sílica amorfa. Estas crostas influenciam significativamente nas respostas hidrológicas e de estabilidade do solo à chuva (Uehara e Jones, 1974, citados por Heil, Juo e McInnes, 1997).

Essa influência dependerá da textura e tipo de manejo do solo. Williams, Dobrowolsky e West (1995) estudaram-na em solo barro-arenoso e três tratamentos: natural (controle), com remoção química (hipoclorito de cálcio) e com remoção mecânica da crosta (escarificação). Os resultados mostraram que as crostas removidas quimicamente reduziram o empocamento e o tempo de deflúvio, aparentemente devido às diferenças texturais e estruturais na interface solo/ar. A erosão entressulcos foi maior nesse tratamento e mais baixa no tratamento no natural. Entretanto, aos 45-90 minutos, a erosão entressulcos foi significativamente maior no tratamento escarificado do que no natural. Os autores não detectaram influência significativa dessas crostas na capacidade de infiltração o que foi atribuído às diferenças texturais e estruturais do solo. Para eles, as crostas foram responsáveis pela estabilização das partículas finas do solo na superfície.

2.4.3 Rugosidade

A rugosidade do solo é uma outra propriedade de superfície que influencia na erosão entressulcos por afetar a velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, a infiltração da água no solo. A modificação das condições físicas superficiais e das propriedades hidráulicas do solo, causada pelo seu preparo em função da redução da cobertura superficial e aumento da sua porosidade, contribui para o aumento da rugosidade e rompimento da estrutura do solo, interferindo nos processos hidrológicos, densidade do solo e condutividade hidráulica, os quais afetaram a erosão (Burwell, Allmaras e

Sloneker, 1966; Freebairn et al., 1989; Alberts e Wendt, 1985; Allmaras, Burwell e Holt, 1967). Em função do relevo superficial e diferenças de magnitude, Römken e Wang (1986) propuseram a ocorrência de vários tipos de rugosidades: a) variações no microrelevo (devido ao arranjo dos grãos individuais); b) rugosidade aleatória; c) rugosidade orientada (causada por implementos) e d) rugosidade de alta ordem (referente ao macrorrelevo e denominada topografia).

A rugosidade aleatória é proveniente da microvariação do relevo da superfície do solo (Voorhees, Young e Lyles, 1979) e seu papel como fator de influência na componente hidrológica do processo erosivo, densidade do solo e condutividade hidráulica foi apontado por Alberts et al. (1989). Está frequentemente associada ao preparo do solo (Freebairn et al., 1989) e é responsável por fenômenos superficiais como empoçamento d'água e resistência ao fluxo superficial, favorecendo a infiltração (Johnson e Moldenhauer, 1979), aumentando a condutividade (Freebairn et al., 1989) e, conseqüentemente diminuindo a erosão.

Ao testarem a hipótese de a rugosidade influir nas perdas de solo pela modificação das distribuição do fluxo concentrado e do deflúvio, Helming, Römken e Prasad (1998) encontraram perdas até oito vezes maiores de solo nas superfícies com tratamento rugoso em relação às superfícies lisas.

A relação rugosidade e efeito da chuva foi descrita por Zoobeck e Onstad (1987) como uma função exponencial segundo a expressão:

$$R = a e^{-bP} \quad [11]$$

sendo, R = rugosidade superficial (mm); P = quantidade de chuva (cm), e = base dos logaritmos naturais, a e b são constantes; ou seja, a rugosidade decresce exponencialmente com a chuva acumulada (Freebairn et al., 1989), levando a inferir que, com o tempo de um evento de chuva, a superfície do solo

tende a ficar menos rugosa o que irá favorecer a erosão, conforme observação de Johnson e Moldenhauer (1979).

2.4.4 Resistência do solo à erosão

Alguns autores têm considerado a resistência do solo como um índice de erodibilidade (Watson e Laflen, 1986; Cruse e Larson, 1977). Quanto mais resistente a superfície do solo, menor a erodibilidade entressulcos, devido à diminuição do ângulo de projeção das partículas destacadas pela gota de chuva (Al-Durrah e Bradford, 1981; Cruse e Larson, 1977; Watson e Laflen, 1986). No Brasil, Martins Filho (1994) observou um decréscimo na erodibilidade entressulcos devido a um aumento na densidade e resistência do solo.

Al-Durrah e Bradford (1981) encontraram uma relação inversa entre o salpicamento pelo impacto da gota de chuva e a resistência do solo ao cisalhamento, sendo esta atribuída ao efeito do potencial da água (sucção) que causa um estresse efetivo que agrega o solo e aumenta a sua resistência ao destacamento (Kemper e Rosaneau, 1984). Tal coesão aumenta com o estresse efetivo, que foi considerado por Formanek, McCool e Papendick (1984), igual ao potencial mátrico da água, levando Al-Durrah e Bradford (1981) à conclusão de uma relação geralmente inversa entre a resistência do solo e sua umidade. Posteriormente, esses últimos autores relacionaram ainda a resistência do solo ao ângulo de salpico (Al-Durrah e Bradford, 1982).

A resistência do solo será influenciada também pela formação ou não do selamento superficial, cuja ocorrência está relacionada a fatores temporais e intensidade da chuva (Heil, Juo e McInnes, 1997).

2.4.5 Intensidade de chuva

A ação do impacto das gotas de chuva sobre o solo tem grande importância na desagregação e desestruturação da camada superficial. A erosão entressulcos é, segundo Meyer (1979) citado por Meyer (1981), a principal fonte de sedimentos para muitas condições agrícolas e as características das chuvas são os fatores climáticos dominantes, afetando as taxas de perdas de solo. O entendimento desta relação é útil para a avaliação do progresso da erosão entressulcos nos modelos existentes (Meyer, 1981).

A erosão entressulcos combina processos de destacamento do solo pelo impacto da gota de chuva, transporte pelo salpico e transporte por um fino fluxo superficial. No momento do impacto ocorre dissipação de energia cinética das gotas, produzindo forças de compressão e cisalhamento que destacam as partículas do solo, deixando-as disponíveis para o transporte pelo fluxo superficial fino, que, inicialmente, tem pouca capacidade de transporte, mas cresce com o aumento da turbulência causada pelo impacto da gota (Zhang et al., 1998).

Tais processos mecânicos causam ainda um selamento deposicional na superfície do solo (Chen et al., 1980; Gal et al., 1984; Arshad e Mermut, 1988) que são complementados por processos químicos que causam um selamento superficial, que também influencia diretamente nas taxas de infiltração, deflúvio e erosão do solo (Duley, 1939; Levy, Shainberg e Morin, 1986; Bradford, Ferris e Remley, 1987; Bissonais, Bruand e Jamagne, 1989; Roth e Helming, 1992; Bissonais e Singer, 1993).

A intensidade da chuva tem sido associada muito mais aos efeitos erosivos do deflúvio do que do salpico (Moldenhauer e Long, 1964; Farmer e Van Haveren, 1971; Harmon e Meyer, 1978). Ellison (1947), Wischmeier e Smith (1978) e Meyer (1981) relatam que a erosividade da chuva, que é uma medida da sua capacidade de desagregação e transporte pela enxurrada, é o

principal desencadeador do processo de erosão do solo, sendo que seu impacto no solo poderá, segundo Zhang et al. (1998), provocar uma série de modificações superficiais que irão influenciar na sua infiltração, rugosidade, selamento e encrostamento, refletindo, conseqüentemente, na sua susceptibilidade final à erosão (K_i).

2.5 Atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo que afetam a erodibilidade entressulcos

2.5.1 Atributos físicos

O mérito principal do modelo WEPP está no entendimento dos processos erosivos e na determinação direta da erodibilidade. Porém, o alto custo financeiro e o seu caráter trabalhoso têm estimulado trabalhos que a relacionem aos diversos atributos do solo com o intuito de permitir, futuramente, a determinação da erodibilidade entressulcos utilizando-se métodos indiretos. Esta correlação, no entanto, deve situar-se em um grau de confiabilidade que ofereça segurança na extrapolação dos resultados, ou seja, deverá ser fruto de várias determinações em campo e laboratórios.

Para diversos autores, os atributos do solo que influenciam a erodibilidade entressulcos são a textura, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados, teor de óxidos de Fe e Al, ligações eletroquímicas, umidade do solo e mineralogia (Wischemier e Mannering, 1969; Bubenzer e Jones, 1971; Meyer e Harmon, 1984; Römkens, Roth e Nelson, 1977; Levy, Levin e Shainberg, 1994; Bajracharya, Elliot e Lal, 1992; Veiga, Cabeda e Reichert, 1993; Martins Filho, 1999; Ghidhey e Alberts, 1994; Heil, Juo e McInnes, 1997).

A perda de solo entressulcos é influenciada pela infiltração de água que está intimamente relacionada com o seu volume total de poros, cuja redução, segundo Young e Voorhees (1982), diminui a capacidade de armazenamento da água, infiltração e a condutividade hidráulica, afetando as perdas de solo por

deflúvio. Um decréscimo nestas taxas de infiltração é, conforme Moldenhauer e Long (1964), a principal causa do aumento do deflúvio e erosão do solo.

Uma relação inversa entre este índice e o volume total de poros (VTP), macroporosidade (MaP), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) foi encontrada por Martins Filho (1999) trabalhando na determinação da erodibilidade entressulcos com Latossolos da região de Jaboticabal, estado de São Paulo.

A textura também influencia nas perdas entressulcos segundo constataram Line e Meyer (1989) avaliando taxas de perdas de solo entressulcos e em sulcos para três solos com teores relativamente alto de areia, silte e argila. Esta influência tem se manifestado de várias maneiras na erodibilidade dos solos, conforme relatos existentes na literatura. Meyer e Harmon (1984) e Levy, Levin e Shainberg (1994) encontraram correlações negativas para a erodibilidade entressulcos e os teores de argila do solo. Já Bajracharya, Elliot e Lal (1992) encontraram uma correlação positiva para este parâmetro. Wischmeier e Mannering (1969), Römken, Roth e Nelson (1977), Angulo (1983), Meyer e Harmon (1984) encontraram uma correlação direta entre o silte e a erodibilidade entressulcos. Veiga, Cabeda e Reichert (1993) e Martins Filho (1999) relatam uma relação inversa entre o teor de silte e argila e a erodibilidade entressulcos. Os primeiros atribuíram aos efeitos da matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio a maior agregação e estabilidade do solo, o que leva a uma menor perda por erosão.

Sugere-se que a argila dispersa em água, quando associada ao teor de argila do solo (ADA/Argila), seja o melhor índice para expressar a estabilidade dos agregados dos Latossolos estudados por Martins Filho (1999). Este autor, a exemplo de Veiga, Cabeda e Reichert (1993), encontrou para esse parâmetro (ADA) uma relação negativa com a erodibilidade entressulcos. Para a relação

ADA/Argila houve uma correlação positiva e significativa (Martins Filho, 1999).

As correlações entre a erodibilidade e a fração areia foram estudadas por El-Swaify e Dangler (1977), Römken, Roth e Nelson (1977), Obi (1982), Angulo (1983). Correlações significativas e positivas para estes parâmetros foram encontradas por Veiga, Cabeda e Reichert (1993) e Martins Filho (1999). Uma correlação direta entre a erodibilidade e o teor de silte e areia muito fina e inversa com areia de diâmetro maior que 0,1 mm e argila foi observada por Wischmeier, Johnson e Cross (1971).

A agregação do solo, estabilidade dos agregados, teor de matéria orgânica e distribuição do tamanho de partículas foram relacionados por Young e Onstad (1978) à quantidade de solo erodido de áreas entressulcos, sendo que quanto mais agregado e estáveis em água, menor a susceptibilidade à erosão entressulcos. O mesmo encontraram Meyer e Harmon (1984) em solos agrícolas dos EUA quando relataram uma melhor correlação (negativa) da erosão entressulcos com o teor de argila dos solos (< 2 mm), cálcio trocável, CTC, potencial de retenção d'água no solo, soma de bases e matéria orgânica. Esses autores constataram ainda que teores elevados de silte e baixa agregação foram atributos que favoreceram a erosão entressulcos, enquanto altos teores de argila levaram os solos a um comportamento inverso. Alguns autores, baseados nesta estreita correlação erosão/estabilidade de agregados, propuseram a utilização deste parâmetro como índice de erodibilidade (Young, 1984; Bathke e Blake, 1984; Alberts e Wendt, 1985). Por outro lado, Bajracharya, Elliot e Lal (1992) encontraram correlações negativas entre a erodibilidade entressulcos e parâmetros como carbono orgânico, agregados estáveis em água, e positivas com a dispersão do solo.

A erodibilidade também está associada à umidade antecedente do solo, sendo que uma relação direta entre estes parâmetros é comumente reportada na

maioria dos trabalhos existentes (Martins Filho, 1994). Ghidey e Alberts (1994), estudando o efeito inicial da umidade do solo na erodibilidade entressulcos em solo barro-siltoso, encontraram que o teor inicial de água não afetou a perda de solo durante nas primeiras chuvas simuladas, porém; teve um significativo efeito quando a umidade inicial foi de 4 a 15%, diminuindo a perda do solo, evidenciando assim uma relação linear negativa entre a erodibilidade entressulcos e o teor de umidade inicial nesta faixa de umidade. Lang et al. (1984) também não encontraram efeito da umidade anterior na erosão entressulcos. Já Martins Filho (1999) relatou uma correlação inversa ($r = - 0,74$) entre a erodibilidade entressulcos e a umidade antecedente.

A resistência à penetração do solo (RP) tem sido utilizada como um índice de erodibilidade por alguns autores (Formanek, McCool e Papendick, 1984; Kemper e Rosenau, 1984)) e tem sido inversamente relacionado à erodibilidade entressulcos (Al-Durrah e Bradford, 1982; Bradford, Ferris e Remley, 1987; Watson e Laflen, 1986 e Martins Filho, 1994), sendo que a umidade do solo está intimamente relacionada aos seus valores finais de forma inversa (Al-Durrah e Bradford, 1982; Pereira, 1989; Dias Júnior, 1994).

Solos com baixa resistência mecânica estão sujeitos a um maior ângulo de salpico e ao maior efeito cisalhante do fluxo de água radial, em função da formação de cavidades na superfície do solo, o que resulta em um estresse compressivo pela ação da gota de chuva e ao surgimento de um fluxo lateral de água cuja capacidade erosiva é maior do que ao salpico da gota (Al-Durrah e Bradford, 1982; Huang, Bradford e Cushman, 1982).

Na região de Lavras-MG, Martins (1999) encontrou valores de resistência à penetração (RP) para o Latossolo Roxo sob floresta que variaram de 1,3 a 4,3 MPa, sendo que os maiores valores foram registrados em profundidades de 15-40 cm.

2.5.2 Atributos químicos e mineralógicos

A estabilidade estrutural do solo, que determinará sua resistência ao efeito desagregador das gotas de chuva, dependerá também de seus atributos químicos e mineralógicos. O teor de matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e silício (Si), o pH em água e em KCl, o Δ pH, a CTC e mineralogia das argilas foram relacionados à erodibilidade do solo por Silva (1994).

A demonstração da participação efetiva dos óxidos de Fe e Al na agregação do solo foi reportada por diversos autores como Middleton (1930), McIntyre (1956), Mehra e Jackson (1960), Harris, Chester e Allen (1966), Roth, Nelson e Römken (1974), Roloff e Denardin (1994) e Pinheiro-Dick e Schwertmann (1996). Trabalho de Muggler (1998) comprovou que o modo de formação e a mineralogia dos compostos de ferro determinaram seu efeito na agregação dos solos tropicais. Silva et al. (1998) reportam que os óxidos de Al presentes na gibsite (Gb) da fração argila dos Latossolos favorecem sua maior agregação pela manutenção de uma estrutura microgranular, resultando em altos valores de permeabilidade do solo (Resende, Curi e Lani, 1999), influenciando nas perdas por erosão e, conseqüentemente, nos valores de sua erodibilidade (Silva, 1994). Mais recentemente, Ferreira, Fernandes e Curi (1999) concluíram que a influência do Al sobre as propriedades físicas associadas à estrutura dos Latossolos foi mais pronunciada que a do Fe, tendo a caulinita e a gibsite sido os constituintes mineralógicos que maior influência exerceram sobre aquelas propriedades na região sudeste do Brasil. Os mesmos autores demonstraram ainda que a caulinita conferiu a estes solos uma maior densidade, menor estabilidade dos agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade, tendo esta última aumentado com o teor de argila.

O aumento da dispersão das partículas do solo está associado à sorção de ânions, como os fosfatos, principalmente em Latossolos, devido à grande

quantidade de óxidos e hidróxidos que apresentam, promovendo mudanças no balanço final de cargas e afetando a erosão pela diminuição na estabilidade dos agregados (Lima, 1995).

A influência dos óxidos na erosão também foi relatada por Burroughs, Luce e Philips (1992), trabalhando com perdas em 21 tipos diferentes de solo, os quais encontraram uma produção de sedimentos que foi função primária da textura do solo com menos de 50% de Si + Al, em que a perda de solo foi mais em função do tipo de argila (caulinita ou smectita). Os autores explicaram as diferenças baseados na força de agregação sob a chuva, rejeitando a hipótese de que aumentando o teor silte + argila aumenta-se o grau de agregação do solo como um todo.

Em trabalho conduzido no Brasil, Denardin (1990) constatou que as variáveis químicas que se correlacionaram significativamente com a erodibilidade determinada no campo foram poucas. Para Roloff e Denardin (1994), o teor de óxidos de alumínio extraídos pelo ataque sulfúrico melhorou a capacidade preditiva no modelo desenvolvido para classes de solos brasileiros.

Trabalhando em laboratório, Veiga, Cabeda e Reichert (1993) verificaram que a erodibilidade entressulcos era menor para solos mais argilosos com elevados teores de Fe e Al, maior estabilidade dos agregados, menor grau de dispersão em água da fração silte + argila, maior retenção de água a baixos potenciais matriciais e quando submetidos à chuva simulada. Reichert e Cabeda (1992) verificaram também, no Rio Grande do Sul, que a taxa de erosão entressulcos foi menor com o maior teor de óxidos de Fe e Al (cristalinos e amorfos).

Os óxidos de ferro e alumínio, segundo Resende (1995) e Veiga, Cabeda e Reichert (1993), promovem uma cimentação das partículas primárias do solo originando agregados estáveis ou não. Esses autores, assim como Martins Filho (1999), encontraram correlações negativas significativas da erosão com o SiO_2 ,

Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 . A forma do Fe, se cristalina ou amorfa, irá diferenciar também as perdas, tendo Heil, Juo e McInnes (1997) relatado uma melhor correlação do ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d) com a resistência do solo.

Outros parâmetros mineralógicos como índices Ki ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) e Kr ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), Fe-oxalato, Fe extraído pelo ataque sulfúrico, teores de caulinita e gibsita têm sido associados às perdas de solo (Römken, Roth e Nelson, 1977; Heil, Juo e McInnes, 1997; Shadfan, Dixon e Clahoun, 1985; Martins Filho, 1999; Meyer e Harmon, 1984; Bissonais e Singer, 1993).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área

O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Lavras-UFLA, localizada na cidade de Lavras, estado de Minas Gerais, na região do Campo das Vertentes, nas coordenadas 21° 5' de latitude sul e 45° de longitude oeste. O clima da região é, segundo classificação de Köppen, do tipo Cwb (temperado suave-mesotérmico), com precipitação anual de 1.472 mm, sendo menos de 17 mm no mês mais seco. A temperatura média é de 21,6 °C no mês mais quente e 15,8 °C no mês mais frio, com média anual de 19,3 °C. As chuvas são mal distribuídas durante o ano, apresentando um excesso nos meses de novembro a fevereiro e deficiência em junho, julho e agosto, de acordo com Vilela e Ramalho (1979) e Castro Neto e Silveira (1981). A vegetação original é representada por campos cerrados e cerradões (mata rala) e sua distribuição está intimamente ligada às condições físicas, fertilidade e água disponível do solo (Cole, 1960). A exploração agrícola regional é caracterizada pela cultura do café, pecuária leiteira e lavouras anuais de verão e o relevo na área de ocorrência dos solos estudados é ondulado.

3.2 Área experimental

O ensaio foi conduzido em três áreas experimentais no campus da UFLA, situadas próximas às represas conhecidas como: "da Zootecnia" (21° 13' 52,5" S e 44° 58' 06,3" W), "Nova" (21° 14' 00" S e 44° 58' 42,5" W) e "Velha" (21° 14' 03,3" S e 44° 58' 31,3" W), com declividades de 20,47; 11,81 e 16,5%, respectivamente.

Para determinação da taxa de erosão e erodibilidades, tais áreas foram mantidas sem vegetação, como descrito por Laflen, Thomas e Welch (1987), nas quais se executaram, regularmente, tratos culturais como capinas, arações e

gradagens, para eliminar plantas daninhas e propiciar processo de decomposição acelerado dos resíduos vegetais (Braidá, 1994). Os trabalhos de aração e gradagem (uma aração e duas gradagens leves) foram realizados no sentido do declive (Figura 1a), visando evitar efeitos de práticas de controle da erosão no processo erosivo a ser desencadeado por chuvas simuladas.

Os testes no campo para a erosão entressulcos foram feitos, respectivamente, nos períodos de setembro a novembro de 1998, de fevereiro e março de 1999.

3.3 Solos

Os solos das três áreas expressam as duas mais importantes classes de solos agrícolas do Brasil em ocorrência, que são os Latossolos e Podzólicos (Resende, Curi e Santana, 1988). Assim sendo, as erodibilidades entressulcos foram determinadas para Podzólico Vermelho-Amarelo (Represa Nova), Podzólico Vermelho Escuro (Represa Velha) e Latossolo Roxo (Represa da Zootecnia) do Campus da UFLA. A caracterização das unidades de solo foram feitas através de análises morfológicas em trincheiras abertas no campo (Anexos A, B e C) e de análises físicas, químicas e mineralógicas nas amostras compostas coletadas nas profundidades de 0-20 e 20 a 40 cm da superfície, nas bordaduras das parcelas de cada solo para não interferir no processo de erosão entressulcos.

3.4 Determinações de campo

3.4.1 Simulação de chuvas

Uma seqüência de chuvas simuladas com intensidades de aproximadamente 50, 60, 70, 90 e 120 mm h⁻¹ foi aplicada nessas parcelas, conforme Martins Filho (1999), utilizando-se um simulador de chuvas rotativo (Figura 1c) tipo Swanson, fabricado pela ASBRASIL segundo o modelo da

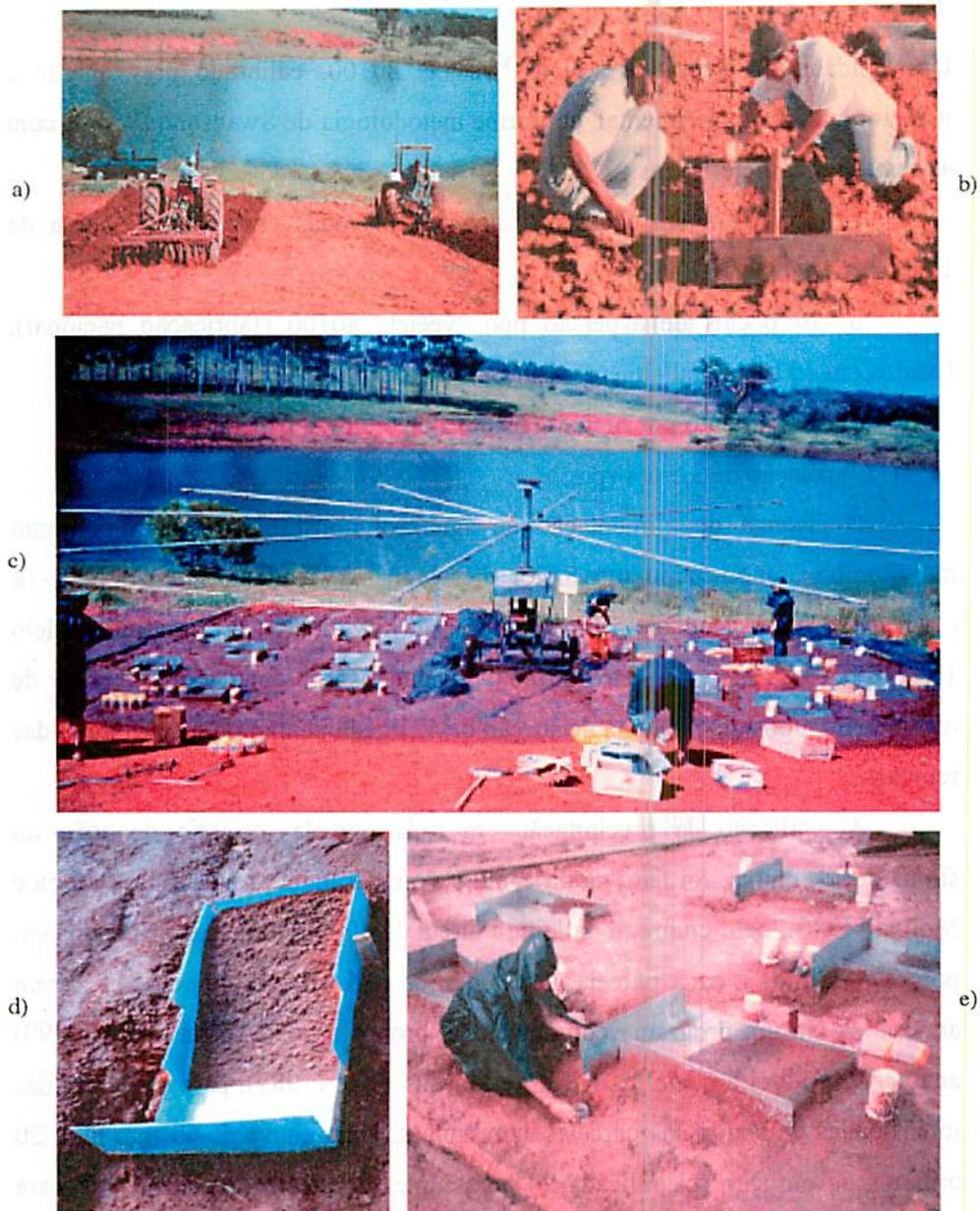


FIGURA 1. a) vista do preparo da área experimental; b) preparo da parcela; c) vista do simulador de chuvas durante a coleta; d) detalhe da parcela pronta; e) detalhe da amostragem dos sedimentos

Universidade de Nebraska, bicos "veejet" 80100, calibrado previamente e nivelado na área experimental, conforme metodologia de Swanson (1965) e com as seguintes características :

a) montagem em chassis de aço com 4 rodas pneumáticas, bitola de 1,80m;

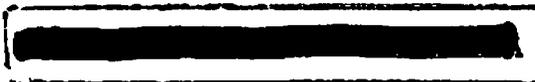
b) 30 bocais de aspersão tipo "veejet" 80100 (fabricação nacional), fixados em 10 tubos radialmente distribuídos;

c) acionamento por motor a gasolina de 6,0 cv refrigerado a ar;

d) rotação de 3,5 a 4 rpm.

O sistema de alimentação de água foi constituído de um conjunto motobomba composto de um motor diesel, marca Yanmar, modelo NSB-18 (13cv-1800 rpm), acoplado a uma bomba centrífuga marca Worthington, modelo 1½ DBE 133, rotor diâmetro 11,80", montado sobre uma carreta, linha de recalque de tubos de 4" e linha de sucção de 4" ligada abaixo do nível d'água das represas.

A avaliação da precipitação em cada parcela, no raio de ação do simulador de chuva, foi feita modificando-se metodologia proposta por Pereira e Molina (1986), pelo emprego da leitura direta de 40 pluviômetros instalados em pontos próximos a cada parcela, sendo que os registros pluviométricos foram analisados em um programa computacional proposto por Martins Filho (1999) adaptado de Pereira e Molina (1986) e Martins Filho (1987), para o cálculo das intensidades de chuva nas parcelas entressulcos. Uma chuva de 60 mm h⁻¹ e 20 minutos de duração foi aplicada 24 horas antes dos testes experimentais para uniformizar a umidade dos solos próxima das suas capacidades de campo. Para evitar danos ao solo durante a chuva foram utilizadas telas plásticas para dissipar a energia das gotas nas parcelas, após o que as parcelas foram cobertas com lona



plástica para se evitar perdas por evaporação e, ainda, danos devido a eventual ocorrência de precipitações naturais.

Vinte e quatro horas após, durante 60 minutos, outra chuva com intensidade de 60 mm h^{-1} foi aplicada nas parcelas entressulcos e, na seqüência, outras simulações com intensidades de 50, 70, 90 e 120 mm h^{-1} foram aplicadas durante 15 minutos, a intervalos suficientes apenas para coleta das umidades das parcelas, entre um evento e outro. A seqüência de aplicação das citadas precipitações foi aleatória, a exemplo do adotado por Meyer (1981), Meyer e Harmon (1984) e Martins Filho (1994). Após isto procedeu-se às amostragens (Figura 1e) segundo metodologia específica para a determinação da erodibilidade entressulcos-Ki.

3.4.2 Parcelas experimentais

A determinação da erodibilidade entressulcos (Ki) e infiltração de água no solo foi conduzida em 20 (vinte) parcelas para cada solo, com dimensões médias de $0,50 \times 0,75$ metros (maior dimensão no sentido do declive), individualizadas no topo e laterais pelo uso de chapas de aço galvanizado nº 20, com 25 cm de altura e, na sua porção inferior, por calhas coletoras de 0,75 m, convergentes para uma saída de aproximadamente 10 cm largura, onde amostras de enxurradas foram coletadas para quantificar perdas de solo e água (Figuras 1b e 1d).

Para avaliação do efeito da declividade na erodibilidade entressulcos quatro declividades com cinco repetições cada uma foram testadas para os três solos sendo de 15%, 25%, 35% e 45% cujo esquema pode ser visto na Figura 2. Para os Podzólicos, as declividades escolhidas compõem as classes de declive mais freqüentes para região de Lavras, no sudeste de Minas Gerais, segundo Andrade et al. (1998).

3.4.3 Umidade do solo

A umidade gravimétrica foi determinada segundo EMBRAPA (1997), em amostras deformadas coletadas nas bordaduras das parcelas entressulcos, com um trado, a profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As amostragens foram efetuadas antes de cada chuva aplicada nas parcelas.

A umidade do solo foi também determinada durante os ensaios de resistência à penetração do solo, macro e microporosidades.

3.4.4 Perdas de solo e infiltração

As amostragens das perdas de solo e a infiltração de água foram realizadas combinando-se partes de metodologias descritas por Pereira et al. (1985), Lafien, Thomas e Welch (1987), Martins Filho (1987), Elliot et al. (1989), Martins Filho (1994) e Martins Filho (1999). As coletas das amostras para medidas de vazões dos escoamentos superficiais e das concentrações de sedimentos foram realizadas no primeiro e no quinto minutos após o início da enxurrada e, a partir daí, a cada cinco minutos. Amostras foram coletadas em recipientes, cronometrando-se o tempo de coleta. Logo após as coletas (Figura 1e), os recipientes foram fechados e conduzidos ao laboratório para quantificação das taxas de perdas de solo e água conforme Vanoni (1975). A taxa média de erosão entressulcos das coletas de cada chuva aplicada nas parcelas experimentais foi a utilizada neste trabalho para a determinação do K_i e nas análises de correlações deste com parâmetros da chuva, do solo e da declividade.

3.5 Determinações de laboratório

Os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos foram determinados em amostras colhidas nas bordaduras e amostras compostas das

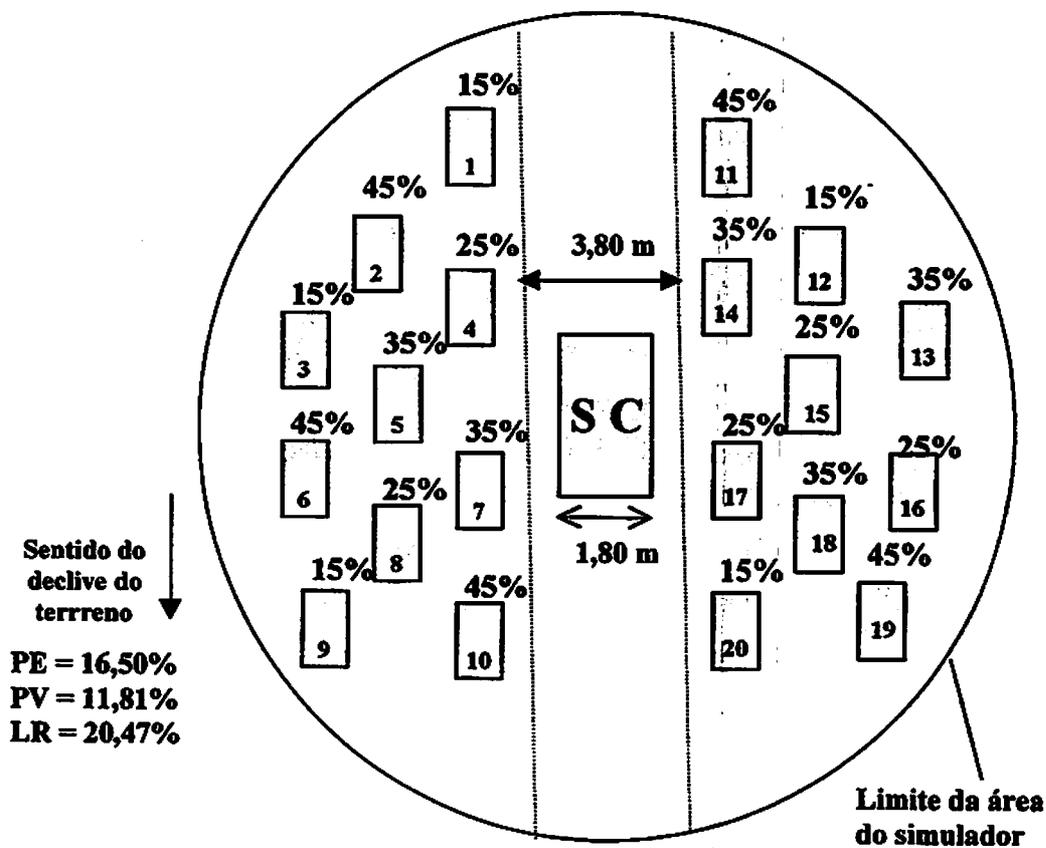


FIGURA 2. Esquema da distribuição das declividades e parcelas entressulcos na área do simulador de chuvas (SC)

parcelas a profundidades de 0-20 e 20-40 cm da superfície. Foram caracterizados os seguintes atributos do solo:

3.5.1 Análises químicas e mineralógicas

Potássio, sódio e fósforo foram extraídos pelo extrator Mehlich I (EMBRAPA, 1997) e o Ca, Mg e Al extraídos em KCl 1N (EMBRAPA, 1997). A acidez potencial (H+AL) foi determinada segundo metodologia descrita por Vettori (EMBRAPA, 1997) e o pH foi determinado potenciométricamente em solução de CaCl_2 0,01 M, segundo Vettori (EMBRAPA, 1997). Os óxidos do ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1997), o carbono orgânico segundo o método Walkley-Black (EMBRAPA, 1997) e a matéria orgânica foi obtida multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Os óxidos de ferro livres totais (Fe_d) da fração argila foram extraídos utilizando-se ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, segundo Mehra e Jackson (1960). Já os óxidos menos cristalinos (Fe_o) da fração argila foram extraídos segundo metodologia de Schwertmann (1973). Caulinita e gibbsita foram quantificadas, na fração argila desferrificada, através de análise térmica diferencial (ATD).

3.5.2 Análises físicas

A análise textural foi realizada conforme Boyoucos EMBRAPA (1997) utilizando-se NaOH 1 N como dispersante químico. As frações foram separadas com base na classificação proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), segundo Day (1965). A argila dispersa em água foi determinada seguindo-se metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

A densidade do solo foi obtida segundo Blake e Hartge (1986a) utilizando-se amostras com estrutura natural coletadas em anéis volumétricos (amostrador de Uhland) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. Para

a determinação da densidade de partículas utilizou-se o método do balão volumétrico descrito por Blake e Hartge (1986b).

O volume total de poros (VTP) foi determinado segundo Danielson e Shutherland (1986) e a macro e microporosidade por meio de amostras previamente saturadas durante 24 horas coletadas com estrutura natural nas bordaduras das parcelas, em anéis volumétricos, nos intervalos de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, utilizando-se unidade de sucção. A porcentagem de água retida nas amostras após o equilíbrio corresponde à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre o volume total de poros e a microporosidade (Grohman, 1960). Calculou-se o volume total de poros bloqueados pela diferença entre o volume total de poros calculado e o volume total de poros determinado.

Um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF (Stolf, Fernandes e Furlani Neto, 1983) foi utilizado para determinação da resistência do solo à sua penetração (RP) na camada de 0 a 60 cm de profundidade, conforme Stolf (1991). Determinou-se a umidade do solo durante os ensaios utilizando-se amostras deformadas coletadas com um trado nos intervalos de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

A estabilidade do agregados foi determinada segundo Kemper e Rosenau (1986). O diâmetro médio ponderado (DMP) e o geométrico (DMG), foram calculados segundo Kemper e Rosenau (1984).

3.5.3 Erodibilidade entressulcos

Para a determinação da erodibilidade entressulcos (K_i) dos solos estudados foram usadas as intensidades médias das chuvas aplicadas, as declividades das parcelas e as taxas médias de erosão entressulcos nos diversos tempos de coleta durante cada chuva aplicada, após a estabilização da enxurrada. Foi usada a seguinte equação (Liebenow et al., 1990) :

$$K_i = D_i / (I^2 S_f)$$

[12]

sendo: K_i = erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4}); D_i = taxa de erosão entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); I = intensidade de chuva (m s^{-1}); R = taxa de enxurrada (m s^{-1}); $S_f = a - b e^{-4 \text{ sem } \theta}$, em que a e b = constantes, e = a base dos logaritmos naturais e $\text{sem } \theta$ = seno do ângulo do declive em graus.

3.5.4 Análises estatísticas

Os experimentos foram analisados em conjunto aproveitando-se o mesmo resíduo. Na análise de variância, os graus de liberdade para as fontes de variação foram distribuídos conforme a Tabela 1.

TABELA 1. Esquema da análise de variância dos dados experimentais.

Fonte de variação	Graus de liberdade (GL)
Blocos	4
Tratamentos	(59)
Solos	2
Adicional	12
Chuvas de 15 min x Declive: PE	15
Chuvas de 15 min x Declive: PV	15
Chuvas de 15 min x Declive: LR	15
Resíduo	236
Total	299

Para cada solo foram ajustadas equações de regressão múltipla (superfícies de resposta), nas quais as variáveis taxa de erosão (D_i) e enxurrada (R) foram grafadas em função de quatro intensidades de chuvas de 15 minutos (50, 70, 90 e 120 mm h^{-1}) e quatro declives (15, 25, 35 e 45%). Foram feitos contrastes no mesmo declive do solos utilizados no experimento entre a intensidade de chuva de 60 mm h^{-1} aplicada durante uma hora e as outras (50,

70, 90 e 120 mm h⁻¹), totalizando 12 tratamentos devido aos quatro declives de cada solo, com as demais intensidades. A primeira chuva foi considerada como tratamento adicional pelo fato de seus efeitos estarem sendo melhor estimados em função de seu maior tempo de aplicação (60 minutos) em relação às outras (15 minutos).

O resumo da análise de variância, em que se testou o ajuste das equações de regressão (superfícies de resposta), encontra-se na Tabela 2, em que p é o número de parâmetros das equações que melhor ajuste apresentaram no estudo das variáveis.

Os valores de Ki foram correlacionados com os atributos físicos e químicos dos solos estudados.

Foram utilizados nessas análises os programas SISVAR 3.03, SAEG e SAS, adotando-se, para análise dos dados, os níveis de significância de 5% e 1%.

TABELA 2. Desdobramento da análise de variância considerando o modelo de equações de regressão para os três solos.

Fonte de variação	Graus de liberdade (GL)
Solos	2
Chuvas de 15 min x declive (PE)	(15)
Regressão	p
Desvio de regressão	15 - p
Chuvas de 15 min x declive (PV)	(15)
Regressão	p
Desvio de regressão	15 - p
Chuvas de 15 min x declive (LR)	(15)
Regressão	p
Desvio de regressão	15 - p
Resíduo	236
Total	299

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos do tipo de solo, declividade e intensidade de chuva nas taxas de enxurrada e taxas de erosão entressulcos

A caracterização dos solos estudados pode ser observada nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 através dos valores de seus atributos físicos químicos e mineralógicos.

4.1.1 Taxas de erosão entressulcos (D_i)

As taxas observadas de perda de solo entressulcos (D_i) dos Podzólicos Vermelho Escuro (PE) e Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Roxo (LR) se encontram nas Tabelas 7, 8 e 9. As equações de regressão ajustadas [13], [14], [15], considerando-se as declividades do solo (D) e as intensidades das chuvas aplicadas (I) - Figuras 3, 6 e 9 - como variáveis independentes, mostram os efeitos interativos destes dois fatores na erosão entressulcos (D_i). O efeito de cada um destes fatores naquela taxa também pode ser visto separadamente nas Figuras 4, 5, 7, 8, 10 e 11.

Pelas equações [13] e [14] ajustadas nas Figuras 3 e 6, nota-se que os solos Podzólicos (PE e PV) apresentaram comportamentos semelhantes, com as taxas de perdas entressulcos (D_i) aumentando linearmente em função de um aumento linear nas intensidades (I) das chuvas aplicadas e de suas declividades (D). Já a equação [15] apresentada na Figura 9 mostra que o comportamento do LR foi bem diferenciado, tendo havido um aumento nas taxas D_i que é função de uma redução quadrática das suas declividades e de um aumento linear nas intensidades das chuvas aplicadas.

Considerando-se a intensidade da chuva mais erosiva e fixando-se o seu valor (120 mm h^{-1}), para variar a declividade do solo de 15 a 45%, obteve-se valores estimados de D_i iguais a 42,28; 45,35; 48,32 e 51,49 $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o

TABELA 3. Análise granulométrica, resistência à penetração, volume total de poros, argila dispersa em água, relação ADA/A, densidade do solo, densidade de partículas, micro e macroporosidade dos solos estudados (amostragem composta e média de 20 repetições).

Solo	Análise granulométrica (Na OH 1N)															
	A _{total} ¹	AMG ²	AG ³	AM ⁴	AF ⁵	AMF ⁶	S ⁷	A ⁸	RP ⁹	VTP ¹⁰	ADA ¹¹	ADA/A ¹²	Dp ¹³	Ds ¹⁴	MiP ¹⁵	MaP ¹⁶
	g.kg ⁻¹								%	g.kg ⁻¹		g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	%	%	
PE-A	397	35	124	113	97	28	145	460	5,74 ⁶	53,03	120	0,26	2,72	1,16	30,87	22,16
PE-B	282	8	83	92	73	26	152	570	5,74 ⁶	52,60	100	0,18	2,65	1,15	30,57	22,03
PV-A	472	49	120	126	148	29	125	400	3,86 ⁵	46,30	220	0,55	2,62	1,28	19,32	26,99
PV-B	357	24	81	103	124	25	106	540	3,86 ⁵	42,70	320	0,59	2,59	1,39	33,40	9,31
LR-A	333	10	94	112	95	22	250	420	1,81 ⁴	59,22	30	0,071	2,75	1,00	35,17	24,05
LR-B	353	9	114	118	91	21	232	420	1,81 ⁴	56,81	00	00	2,60	1,05	36,58	20,23

¹A_{total} = areia total; ²AMG = areia muito grossa; ³AG = areia grossa; ⁴AM = areia média; ⁵AF = areia fina; ⁶AMF = areia muito fina; ⁷S = silte; ⁸A = argila; ⁹RP = resistência à penetração : ⁹4 = moderada (1-2 MPa), ⁹5 = alta (2-4 MPa), ⁹6 = muito alta (4-8 MPa); ¹⁰VTP = volume total de poros determinado; ¹¹ADA = argila dispersa em água; ¹²ADA/A = argila dispersa em água/argila; ¹³Dp = densidade de partículas; ¹⁴Ds = densidade do solo; ¹⁵MiP = microporos; ¹⁶MaP = macroporos

TABELA 4. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e estabilidade dos agregados para o Latossolo Roxo, Podzólico Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo (média de 20 repetições).

Solo	DMG ⁽¹⁾	DMP ⁽²⁾	Estabilidade dos agregados – Tamanho (mm) – em %					
			mm		7-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25
PE-A	0,3969	0,9718	12,12	6,52	17,04	23,68	27,44	13,20
PE-B	0,5617	1,1274	12,52	12,60	25,00	24,76	18,60	6,52
PV-A	0,4583	1,2997	19,28	7,48	13,84	21,92	19,68	17,80
PV-B	0,6395	1,1781	12,00	16,52	29,52	23,16	13,12	5,68
LR-A	3,1076	4,0442	77,48	8,76	6,48	3,56	1,64	2,08
LR-B	2,5940	3,5273	63,72	17,16	0,92	5,04	3,00	0,16

TABELA 5. Teores de Fe_2O_3 extraído pelo ataque sulfúrico (Fe_a), pelo ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d) e oxalato ácido de amônio (Fe_o), teores de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 , determinação das porcentagens de caulinita (Ct) e gibsitá (Gb) por ATD, relação Ct/(Ct+Gb), índices Ki (IKi) e Kr (IKr) e relação Al_2O_3/Fe_2O_3 para os solos estudados (amostragem composta de 20 parcelas).

Solo	Fe_2O_3			SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Ct	Gb	Ct/(Ct+Gb)	IKi	IKr	Al_2O_3/Fe_2O_3	pH (H ₂ O)
	Fe_a	Fe_d	Fe_o											
g.kg ⁻¹													
PE-A	126,0	60,97	2,68	197,3	293,8	16,52	0,5	400	173	0,70	1,14	0,90	3,66	6,1
PE-B	-	70,06	2,28	-	-	-	-	418	239	0,64	-	-	-	5,7
PV-A	56,8	36,84	2,16	190,7	295,8	9,56	0,17	437	189	0,70	1,10	0,98	8,17	4,7
PV-B	-	36,17	1,46	-	-	-	-	431	268	0,62	-	-	-	4,5
LR-A	187,9	110,52	4,48	186,2	261,6	19,55	0,42	332	196	0,63	1,21	0,83	2,19	5,1
LR-B	-	101,94	4,96	-	-	-	-	348	215	0,62	-	-	-	5,1

TABELA 6. Teores de P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, S (soma de bases trocáveis), t (CTC efetiva), T (CTC a pH 7), m (saturação de Al), (saturação de bases da CTC a pH 7) e MO (matéria orgânica).

Solo	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V	MO
PE-A	2	30	3,2	1,3	0,1	2,9	4,6	4,7	7,5	2	61	3,1
PE-B	1	9	1,6	0,8	0,2	2,9	2,4	2,6	5,3	8	46	1,5
PV-A	1,5	41	0,8	0,25	0,8	6,0	1,1	1,6	7,0	44	16	2,4
PV-B	1	25	0,3	0,1	1	7,0	0,5	1,5	7,5	68	6	1,4
LR-A	1	8	0,4	0,2	0,2	3,2	0,6	0,8	3,8	24	16	3,1
LR-B	1	8	0,4	0,2	0,2	3,6	0,6	0,8	4,2	24	15	2,9

PV, 36,48; 39,27; 42,06 e 44,85 kg m⁻² s⁻¹ para o PE e 22,67; 22,80; 27,32 e 36,24 kg m⁻² s⁻¹ para o LR. Um aumento verificado no Di em função do incremento da declividade dos solos também foi encontrado por Quansah (1981); Van Liew e Saxton (1983); Lang et al. (1984); Poesen (1985); Hahn, Moldenhauer e Roth (1985); Bradford e Foster (1996). Alguns destes valores estão dentro da faixa de declividade (2 a 20%) em que Lattanzi, Meyer e Baumgardner (1974) registraram aumentos de Di.

As Tabelas 7, 8 e 9 mostram que de 15 para 25% de declive, 77% dos valores da taxa Di diminuíram para os três solos, nas quatro intensidades de chuva, aumentando em sua totalidade, para todas as intensidades e solos estudados, a partir de 25% de declive, numa magnitude que cresceu no sentido LR→PE→PV. Esses resultados concordam com as observações de Singer e Blackward (1982) e podem ser atribuídos aos curtos comprimentos de rampa utilizados no experimento, o que leva a um predomínio da ação erosiva do fino fluxo superficial formado na superfície das parcelas sobre a força desagregadora da gota d'água, tornando os solos de textura mais fina mais resistentes às forças de cisalhamento. A Tabela 3 mostra que os teores de areia total dos três solos crescem no mesmo sentido anteriormente visto do Di (LR→PE→PV) e a porcentagem de argila para os dois Podzólicos cresce no sentido PV→PE, concordando com esses últimos autores. O mais baixo teor de argila do LR em relação ao PE pode ter seu efeito de resistência à erosão sobrepujado pelo maior volume de poros (VTP), densidade de partículas (Dp), óxidos de ferro, diâmetros médios geométricos e ponderados (DMG e DMP), menor densidade de solo e teor de caulinita (Tabelas 3, 4 e 5).

Por outro lado, fixando-se a declividade em que ocorreu a maior perda por erosão (45%) e variando-se as intensidades de chuvas aplicadas (50, 70, 90,

TABELA 7. Taxas observadas de erosão entressulcos (D_i) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Podzólico Vermelho Escuro.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas ($I - \text{mm h}^{-1}$)			
	50	70	90	120
	Taxa de erosão entressulcos ($D_i \times 10^{-5} - \text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
15	12,9	18,3	22,6	35,7
25	11,7	18,8	22,4	39,1
35	12,6	18,8	25,7	41,7
45	14,9	23,1	36,9	50,3

$$D_i \times 10^{-5} = -16,86 + 0,278954D + 0,409644I$$

$$R^2 = 0,93$$

[13]

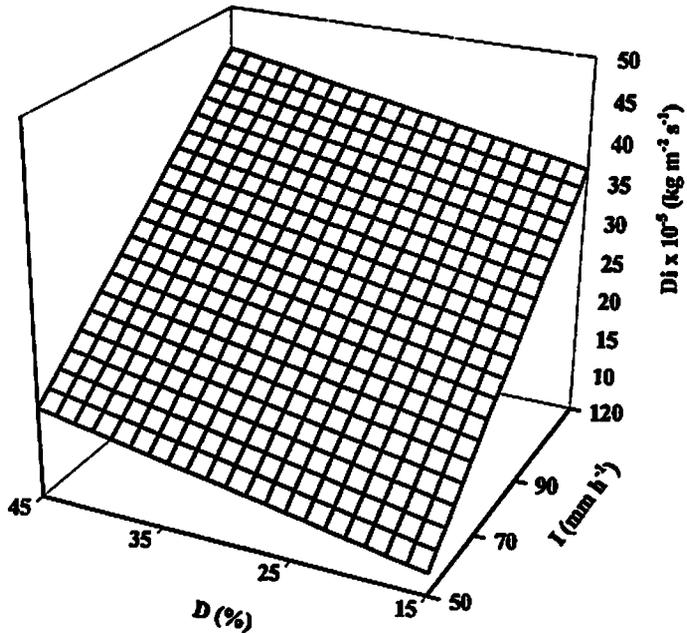


FIGURA 3. Equação de regressão para a taxa de perda de solo entressulcos (D_i) no Podzólico Vermelho Escuro em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

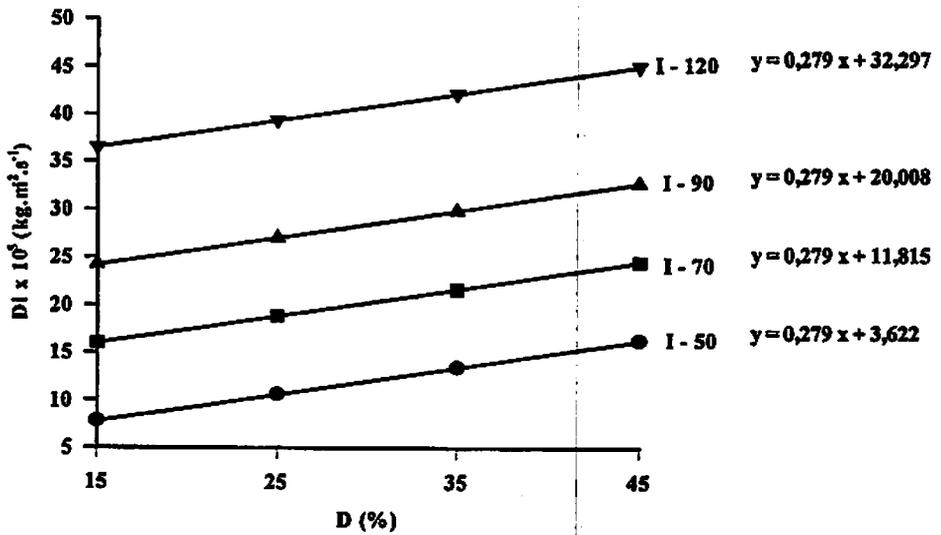


FIGURA 4. Erosão entressulcos (D_i) versus declividade (D) para o Podzólco Vermelho Escuro

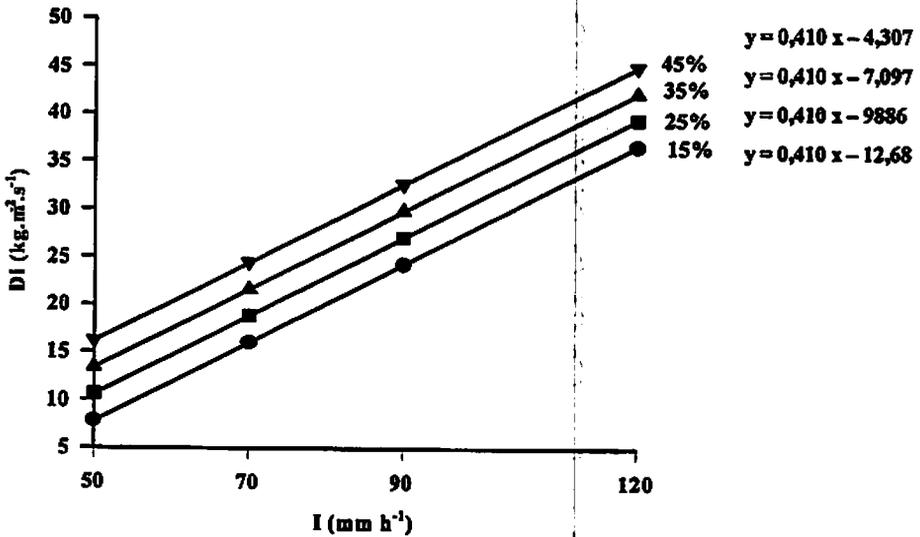


FIGURA 5. Erosão entressulcos (D_i) versus intensidade de chuva (I) para o Podzólco Vermelho Escuro.

TABELA 8. Taxas observadas de erosão entressulcos (D_i) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Podzólico Vermelho-Amarelo.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas ($I - \text{mm h}^{-1}$)			
	50	70	90	120
	Taxa de erosão entressulcos ($D_i \times 10^{-5} - \text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
15	20,4	25,3	35,8	42,9
25	17,2	19,9	31,8	44,3
35	21,2	32,8	38,2	48,2
45	26,5	36,8	43,4	49,7

$$D_i \times 10^{-5} = -5,49 + 0,307254D + 0,359654I$$

$$R^2 = 0,92$$

[14]

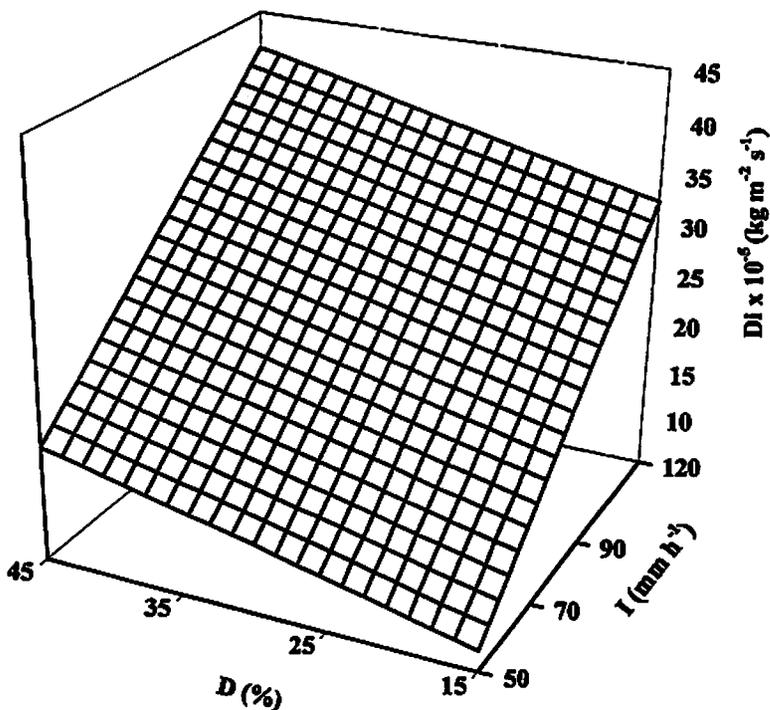


FIGURA 6. Equação de regressão para a taxa de perda de solo entressulcos (D_i) no Podzólico Vermelho-Amarelo em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

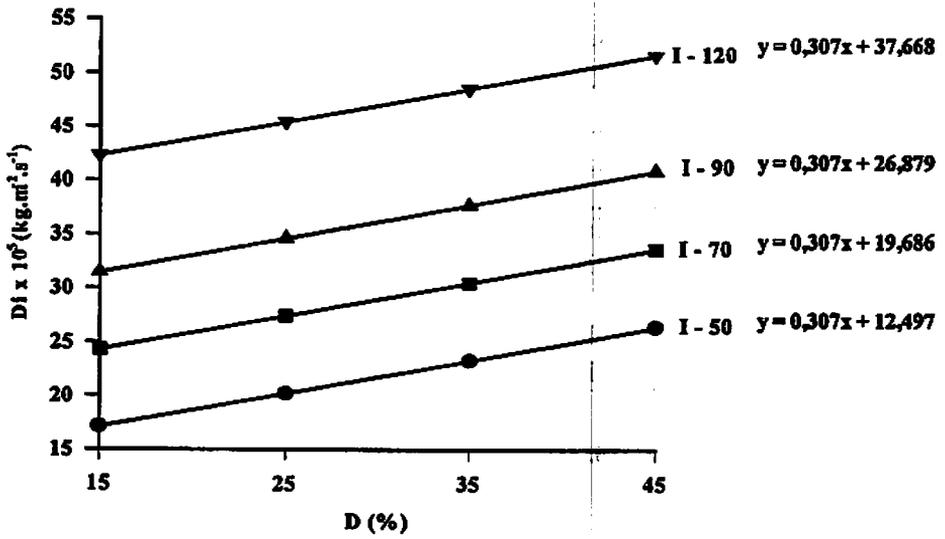


FIGURA 7. Erosão entressulcos (D_i) versus declividade (D) para o Podzólco Vermelho-Amarelo

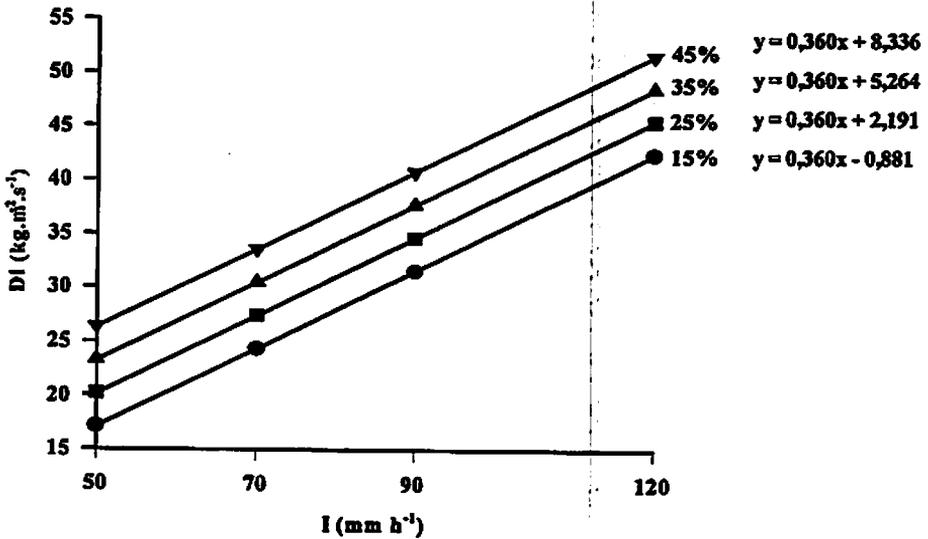


FIGURA 8. Erosão entressulcos (D_i) versus intensidade de chuva (I) para o Podzólco Vermelho-Amarelo.

TABELA 9. Taxas observadas de erosão entressulcos (D_i) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Latossolo Roxo.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas ($I - \text{mm h}^{-1}$)			
	50	70	90	120
	Taxa de erosão entressulcos ($D_i \times 10^{-5} - \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
15	14,9	13,0	15,9	26,3
25	9,4	8,9	19,8	19,2
35	15,9	14,3	23,1	27,9
45	16,4	22,9	27,1	37,1

$$D_i \times 10^{-5} = 19,65 - 1,32324D + 0,0219722D^2 + 0,0921573I + 0,00381216ID \quad [15]$$

$$R^2 = 0,88$$

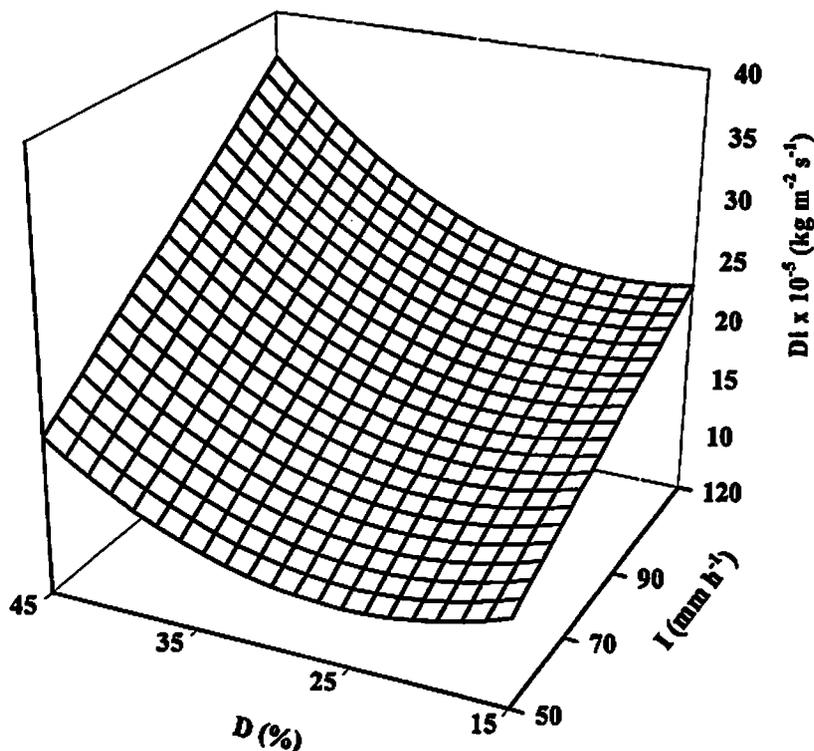


FIGURA 9. Equação de regressão para a taxa de perda de solo entressulcos (D_i) no Latossolo Roxo em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

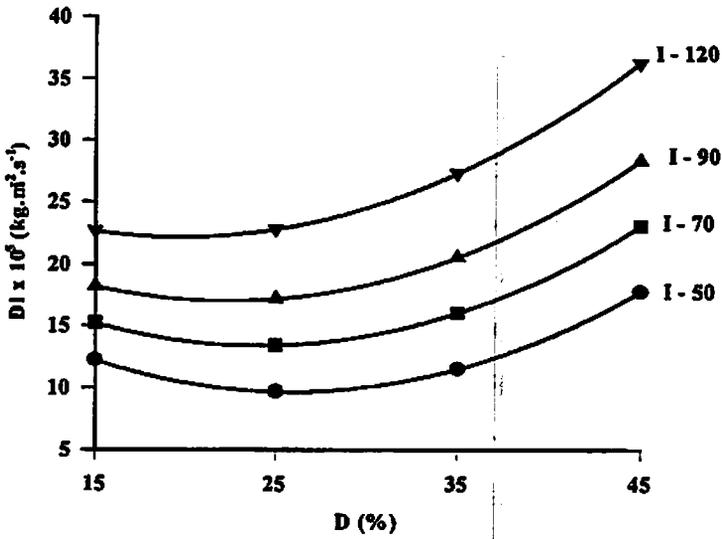


FIGURA 10. Erosão entressulcos (Di) versus declividade (D) para o Latossolo Roxo

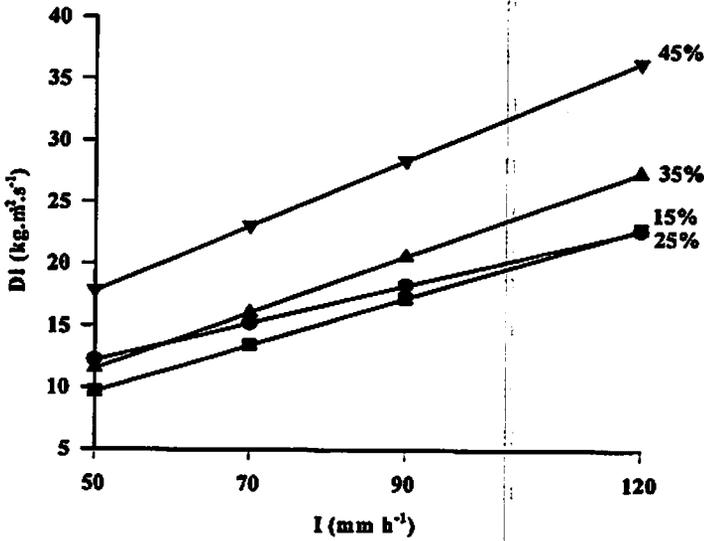


FIGURA 11. Erosão entressulcos (Di) versus intensidade de chuva (I) para o Latossolo Roxo.

120 mm h⁻¹), obteve-se, respectivamente, para o PV, valores de Di estimados da ordem de 26,32; 33,51; 40,71 e 51,49 kg m⁻² s⁻¹ para o PE, 16,18; 24,37; 32,56 e 44,85 kg m⁻² s⁻¹ e para o LR, 17,78; 23,06; 28,33 e 36,24 kg m⁻² s⁻¹.

Portanto, a erosão entressulcos nos solos Podzólicos estudados depende mais da intensidade de chuva (I) do que da declividade (D). Isto pode ser confirmado pelas Figuras 4, 5, 7 e 8 que apresentaram maiores coeficientes de inclinação (0,410 e 0,360, respectivamente para o PE e PV) para as retas que traçam os efeitos do I (Figuras 5 e 8), indicando que, dentro de uma variação com a mesma amplitude nas duas variáveis, a intensidade de chuva (I) causará um maior efeito nas perdas de solo entressulcos. Meyer e Harmon (1992) também relataram resultados semelhantes em condições de laboratório. Já para o LR, a exceção da chuva de 50 mm h⁻¹ (1ª chuva), a erosão entressulcos foi mais dependente da declividade (D) do solo.

Os coeficientes dos termos das equações [13], [14] e [15] ajustadas para os três solos (Figuras 3, 6 e 9) confirmam esses dados. Observa-se que a cada 20 mm h⁻¹ de intensidade acrescida na chuva, houve incrementos de aproximadamente 8,2 kg m⁻² s⁻¹ para o PE; 7,2 kg m⁻² s⁻¹ para o PV em todos os declives até a 4ª chuva (90 mm h⁻¹) e 10,79 kg m⁻² s⁻¹ para o PV; 12,29 kg m⁻² s⁻¹ para o PE, em todos os declives, com a aplicação da 5ª chuva (120 mm h⁻¹).

Os incrementos na taxa Di do PE foram, portanto, maiores do que os incrementos do PV, não obstante as maiores perdas observadas para este último. Este fato permite hipotetizar que os valores de Ki destes dois solos se invertam passando o PE, após determinado tempo, a apresentar maior susceptibilidade à erosão entressulcos do que o PV. Infere-se que, uma vez destruídas as forças que unem e cimentam os agregados do PE (óxidos de ferro e MO, por exemplo) por ação da força erosiva das chuvas, ocorre uma desestruturação superficial do PE e ele pode se tornar mais erodível do que o PV (Ellison, 1947; Wischmeier e Smith,

1978; Reichert, Norton e Huang, 1994). Segundo Resende (1995), isto ocorreria pelo maior grau de arredondamento das partículas do solo com maior teor de óxidos de ferro (PE) entre aqueles dois (Tabela 5).

O PV apresentou coeficiente de declividade (0,3072) – equação [14] da Figura 6 - um pouco maior do que o PE (0,2789) – equação [13] da Figura 3 - mostrando que as perdas entressulcos daquele solo são mais sujeitas às variações daquele fator do que no PE. O coeficiente do termo intensidade de chuva (I) do PE – equação [13] da Figura 3 - entretanto, foi maior (0,4096) do que o do PV (0,3596) – equação [14] da Figura 6 - de onde pode-se inferir que maiores intensidades de chuva afetarão em maior grau as perdas entressulcos do PE.

Derivando-se a equação [15] da Figura 9 encontra-se o ponto de mínimo (maior concavidade) para a superfície de resposta do LR, igual a 24,17% de declividade, o que corresponde, nas intensidades de 50, 70, 90 e 120 mm h⁻¹, às perdas de 9,72; 13,40, 17,09 e 22,62 kg m⁻² s⁻¹, respectivamente, os mais baixos valores de Di para aquele solo.

O coeficiente negativo do termo linear da função quadrática da equação [15] mostra que, para o LR, há uma relação inversa entre o Di e os incrementos no declive (D) até o valor de 24,17% (ponto de mínimo) de declividade (Figura 10). Os aumentos da taxa Di a partir deste ponto se devem à contribuição, de magnitude bem menor, do termo quadrático (D²) do polinômio, observando-se que, apenas para a chuva de 120 mm h⁻¹, a taxa Di manteve incrementos constantes à medida que se aumentou o declive (Figura 10). Neste caso, o aumento do Di foi bem menor que no PE e PV, sendo que um acréscimo de 20 mm h⁻¹ no I ocasionou incrementos de cerca de 2,99 e 3,75 kg m⁻² s⁻¹ para os declives de 15-25%; 4,51 e 5,28 kg m⁻² s⁻¹ para os declives de 35 e 45%, até a 4ª chuva (90 mm h⁻¹). Com a aplicação da 5ª chuva (120 mm h⁻¹), esses incrementos

subiram para a ordem de 4,51 e 5,63 kg m⁻² s⁻¹ para declives de 15 e 25% e 6,76 e 7,91 kg m⁻² s⁻¹ para os declives de 35 a 45%.

A equação [15] ajustada para o LR (Figura 9) apresentou ainda o termo ID, mostrando que a variação no Di do LR é função também de uma interação entre os fatores intensidade de chuva e declividade do solo.

As menores taxas Di para o LR em relação ao PE e PV podem ser explicadas em função de aspectos físicos e de gênese do solo, sendo físicos: maior VTP, menor teor de argila dispersa em água (ADA), menor Ds, mais macroporos (MaP) no LR e de gênese: a existência do B textural o que diminui o tempo de formação do deflúvio e aspectos químicos e mineralógicos, como seu maior teor de óxidos de ferro, MO, Gb, que agregam e cimentam as partículas do solo deixando-o mais granuloso e com maior capacidade de infiltração, o que irá retardar a formação do deflúvio e diminuir as perdas entressulcos (Tabelas 3, 4, 5 e 6). Entretanto, vencida a grande capacidade de infiltração do LR e uma vez instalado o processo erosivo devido a da maior intensidade da chuva, este solo, pelo seu mais alto grau de arredondamento das partículas, poderá ser arrastado com maior facilidade do que os outros (Resende, 1995).

4.1.2 Taxas de enxurrada (R)

As taxas observadas de enxurrada (R) do PE, PV e LR se encontram nas Tabelas 10, 11 e 12. As equações de regressão [16], [17] e [18] ajustadas, considerando-se as declividades do solo (D) e as intensidades das chuvas aplicadas (I) - Figuras 12, 15 e 18, mostram os efeitos interativos destes dois fatores naquela taxa. O efeito de cada um destes fatores, separadamente na R, pode ser visto nas Figuras 13, 14, 16, 17, 19 e 20.

Pelas equações [16] e [17] ajustadas nas Figuras 12 e 15, nota-se que os solos Podzólicos apresentaram taxas de enxurrada (R) com comportamentos

semelhantes, aumentando linearmente em função de um aumento nas intensidades (I) das chuvas aplicadas e de suas declividades (D). Já a equação [18] ajustada para o LR (Figura 18) mostra que o seu comportamento foi bem diferenciado, apresentando um crescimento quadrático nas taxas R, que é função de um aumento suas declividades e um aumento linear em função também das declividades (D) e das intensidades (I) das chuvas aplicadas.

Variando-se os fatores D para o valor fixo do I mais erosivo (120 mm h^{-1}) foram obtidos valores estimados de R iguais a 27,68; 27,71; 27,74 e 27,77 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o PE; 26,57; 27,15; 27,72 e 28,30 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o PV e 25,56; 24,54; 22,19 e 18,51 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o LR. Estes resultados são concordantes com relatos de Grosh e Jarret (1994) que não encontraram grandes diferenças entre as taxas R em declives variando de 15 a 85%, indicando que o deflúvio foi muito pouco afetado pelo declive do solo. A relação inversa verificada entre a declividade (D) e a taxa R pode ser atribuída ao aumento da camada de infiltração das parcelas no sentido do maior declive devido à estrutura mais granulada do LR (maior volume de poros, maior teor de óxido de ferro e menor densidade de solo, conforme Tabelas 3 e 5).

Nota-se, entretanto, que os valores de R para o PE (fixando-se o $I = 120 \text{ mm h}^{-1}$) foram ligeiramente maiores daqueles do PV até o declive de 45%, indicando que as maiores taxas de Di alcançadas por este último (Tabela 8) foram muito mais em função dos atributos a ele inerentes (menores teores de óxidos de ferro, matéria orgânica, volume total de poros, densidade de partículas e maiores teores de caulinita, densidade do solo, argila dispersa em água, estabilidade dos agregados $> 0,105 \text{ mm} - EA_6$), Tabelas 3, 4, 5 e 6, do que da taxa de enxurrada.

TABELA 10. Taxas observadas de enxurrada (R) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Podzólico Vermelho Escuro.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas (I - mm h ⁻¹)			
	50	70	90	120
Taxa de enxurrada (R x 10 ⁻⁶ - m/s).....			
15	14,3	18,9	21,1	27,7
25	13,4	17,8	23,4	28,2
35	14,4	18,7	21,9	27,5
45	13,8	19,1	22,1	26,7

$$R \times 10^{-6} = 4,58 + 0,00320604D + 0,192077I$$

$$R^2 = 0,97$$

[16]

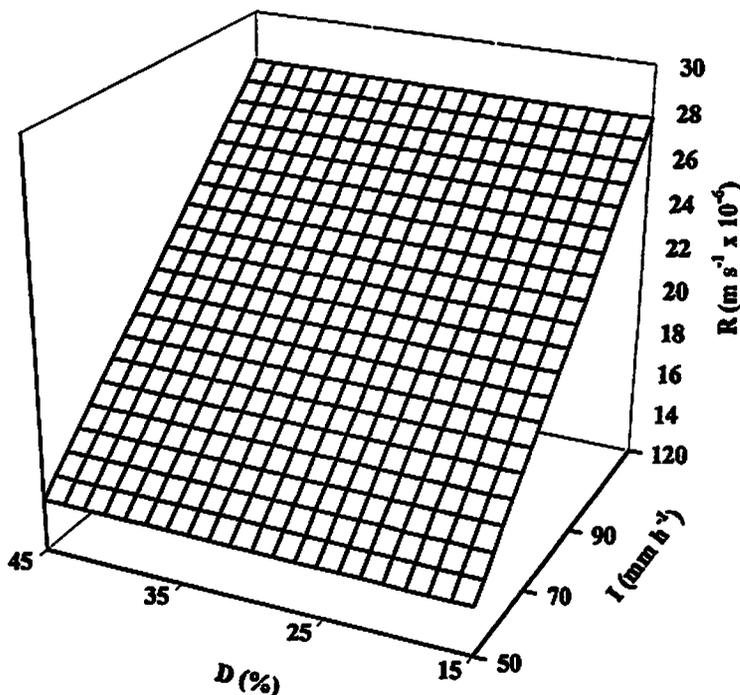


FIGURA 12. Equação de regressão para a taxa de enxurrada (R) no Podzólico Vermelho Escuro em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

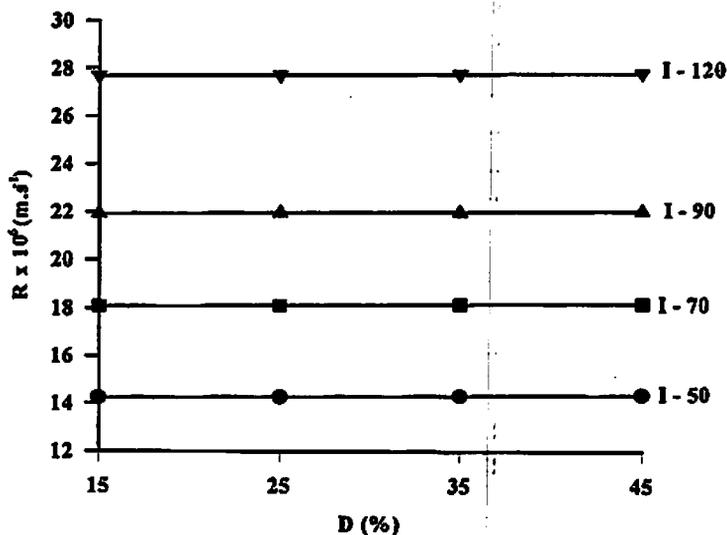


FIGURA 13. Taxa de enxurrada (R) versus declividade (D) para o Podzólico Vermelho Escuro

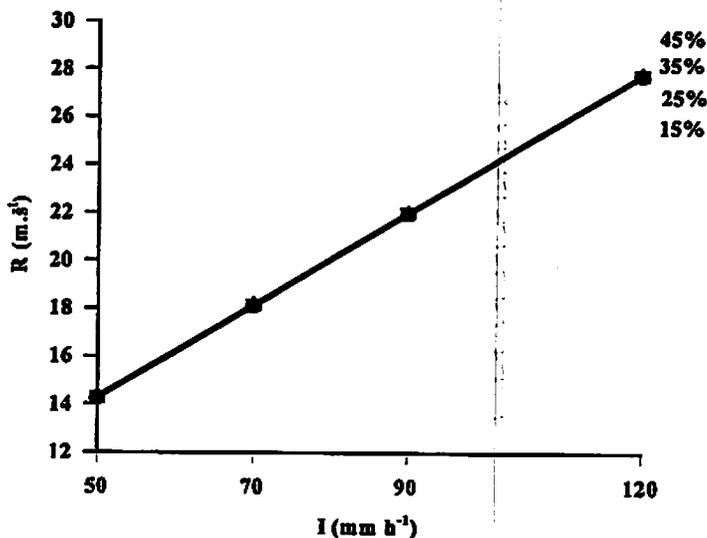


FIGURA 14. Taxa de enxurrada (R) versus intensidade de chuva (I) para o Podzólico Vermelho Escuro

TABELA 11. Taxas observadas de enxurrada (R) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Podzólico Vermelho-Amarelo.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas (I – mm h ⁻¹)			
	50	70	90	120
Taxa de enxurrada (R x 10 ⁻⁶ – m/s).....			
15	14,0	17,8	20,8	25,1
25	13,0	17,6	19,5	24,7
35	13,3	16,0	19,7	22,8
45	13,6	15,1	19,8	22,5

$$R \times 10^{-6} = 8,00 + 0,0577856D + 0,147507I$$

$$R^2 = 0,98$$

[17]

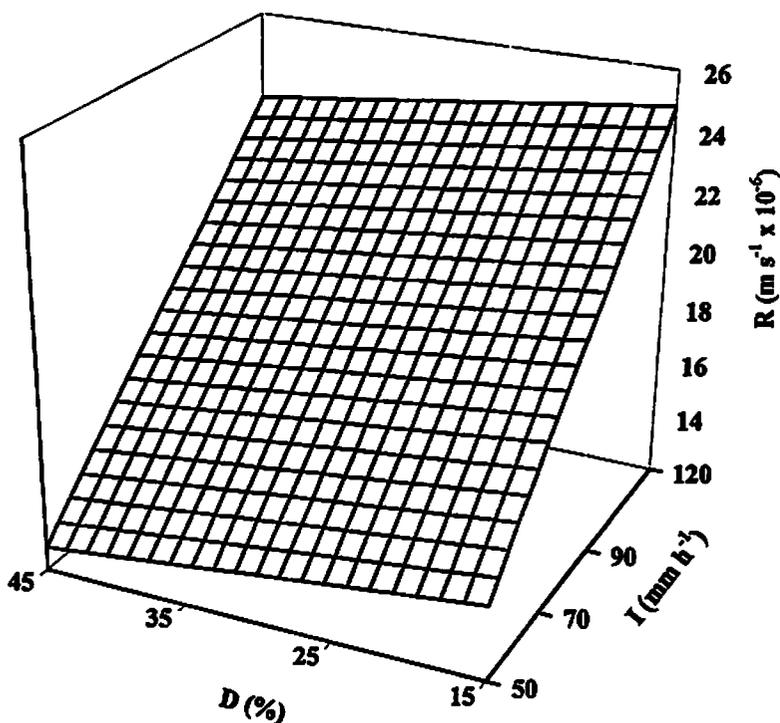


FIGURA 15. Equação de regressão para a taxa de enxurrada (R) no Podzólico Vermelho-Amarelo em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

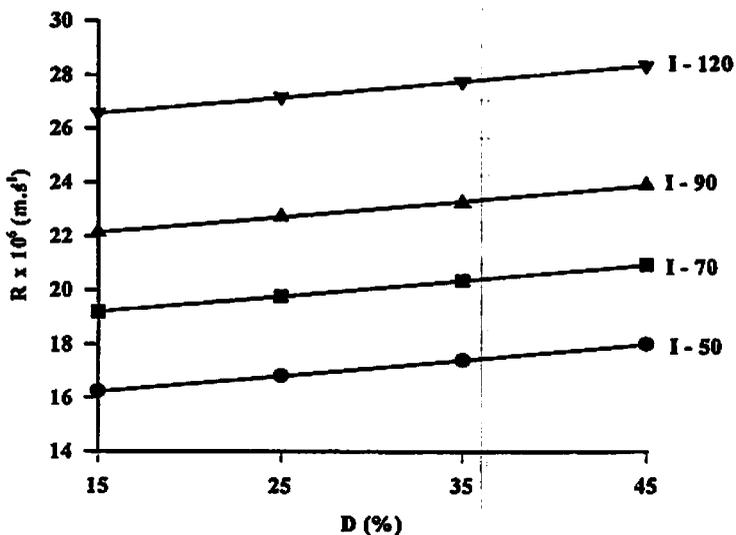


FIGURA 16. Taxa de enxurrada (R) versus declividade (D) para o Podzólico Vermelho-Amarelo

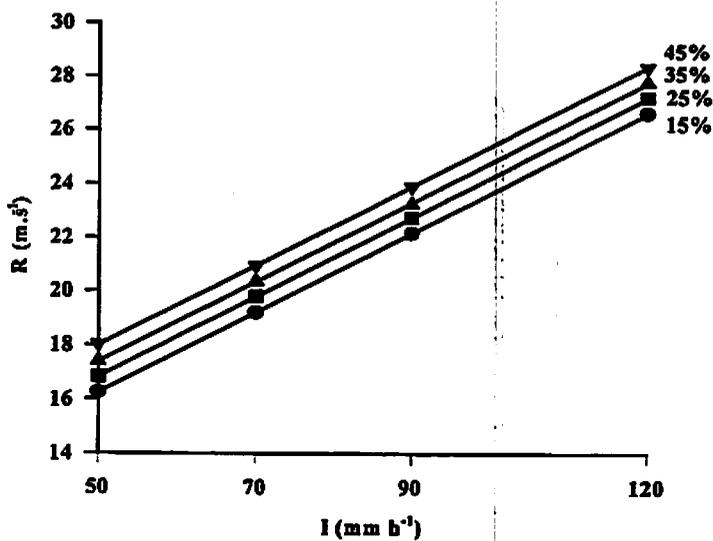


FIGURA 17. Taxa de enxurrada (R) versus intensidade de chuva (I) para o Podzólico Vermelho-Amarelo

TABELA 12. Taxas observadas de enxurrada (R) em função das declividades (D) e das intensidades das chuvas aplicadas (I) do Latossolo Roxo.

Declividade (D)	Intensidades das chuvas aplicadas (I – mm h ⁻¹)			
	50	70	90	120
Taxa de enxurrada (R x 10 ⁻⁶ – m/s).....			
15	13,1	16,2	19,5	25,8
25	10,9	15,4	20,3	23,5
35	12,8	15,5	20,4	21,9
45	10,5	12,1	14,6	18,3

[18]

$$R \times 10^6 = -2,92 + 0,466688D - 0,00668539D^2 + 0,229097I - 0,00250531DI$$

$$R^2 = 0,96$$

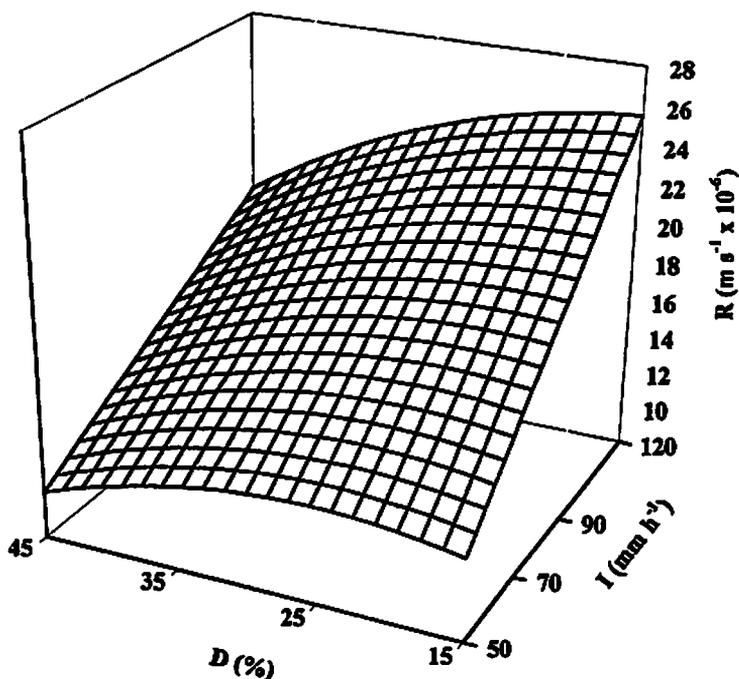


FIGURA 18. Equação de regressão para a taxa de enxurrada (R) no Latossolo Roxo em função das declividades (D) e intensidades de chuva simulada (I).

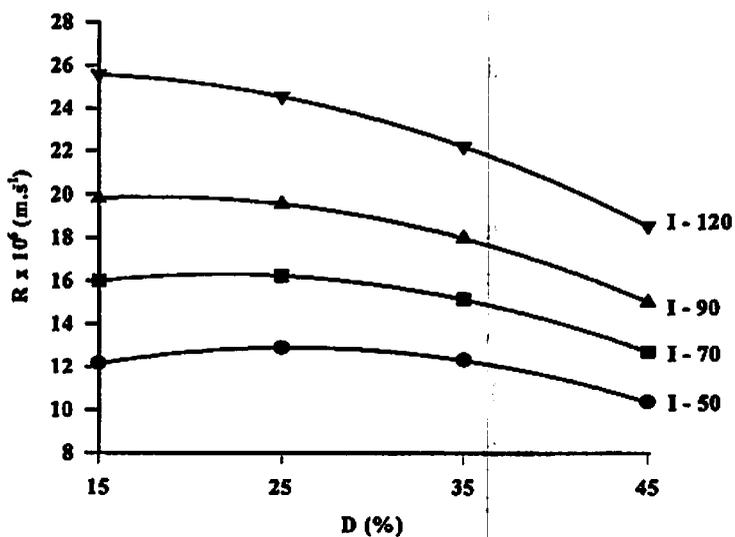


FIGURA 19. Efeito da declividade (D) na taxa de enxurrada (R) para o Latossolo Roxo

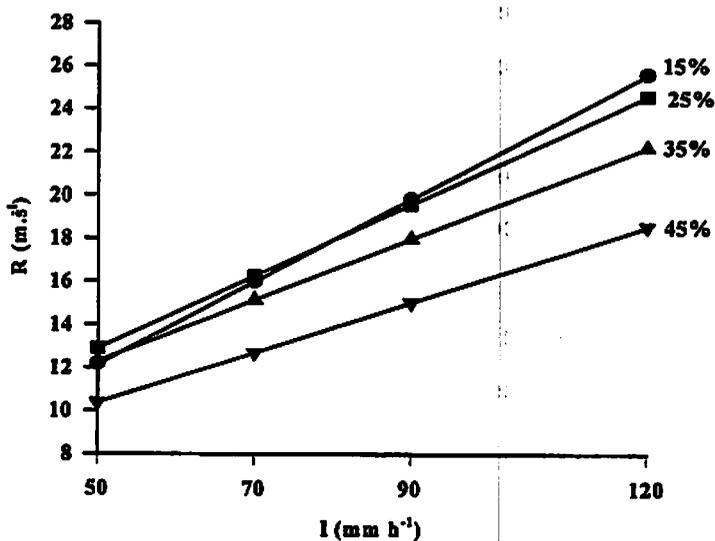


FIGURA 20. Efeito da intensidade de chuva (I) na taxa de enxurrada (R) para o Latossolo Roxo

Fixando-se o D em seu valor que apresentou as maiores R (45%), foram obtidos os valores estimados de R na ordem de 14,33; 18,17; 22,01 e 27,78 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o PE; 17,98; 20,93; 23,88 e 28,30 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o PV e 10,36; 12,69; 15,02 e 18,51 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$ para o LR.

Sendo uma variável intimamente ligada com a chuva, observa-se que não houve muita diferença do R em função da variação dos declives dos solos para os Podzólicos, ficando a taxa de enxurrada mais dependente do (I), o que se confirma pelas Figuras 13 e 16, que mostram que os valores de R dentro de um mesmo I foram praticamente constantes para o PE e aumentaram ligeiramente para o PV. Entretanto, quando se muda de I, há uma mudança de maior amplitude nos valores do R. Nota-se, entretanto, que ao fixar o D e variar as intensidades de chuvas, os valores de R para o PV apresentaram-se maiores em relação ao PE para todas as declividades, confirmando observação anterior de que a partir de declividade de 45%, as taxas Di destes Podzólicos passam a ser governadas muito mais pela ação da enxurrada do que pelos atributos a eles inerentes.

Os coeficientes dos termos das equações [16] e [17] ajustadas para os dois Podzólicos também confirmam essa observação. Os coeficientes positivos dos termos lineares D e I, respectivamente, para o PV (0,0057 e 0,1475) e PE (0,0032 e 0,1921) mostram que a intensidade de chuva (I) contribui em proporção muito maior para o incremento de R. Esses coeficientes (I) ainda foram maiores para o PE, mostrando que o R deste solo será mais sensível às mudanças deste fator do que o PV.

Pode-se observar ainda que, a cada 20 mm h^{-1} acrescidos no I, houve incrementos no R de 3,84 e 2,95 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$, respectivamente, para o PE e PV, em todos os declives até a 4ª chuva (90 mm h^{-1}) e de 5,76 e 4,42 $\text{m s}^{-1} \times 10^{-6}$,

respectivamente, para o PE e PV, em todos os declives, com o aumento de 30 mm h⁻¹ e a aplicação da 5ª chuva (120 mm h⁻¹).

O acúmulo de enxurrada (R) no PE pelos incrementos na intensidade de chuva foi maior que no PV, a exemplo do que ocorreu para o Di, permitindo inferir que, com o aumento deste acúmulo, as forças dos atributos (já mencionados anteriormente para a análise do Di) que conferem uma agregação ao PE poderão ser vencidas pela ação da chuva, passando este solo a apresentar maiores perdas entressulcos do que o PV.

O coeficiente negativo do termo da função quadrática – equação [18] - mostra que, para o LR, há uma relação inversa entre o R estimado e os incrementos no declive (D) a partir de 25% até 45% para as intensidades de 50 a 70 mm h⁻¹, sendo que para o I de 90 e 120 mm h⁻¹ a relação inversa foi para todas as declividades. Os aumentos de R para D < 25% (I = 50 a 70 mm h⁻¹) se devem à contribuição, de magnitude bem menor, do termo quadrático (D²) do polinômio.

Um acréscimo de 20 mm h⁻¹ no I ocasionou incrementos no R de 3,83; 3,32; 2,82 e 2,32 m s⁻¹ x 10⁻⁶ respectivamente para os declives de 15, 25, 35 e 45% até o I = 90 mm h⁻¹ (4ª chuva). Com o aumento de 30 mm h⁻¹ pela aplicação da 5ª chuva (120 mm h⁻¹) tais incrementos passaram a ser de 5,75; 4,99; 4,29 e 3,5 m s⁻¹ x 10⁻⁶ respectivamente, para os declives de 15, 25, 35 e 45% .

A equação [18] ajustada para o LR apresenta ainda um termo ID, mostrando que a variação no R do LR é função também de uma interação entre os fatores intensidade de chuva e declividade do solo.

4.2 Efeitos do solo, declive e intensidade de chuva de 60 mm h⁻¹ nas taxas de erosão entressulcos e nas taxas de enxurrada

A Tabela 13 apresenta a análise de variância para as taxas de enxurrada (R) e erosão entressulcos (Di), declividades (D) e intensidades de chuvas aplicadas (I) para o PE, PV e LR, respectivamente.

Pelos resultados apresentados na parte A da Tabela 13, verifica-se que, para a primeira chuva (60 mm h⁻¹), a classe dos solos foi o fator determinante para explicar o efeito do declive nos três solos, nas taxas de perdas entressulcos (Di) e enxurrada (R). Os contrastes apresentados mostram que, para o Di, as interações foram significativas a 1% de probabilidade, principalmente para o PV x LR d. D% (PV contrastado com LR em uma dada declividade) para todas as declividades (exceto 25%, que foi a 5% de probabilidade), mostrando os efeitos diferenciados destes fatores na perda por erosão entressulcos.

Entre os Podzólicos (PE x PV d. D%), as interações com as declividades foram significativas apenas para as declividades de 35 e 45%, mostrando que, até declives de 25%, o PE e PV têm comportamentos iguais nas perdas por erosão entressulcos. As interações PE x LR d. D% foram não significativas para todas as declividades, não havendo diferenças significativas entre as perdas entressulcos desses dois solos.

Observa-se, pela Tabela 5, que houve um aumento dos teores de Fe₂O₃ no sentido PV→PE→LR. e que outros atributos ligados à erodibilidade também estão sendo incrementados no mesmo sentido: a matéria orgânica (MO), volume total de poros (VTP), densidade de partículas (Dp) relacionada à capacidade de arraste das partículas, Tabelas 3 e 6, dando ao LR uma melhor estruturação e maior resistência à erosão entressulcos. Além disso, a Tabela 3 mostra que o PV tem maior quantidade de areia total para ser prontamente arrastada pela água do que os outros solos.

TABELA 13. Análise de variância para a taxa de erosão entressulcos (Di) e enxurrada (R) em função do tipo de solo, declividade e intensidade de chuva

CV	GL	Di			R		
		QM	F	Pr>F	QM	F	Pr>F
Bloco	4	217,38	7,09	0,00	10,71	2,18	0,07
Tratamento	59	700,33	22,83	0,00	124,09	25,26	0,00
Solo	2	435,17	14,19	0,00	435,17	88,59	0,00
A - Contraste para intensidade de chuva de 60 mm h⁻¹							
Adicional	(12)	858,90	28,00	0,00	160,19	32,61	0,00
PE x PV d. D15%	1	45,92	1,50	0,22 ns	9,72	1,98	0,16 ns
PE x PV d. D25%	1	4,97	0,16	0,69 ns	29,86	6,08	0,01 *
PE x PV d. D35%	1	182,24	5,94	0,02 *	9,90	2,02	0,16 ns
PE x PV d. D45%	1	198,65	6,48	0,01 *	5,07	1,03	0,31 ns
PE x LR d. D15%	1	113,43	3,70	0,06 ns	68,02	13,85	0,00 **
PE x LR d. D25%	1	84,27	2,75	0,10 ns	113,84	23,17	0,00 **
PE x LR d. D35%	1	61,60	2,01	0,16 ns	90,48	18,42	0,00 **
PE x LR d. D45%	1	39,52	1,29	0,26 ns	151,71	30,88	0,00 **
PV x LR d. D15%	1	303,71	9,90	0,00 **	26,31	5,36	0,02 *
PV x LR d. D25%	1	130,18	4,24	0,04 *	27,09	5,52	0,02 *
PV x LR d. D35%	1	455,76	14,86	0,00 **	40,52	8,25	0,00 **
PV x LR d. D45%	1	415,38	13,54	0,00 **	101,31	20,62	0,00 **
B - Superfície de resposta							
Chuva x declive: PE	(15)	696,10	22,69	0,00	135,41	27,57	0,00
Regressão	2	4877,94	159,03	0,00 **	986,96	200,92	0,00 **
Desvio	13	52,74	1,72	0,06 ns	4,40	0,90	0,56 ns
Chuva x declive:PV	(15)	569,51	18,57	0,00	81,79	16,65	0,00
Regressão	2	3,932,16	128,19	0,00 **	598,73	121,88	0,00 **
Desvio	13	52,18	1,70	0,06 ns	2,26	0,46	0,94 ns
Chuva x declive:LR	(15)	283,28	9,24	0,00	107,78	21,94	0,00
Regressão	4	930,94	30,35	0,00 **	386,17	78,61	0,00 **
Desvio	11	47,77	1,56	0,11 ns	6,54	1,33	0,21 ns
C - Contraste da intensidade de chuva de 60 mm h⁻¹ em 1 hora e as outras (15 minutos)							
PE: C60 x C50 d. D15%	1	0,48	0,48	0,02 *	15,88	3,23	0,07 ns
PE: C60 x C70 d. D15%	1	60,07	60,07	1,96 ns	11,03	2,24	0,14 ns
PE: C60 x C90 d. D15%	1	213,07	213,07	6,95 ns	44,39	9,04	0,00 **
PE: C60 x C120 d. D15%	1	1,252,83	40,84	0,00 **	292,90	59,62	0,00 **
PE: C60 x C50 d. D25%	1	0,46	0,02	0,90 ns	31,22	6,36	0,01 **
PE: C60 x C70 d. D25%	1	144,10	4,70	0,03 *	8,70	1,77	0,18 ns
PE: C60 x C90 d. D25%	1	311,03	10,14	0,00 **	139,95	28,49	0,00 **
PE: C60 x C120 d. D25%	1	1,947,98	63,50	0,00 **	375,28	76,39	0,00 **

Tabela 13. (Continuação)

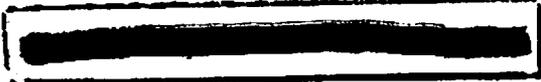
CV	GL	Di			R		
		QM	F	Pr>F	QM	F	Pr>F
PE: C60 x C50 d. D35%	1	2,88	0,09	0,76 ns	9,10	1,85	0,17 ns
PE: C60 x C70 d. D35%	1	115,87	3,78	0,05 *	10,24	2,08	0,15 ns
PE: C60 x C90 d. D35%	1	471,42	15,37	0,00 **	67,08	13,66	0,00 **
PE: C60 x C120 d. D35%	1	2,213,85	72,17	0,00 **	290,74	59,18	0,00 **
PE: C60 x C50 d. D45%	1	7,48	0,24	0,62 ns	3,75	0,76	0,38 ns
PE: C60 x C70 d. D45%	1	195,89	6,39	0,01 *	51,85	10,55	0,00 **
PE: C60 x C90 d. D45%	1	1,407,31	45,87	0,00 **	124,89	25,42	0,00 **
PE: C60 x C120 d. D45%	1	3,434,35	111,95	0,00 **	342,93	69,81	0,00 **
PV: C60 x C50 d. D15%	1	19,66	0,64	0,42 ns	1,77	0,36	0,55 ns
PV: C60 x C70 d. D15%	1	148,38	4,84	0,03 *	21,14	4,30	0,04 *
PV: C60 x C90 d. D15%	1	823,19	26,83	0,00 **	86,79	17,67	0,00 **
PV: C60 x C120 d. D15%	1	1,596,94	52,06	0,00 **	258,57	52,64	0,00 **
PV: C60 x C50 d. D25%	1	52,53	1,71	0,19 ns	0,76	0,15	0,70 ns
PV: C60 x C70 d. D25%	1	130,32	4,25	0,04 *	65,95	13,42	0,00 **
PV: C60 x C90 d. D25%	1	924,10	30,12	0,00 **	124,19	25,28	0,00 **
PV: C60 x C120 d. D25%	1	2,500,51	81,51	0,00 **	375,16	76,37	0,00 **
PV: C60 x C50 d. D35%	1	1,34	0,04	0,83 ns	4,60	0,94	0,33 ns
PV: C60 x C70 d. D35%	1	379,46	12,37	0,00 **	4,50	0,92	0,34 ns
PV: C60 x C90 d. D35%	1	782,16	25,50	0,00 **	62,25	12,67	0,00 **
PV: C60 x C120 d. D35%	1	1,915,46	62,44	0,00 **	164,43	33,47	0,00 **
PV: C60 x C50 d. D45%	1	47,87	1,56	0,21 ns	0,00	-	0,99 ns
PV: C60 x C70 d. D45%	1	533,92	17,40	0,00 **	5,60	1,14	0,29 ns
PV: C60 x C90 d. D45%	1	1,131,24	36,88	0,00 **	96,04	19,55	0,00 **
PV: C60 x C120 d. D45%	1	1,898,88	61,90	0,00 **	199,72	40,66	0,00 **
LR: C60 x C50 d. D15%	1	173,14	5,64	0,02 *	5,06	1,03	0,31 ns
LR: C60 x C70 d. D15%	1	103,30	3,37	0,07 ns	51,35	10,45	0,00 **
LR: C60 x C90 d. D15%	1	217,81	7,10	0,01 *	155,55	31,66	0,00 **
LR: C60 x C120 d. D15%	1	970,62	31,64	0,00 **	499,99	101,78	0,00 **
LR: C60 x C50 d. D25%	1	39,24	1,28	0,26 ns	7,41	1,51	0,22 ns
LR: C60 x C70 d. D25%	1	29,65	0,97	0,33 ns	98,22	19,99	0,00 **
LR: C60 x C90 d. D25%	1	519,55	16,94	0,00 **	310,92	63,29	0,00 **
LR: C60 x C120 d. D25%	1	472,11	15,39	0,00 **	516,82	105,21	0,00 **
LR: C60 x C50 d. D35%	1	199,45	6,50	0,01 *	11,26	2,29	0,13 ns
LR: C60 x C70 d. D35%	1	133,23	4,34	0,04 *	58,42	11,89	0,00 **
LR: C60 x C90 d. D35%	1	650,93	21,22	0,00 **	238,63	48,58	0,00 **
LR: C60 x C120 d. D35%	1	1,103,76	35,98	0,00 **	320,58	65,26	0,00 **
LR: C60 x C50 d. D45%	1	127,59	4,16	0,04 *	27,59	5,62	0,02 *
LR: C60 x C70 d. D45%	1	471,01	15,35	0,00 **	59,98	12,21	0,00 **
LR: C60 x C90 d. D45%	1	793,70	25,87	0,00 **	135,79	27,64	0,00 **
LR: C60 x C120 d. D45%	1	1,932,93	63,01	0,00 **	309,47	63,00	0,00 **
Resíduo	236	30,67			4,91		
Média geral		23,37			17,55		
CV (%)		23,70			12,63		

Já os teores de ADA e ADA/Argila (Tabela 3) diminuíram naquele mesmo sentido, indicando uma provável estabilidade estrutural maior dos agregados do PE e, principalmente do LR em relação ao PV, contribuindo para sua menor perda, a exemplo de Martins Filho (1999), que encontrou também uma menor relação ADA/Argila para o LR em relação a dois Latossolos Vermelho Escuros, na região de Jaboticabal-SP.

A origem dos solos estudados tem importantes implicações na sua susceptibilidade a erosão entressulcos. Os Podzólicos Vermelho-Amarelos são solos originários geralmente de rochas pobres (graníticas e gnaissicas leucocráticas), distróficos, de baixo teor de ferro, horizonte C profundo, sendo muito propensos a grandes voçorocamentos por serem bastantes susceptíveis à erosão em sulcos devido à presença de estrutura em blocos bem desenvolvida, que reduz um pouco a infiltração (Resende, 1985), o que pode ajudar a entender sua maior perda por erosão.

Para a taxa de enxurrada (R) produzida na chuva de 60 mm h^{-1} , a análise de variância apresentou-se significativa para quase todos os contrastes solos x declive, exceção feita aos dois Podzólicos nos declives de 15, 35 e 45% para os quais nos declives citados, não houve diferenças significativas na taxa de enxurrada. As diferenças verificadas no Di do PE e PV nesses casos, portanto, foram pouco influenciadas pelo R, ficando mais dependentes dos atributos e propriedades superficiais de cada solo.

Para o contraste PE x LR x D%, as interações foram significativas para todas as declividades, mostrando que houve diferenças nas taxas R, o que não foi suficiente para provocar variações significativas no Di daqueles solos. Uma explicação para isso está no fato de a intensidade desta chuva não ter sido ainda suficiente para romper as forças dos atributos do solo responsáveis pela sua agregação, principalmente aquelas dependentes do teor dos óxidos de ferro, que



conferem aos dois solos maior resistência à erosão em relação ao PV (Reichert, Norton e Huang, 1994). Já para o contraste entre PV x LR x D%, as variações significativas das taxas de enxurrada provocaram perdas também significativas por erosão entressulcos, mostrando que a intensidade de chuva foi suficiente para causar perdas diferenciadas no PV em todos os declives.

4.3 Contraste entre a chuva de 60 mm h⁻¹ e as outras chuvas aplicadas em todos os declives e solos

O efeito das chuvas aplicadas após a primeira, na taxa Di e R para os três solos e nas quatro declividades, também estão demonstrados em forma de contrastes na parte C da Tabela 13. A partir da segunda chuva esses efeitos são cumulativos.

As equações [13], [14] e [15] apresentadas nas Figuras 3, 6 e 9 também expressam a influência da primeira chuva no Di e R através de seus termos independentes para os três solos. Nota-se, pela equação [15], que para o LR (Figura 9), o termo independente da equação para o Di foi o mais alto (19,65), indicando que o efeito da primeira chuva foi mais acentuado para este solo e favoreceu suas perdas entressulcos. Entre o PV (-5,49) e o PE (-16,86), equações [14] e [13] respectivamente, o efeito se inverteu, manifestando-se maior para o PE, porém negativo, mostrando que a Di deste solo foi menos influenciada pela primeira chuva, conforme se verificou no campo (Tabelas 7, 8 e 9). Estes resultados concordam com os maiores valores dos atributos do PE (óxidos de ferro, matéria orgânica, densidade de partículas, volume total de poros) encontrados nas Tabelas 3, 5 e 6.

De modo geral, para os três solos em todos os declives testados, tanto as perdas por erosão entressulcos (Di) como a taxa de enxurrada (R), com poucas exceções, não apresentaram diferenças significativas entre a primeira chuva

(60mm h⁻¹) e as chuvas de 50 e 70 mm h⁻¹, indicando também que não ter havido influência da primeira chuva (60 mm h⁻¹) para aquelas intensidades. Somente a partir da intensidade de 90 mm h⁻¹ é que começaram a haver diferenças no Di e R para os três solos, com as correlações se revelando significativas. Nota-se, ainda, que foram nos declives de 35 e 45%, para o LR, que estas diferenças tenderam a se acentuar mais (Tabela 13). Estes resultados coincidem com observação de Singer e Blackard (1994) que relatam aumentos nas perdas de solo a partir de incrementos na declividade de 35 a 40%, o que atribuíram às condições experimentais de curtos comprimentos de rampa.

Os resultados mostram que maiores declives e maiores intensidades de chuva tenderam a aumentar as diferenças das perdas entressulcos e taxa de enxurrada para os solos estudados.

4. 4 Correlações entre erodibilidade entressulcos e atributos do solo

As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados de algumas correlações entre os valores médios de erodibilidade entressulcos (K_i) e alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos do PE, PV e LR apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Não obstante o fato da maioria desses atributos explicarem até 82% (r = 0,82) das variações nas variáveis dependentes e apenas cinco deles explicarem menos de 50% destas variações, estas correlações indicam aqueles atributos que influenciaram a erodibilidade entressulcos com maior ou menor intensidade.

Os solos estudados são originários de gnaisses granodioríticos (associação de PE com PV) e rochas ultramáficas (gabro) no caso do LR (Lacerda, 1999) o que justifica os maiores teores de areia total, crescentes no sentido LR→PE→PV, principalmente de areia fina, que apresentou crescimento significativo neste sentido.

Com relação aos atributos físicos texturais para os solos estudados a erodibilidade entressulcos correlacionou-se negativa e significativamente com o teor de argila e silte. No caso da argila, esses resultados concordam com o que foi constatado por Levy, Levin e Shainberg (1994) e Martins Filho (1999) e discordam de Bajracharya, Elliot e Lal (1992). No caso do silte, os resultados discordam dos que foram obtidos por outros autores como Meyer e Harmon (1984), Angulo (1983), Wischmeier e Mannering (1969) e Roth, Nelson e Römken (1974) em solos com textura média.

A correlação negativa com o silte pode ser explicada, em parte, para os declives acima de 35%, baseado nas observações de Singer e Blackward (1982), que atribuíram aos curtos comprimentos de rampa das parcelas um predomínio dos efeitos erosivos do fino fluxo superficial d'água sobre o impacto desagregador da gota da chuva, fazendo com que os solos de textura mais fina resistam mais às forças de cisalhamento.

Veiga, Cabeda e Reichert (1993) também encontraram correlações significativas e negativas entre o Ki e aqueles parâmetros, atribuindo, porém, aos efeitos da matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio a maior agregação e estabilidade do solo e, conseqüentemente, uma menor perda por erosão. A correlação negativa com o teor de argila está de acordo com observações de Meyer e Harmon (1984) e Wischmeier, Johnson e Cross (1971), segundo as quais a erodibilidade tende a diminuir com o aumento do teor de argila do solo, embora Heil, Juo e McInnes (1997) tenham relatado teores de argila até cinco vezes maiores em amostras de solo que apresentaram selamento superficial.

TABELA 14. Coeficientes de correlação entre erodibilidade entressulcos (Ki) e atributos físicos do solo

Atributos	Correlação com as erodibilidades entressulcos (Ki) ⁽¹⁾
Umidade antecedente – UA ⁽²⁾	-0,69**
AMG ⁽³⁾	0,81**
AG ⁽³⁾	0,64**
AM ⁽³⁾	0,75**
AF ⁽³⁾	0,74**
AMF ⁽³⁾	0,75**
Silte	-0,76**
Argila	-0,29**
R ⁽⁴⁾	0,41**
VTP ⁽⁵⁾	-0,82**
Poros bloqueados	0,75**
ADA ⁽⁶⁾	0,82**
ADA/Argila	-0,27**
Dp ⁽⁷⁾	-0,79**
Ds ⁽⁷⁾	0,82**
MiP ⁽⁸⁾	-0,80**
MaP ⁽⁸⁾	0,51**
DMG ⁽⁹⁾	-0,69**
DMP ⁽⁹⁾	-0,65**
EA ₁ ⁽¹⁰⁾	-0,65**
EA ₂ ⁽¹⁰⁾	-0,45**
EA ₃ ⁽¹⁰⁾	0,54**
EA ₄ ⁽¹⁰⁾	0,66**
EA ₅ ⁽¹⁰⁾	0,54**
EA ₆ ⁽¹⁰⁾	0,79**

(1) erodibilidade entressulcos (kg s m⁻¹); (2) umidade (%); (3) areias: muito grossa, grossa, média, fina e muito fina (g.kg⁻¹); (4) resistência à penetração (MPa); (5) volume total poros (%); (6) argila dispersa água (%); (7) densidade partículas e densidade solo (g.cm⁻³); (8) micro e macro poros (%); (9) diâmetros médios geométrico e ponderado (mm); (10) estabilidade agregados (mm); ** significativo a 1%.

TABELA 15. Coeficientes de correlação (r) entre erodibilidade entressulcos (Ki) e atributos químicos e mineralógicos do solo

Atributos	Correlação com as erodibilidades entressulcos (Ki) ⁽¹⁾
Fe _s ⁽²⁾	-0,82**
Fe _d ⁽³⁾	-0,80**
Fe _o ⁽⁴⁾	-0,78**
Al ₂ O ₃ ⁽⁵⁾	0,72**
Ct ⁽⁶⁾	0,81**
Gb ⁽⁷⁾	-0,22*
Ct/(Ct + Gb)	-0,70**
IKi ⁽⁸⁾	-0,81**
IKr ⁽⁹⁾	0,82**
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	0,79**
MO ⁽¹⁰⁾	-0,72**
P ⁽¹¹⁾	0,39**
K ⁽¹¹⁾	0,80**
Al ⁽¹²⁾	0,66**
H+Al ⁽¹³⁾	0,69**
CTC pH 7,0 ⁽¹⁴⁾	0,64**

(1) erodibilidade entressulcos (kg s m⁻¹); (2) Fe extraído ataque sulfúrico (g.kg⁻¹); (3) Fe extraído pelo ditionito citrato carbonato (g.kg⁻¹); (4) Fe extraído pelo oxalato de amônio (g.kg⁻¹); (5) óxido alumínio ataque sulfúrico (g.kg⁻¹); (6) caulinita (g.kg⁻¹); (7) gibsita (g.kg⁻¹); (8) IKi= 1,7 x (SiO₂/Al₂O₃); (9) IKr= (SiO₂/60)/[(Al₂O₃/102) + (Fe₂O₃/160)]; (10) matéria orgânica (%); (11) fósforo e potássio (ppm); (12) alumínio (cmolc kg⁻¹); (13) acidez potencial (cmolc kg⁻¹); (14) capacidade troca cátions (cmolc kg⁻¹); * e ** significativo a 5% e 1%, respectivamente.

A argila dispersa em água (ADA) correlacionou-se significativa e positivamente ($r = 0,82$) com a erodibilidade entressulcos, concordando com resultados de Wischmeier e Mannering (1969), Römken, Roth e Nelson (1977) e discordando com o relato de Martins Filho (1999), Veiga, Cabeda e Reichert (1993), Bajracharya, Elliot e Lal (1992) e Veiga (1989). A relação ADA/Argila que, segundo Martins Filho (1999), é o índice que melhor expressa a estabilidade dos agregados para os Latossolos, não demonstrou correlação direta com o Ki, apresentando-se baixa e negativa, contrariando resultados obtidos pelo mesmo autor.

As correlações do Ki com as frações areia muito grossa até a fração areia muito fina mostraram-se significativas e diretas para os solos estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Veiga, Cabeda e Reichert (1993) e por Martins Filho (1999) trabalhando com chuvas simuladas em Latossolos. Wischmeier, Johnson e Cross (1971) relatam uma tendência de aumento da erodibilidade na medida em que aumenta o teor de silte e areia muito fina e redução com o aumento de areia com diâmetro maior que 0,1mm e argila. Tal tendência pode ser confirmada, em parte, nos resultados apresentados na Tabela 3, onde se observam valores decrescentes para os teores de areia muito fina, respectivamente, para o PV, PE e LR.

Tal tendência não se observou para os teores de silte, que apresentaram correlação negativa com o Ki ($r = -0,76$), contrariando resultados de Lang et al. (1984). Porém, a maior susceptibilidade à erosão entressulcos do PV em relação ao PE e ao LR deve considerar os níveis de outros atributos do solo (Wischmeier e Mannering, 1969), tais como a ocorrência do horizonte B textural, teor de óxidos de ferro', além de ter sido observado pelos autores de que a fração de areia muito fina se comporta mais como o silte do que como outras frações da areia. A contribuição da areia no selamento do solo afetando sua taxa de infiltração,

entretanto, foi considerada muito baixa por Heil, Juo e McInnes (1997), em estudo com amostras que apresentaram selamento.

Os óxidos do ataque sulfúrico se correlacionaram significativamente com o Ki, sendo positiva para o SiO_2 e Al_2O_3 e negativa para o Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 , sendo esses últimos resultados concordantes com observações de Veiga, Cabeda e Reichert (1993), Martins Filho (1999) e Resende (1995) de que os óxidos de ferro e alumínio promovem uma cimentação das partículas primárias do solo originando agregados cuja estabilidade é regida por esses teores. No caso do Al_2O_3 e do SiO_2 , a tendência foi contrária a que é preconizada por alguns trabalhos existentes (Bennett, 1926; Roth, Nelson e Römken, 1974; Denardin, 1990; Roloff e Denardin, 1994 e Martins Filho, 1999) que os correlacionam de modo inverso às perdas de solo.

Considerando apenas os óxidos de ferro extraídos pelo DCB (Fe_d), conforme proposto por Römken, Roth e Nelson (1977) para determinação da erodibilidade, observa-se que a correlação foi inversa e significativa, com um bom coeficiente de correlação ($r = -0,80$), demonstrando que o efeito da menor susceptibilidade à perda de solo por parte do PE e LR em relação ao PV está ligada, principalmente no caso do primeiro, à ação benéfica daqueles óxidos na agregação do solo, somado à ocorrência da camada de impedimento formada pelo horizonte Bt que diminui a infiltração favorecendo o deflúvio e, conseqüentemente, a perda de solo. Heil, Juo e McInnes (1997) confirmam esses resultados, relatando uma correlação direta entre o Fe_d e a resistência do solo, o que não foi observado nesse estudo. As correlações inversas ($r = -0,80$) entre os óxidos de ferro extraídos pelo DCB (Fe_d) e os agregados maiores que 1 mm (EA_1 , EA_2) e diretas com os agregados menores que 1mm de diâmetro (EA_3 , EA_4 , EA_5 , EA_6) confirmam essas observações. Entre os agregados menores que 0,25 mm (EA_5 e EA_6), chamados de instáveis por El-Swaify e Dangler (1977), a

melhor correlação do Ki foi com aqueles menores que 0,105 mm (EA₆) que apresentaram um $r = 0,79$ ressaltando, segundo observações de Bissonais (1996), o efeito desta classe de agregados no encrostamento e selamento superficial do solo, favorecendo suas perdas entressulcos. As correlações entre as classes de agregados estáveis em água menores que 1 mm, de maneira geral se apresentaram boas e diretas, concordando em parte com observações de Falayi e Lal (1979) de que agregados menores que 2 mm favorecem a erosão.

As correlações entre o Fe_o e Fe_t foram negativas ($r = -0,78$ e $-0,82$, respectivamente) entretanto, segundo Heil, Juo e McInnes (1997) e Shadfan, Dixon e Clahoun (1985), o Fe_o não se correlacionou bem com a resistência do solo.

Os índices IKi e IKr tiveram boas correlações significativas, porém diferenciadas com a erodibilidade, sendo inversa para o primeiro ($r = -0,81$) e direta para o segundo ($r = 0,82$). Aquela primeira correlação (IKi), entretanto, vai de encontro aos resultados obtidos por Martins Filho (1999) para os Latossolos. Entretanto, a correlação do IKr e das areias ($0,64 > r < 0,81$) com o Ki parecem expressar mais adequadamente a composição mineralógica dos solos estudados, demonstrando uma diminuição no sentido PV → PE → LR e ajudando a explicar esta ordem decrescente de susceptibilidade à erosão.

As correlações entre o Ki e a Gb não apresentaram significância, concordando com resultados obtidos por Martins Filho (1999), observando-se, inclusive, a mesma tendência negativa para este parâmetro. Entretanto, as correlações entre o Ki e a Ct, Ct/(Ct + Gb) se apresentaram significativas e positivas, confirmando observações de Resende (1995) de que a natureza mais caulínica dos solos, em contraposição àquela gibsítica, favorece sua maior susceptibilidade à erosão entressulcos, pois os teores de MO e Fe₂O₃ favorecem uma maior permeabilidade pela formação de uma estrutura mais granular,

formando unidades estruturais menores e mais arredondadas (Lima, 1987 e Silva, 1994).

Pelas Tabelas 5 e 6 pode-se notar um aumento do Fe_2O_3 (Fe_t) e MO no sentido PV→PE→LR com conseqüente diminuição do Ki. Esta tendência não foi observada para o Al_2O_3 , porém, os valores estão muito próximos, além de apresentar, como já comentado, uma tendência inversa de correlação entre o Ki e o teor de Gb, inferindo-se aí que, conforme observações de autores como Wischmeier, Johnson e Cross (1971), os solos mais permeáveis são mais resistentes à erosão.

Foi observado ainda que a erodibilidade entressulcos teve uma correlação positiva e significativa com o atributo $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ($r = 0,79$). A explicação para a maior erodibilidade dos solos que têm maior teor destes óxidos, apesar do efeito benéfico destes elementos sobre a agregação, pode estar no fato de estes óxidos contribuírem, durante a secagem, para a coesão do selamento formado mas não inibirem a desagregação pelo impacto da chuva (Heil, Juo e McInnes, 1997).

No que diz respeito ao VTP, MO, MiP, DMG e DMP, houve uma correlação significativa e inversa com o Ki, sendo que para o MaP e poros bloqueados (PB) e densidade do solo (Ds) a correlação foi direta. A correlação observada para os PB ($r = 0,75$) pode explicar o resultado da correlação Ki x MaP, pela deposição das partículas menores (argila, silte, areia muito fina) obstruindo os poros e diminuindo a taxa de infiltração. A argila dispersa em água (ADA) que apresentou $r = 0,82$ com o Ki, também é um indício para esta explicação. A terceira melhor correlação do Ki foi com a Ds ($r = 0,82$), contrariando resultados de Martins Filho (1994) que não encontrou correlação entre esses parâmetros. A menor Ds indica o aumento do VTP do solo, o que favorece a sua infiltração, diminuindo sua erodibilidade, o que é comprovado pela boa correlação ($r = -0,99$) entre esses dois atributos físicos do solo. A

possibilidade de ocorrência de compactação ou maior formação de crostas, observada por Williams, Dobrowolsky e West (1995) na camada arável do PE também deve ser considerada para o menor valor de MaP em relação ao PV, o que pode ter resultado em um maior deflúvio durante as chuvas aplicadas.

Para a MO, os resultados são compatíveis com os encontrados por Meyer e Harmon (1984), Troeh, Hobbs e Danahue (1980), Bajracharia, Elliot e Lal (1992) e Martins Filho (1999), confirmando que os maiores teores de matéria orgânica dos solos, principalmente aqueles com maior teor de agregados estáveis em água, correlacionam-se negativamente com a erodibilidade entressulcos (Young e Onstad, 1978; Lima, 1987; Resende, 1985; Reichert, Veiga e Cabeda, 1993). Heil, Juo e McInnes (1997) observaram ainda que amostras de solos que apresentaram selamento, fator que irá influenciar nas suas perdas entressulcos, tiveram menores teores de MO do que aquelas amostras que não apresentaram selamento. Vale observar ainda que os teores de MO dos solos estudados estão abaixo do valor crítico estabelecido por Wischmeier e Mannering (1969), acima dos quais o seu efeito sobre a perda de solo torna-se inverso.

A correlação significativa e negativa entre o K_i e o DMG e o DMP está associada à capacidade de arraste do deflúvio. Tais correlações ($r = -0,69$ para o DMG e $r = -0,65$ para o DMP) foram um pouco maiores do que as encontradas por Martins Filho (1999) para os Latossolos. O maior diâmetro das partículas do PV (Tabela 4) pode também ser um dos fatores responsáveis pela já comentada tendência de inversão do K_i verificada aos 120 minutos de chuva entre os Podzólicos. Os valores encontrados para o DMG e DMP para o LR foram, respectivamente, 3,1076 e 4,0442 mm (Tabela 4), sendo este último bem próximo ao determinado por Martins Filho (1999). Estes valores confirmam ainda relato de Bissonnais (1996), segundo o qual, considerando-se a estabilidade dos agregados em água e sua resistência ao impacto das gotas de chuva, solos com

DMG maior que 2 mm são muito estáveis, não encroscam e são resistentes à erosão.

As correlações entre a MO e o DMG ($r = 0,48$) e DMP ($r = 0,41$) que, segundo Bajracharya, Elliot e Lal (1992), refletem a relação entre a matéria orgânica e a agregação do solo, embora tenham se apresentado baixas, foram positivas, mostrando a ação desempenhada pela MO na formação de agregados maiores e mais estáveis em água, correlacionando-se negativamente com o Ki conforme observado por Veiga, Cabeda e Reichert (1992), Bajracharya, Elliot e Lal (1992) e Martins Filho (1999). Entretanto, as maiores correlações entre os óxidos de ferro: Fe_2 ($r=0,84/0,79$), Fe_3 ($r=0,97/0,95$) e Fe_4 ($r = 0,94/0,91$) com o DMG e DMP, respectivamente, apontam serem esses os atributos responsáveis pela maior agregação do solo favorecendo sua infiltração.

Entre os Podzólicos, o solo com maior grau de intemperismo (PV) apresentou maior susceptibilidade à erosão entressulcos (Ki), contrariando Albuquerque e Cassol (1997) e Martins Filho (1999) e mostrando que o comportamento pode ser diferenciado em função da existência do horizonte Bt que afetará a taxa de infiltração, levando a crer que, neste caso, a expressiva diferença do teor de óxidos de ferro verificada em favor do PE é que governará a sua taxa de perda entressulcos, por meio do aumento da sua taxa de infiltração, pelo menos até o final da última chuva, quando a maior estabilidade em água dos agregados maiores que 1 mm (EA_1 e EA_2) do PV passa a governar aquelas perdas. Logo, a correlação com esses agregados estáveis em água se mostrou negativa e significativa, enquanto para os agregados maiores que 1 mm (EA_3 , EA_4 , EA_5 , EA_6) essa correlação, além de significativa, foi direta, principalmente para o EA_6 ($< 0,105$ mm) cujo coeficiente r foi de 0,79. Já os agregados < 25 mm (EA_5) que tiveram a melhor correlação com a erodibilidade, encontrados por El-

Swaify e Dangler (1977), foram os que tiveram a terceira melhor correlação ($r = 0,54$), precedidos do EA₄(0,5-0,25 mm) com o $r = 0,66$.

A correlação entre o Ki e a resistência à penetração (RP) se apresentou significativa e direta, ao contrário de resultados existentes na literatura que as correlacionam inversamente (Al-Durrah e Bradford, 1981; Watson e Laflen, 1986 e Martins Filho, 1994). Entretanto, o aumento da umidade do solo diminui a resistência à penetração (Pereira, 1989; Martins Filho, 1994; Dias Júnior, 1994), podendo ser esta a razão do menor RP (3,861 MPa) para o PV (19% de umidade) em comparação ao maior RP (5,743 MPa) do PE (17% de umidade) (Tabela 1, Anexo F). A correlação inversa ($r = -0,79$) encontrada entre o RP e a umidade antecedente do solo (UA) confirma essa observação. O LR apresentou a menor resistência à penetração (1,812 MPa – dentro do intervalo de valores encontrados para este solo por Martins, 1999) e teve o menor Ki, favorecido por outros fatores, já comentados, que aumentam sua taxa de infiltração, além da maior umidade atual, durante o teste de resistência à penetração (32%) (Tabela 1, Anexo F). As melhores correlações do RP foram com os agregados estáveis em água menores que 1 mm (EA₃, EA₄, EA₅, EA₆) com $r = 0,98$; $0,91$; $0,98$ e $0,71$, respectivamente, com o DMG ($r = -0,89$), DMP ($r = -0,92$) e com Ct/(Ct+Gb) ($r = -0,88$), mostram que a influência desses atributos na infiltração e na força de arraste das partículas do solo é decisiva na magnitude do Ki, o que foi também observado por Watson e Laflen (1986). Chama a atenção também a alta correlação RP x SiO₂ ($r = 0,99$), sugerindo que, a exemplo do relatado por Uehara e Jones (1974) citados por Heil, Juo e McInnes (1997), a sílica pode ser um agente cimentante expressivo em solos das regiões mais quentes, contribuindo para a formação do selamento superficial.

A umidade antecedente do solo (UA) apresentou uma correlação negativa com o Ki ($p < 0,01$), a exemplo do observado por Ghidry e Alberts (1994) e

Martins Filho (1999), contrariando a maioria dos trabalhos existentes na literatura, que têm relatado uma correlação direta entre estes parâmetros e Lang et al. (1984) que não encontraram influência da UA na erosão entressulcos. Martins Filho (1999) justificou este resultado baseado em Ghidry e Alberts (1994) que o atribuíram à formação do selamento superficial e ao aumento da resistência do solo ao cisalhamento causados pelas chuvas aplicadas. No caso dos solos estudados, verificou-se pouca variação de MO e um decréscimo dos agregados estáveis em água menores que 1 mm (EA₃, EA₄, EA₅ e EA₆) no sentido PE→PV→LR, mostrando que, entre os Podzólicos, esta ocorrência, aliada à diminuição dos valores de ADA/Argila pode sobrepujar o efeito direto da umidade antecedente no Ki daqueles solos, justificando a maior erodibilidade do PV e contribuindo também junto com os outros fatores como a Ds, que apresentou boa correlação ($r = -0,88$) com a UA, para a menor erodibilidade do LR (maior teor de ADA e agregados estáveis em água), não obstante sua maior umidade antecedente às chuvas aplicadas.

Para os atributos de fertilidade do solo as correlações com o Ki foram significativas, porém baixas em sua maioria (Tabela 15). Os atributos que melhor se correlacionaram foram os teores de K ($r = 0,80$) seguidos do H+Al ($r=0,69$), Al ($r =0,66$) e CTC ($r = 0,64$), contrariando Meyer e Harmon (1984) que encontraram correlações inversas para todos os atributos da fertilidade. Não houve, portanto, para os solos estudados, indícios de que uma melhor fertilidade do solo esteja associada a uma menor perda por erosão entressulcos, mostrando que esse atributo, isoladamente, não é suficiente para explicar tal susceptibilidade.

4.5 Determinação das erodibilidades entressulcos (K_i)

A determinação experimental das erodibilidades entressulcos (K_i) foi feita utilizando-se os valores da taxa média de erosão entressulcos (D_i), taxa média de enxurrada (R), intensidade de chuva (I) e efeito do grau de declive (S_f) para o qual se usou a equação [12] proposta por Liebenow et al. (1990) :

$$K_i = D_i / (I^2 S_f) \quad [12]$$

Nota-se, pelas comparações dos valores médios do K_i apresentadas na Tabela 16, que o PV é o solo mais susceptível à erosão entressulcos, seguido do PE e LR, respectivamente. As diferenças foram não significativas entre os solos para os valores de K_i , pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, apenas para a chuva de 120 mm h⁻¹ (5ª chuva) sendo que o PV sempre apresentou os valores médios de K_i superiores aos dos outros dois solos. Martins Filho (1999) encontrou diferenças significativas para as chuvas de 62,4 e 98,6 mm h⁻¹ (1ª e 4ª chuvas) para Latossolos na região de Jaboticabal-SP.

Os resultados da Tabela 16 mostram, ainda, que os K_i , das chuvas de 90 e 120 mm h⁻¹ (4ª e 5ª chuvas) não diferiram do K_i da chuva de 60 mm h⁻¹ (1ª chuva) para o PE e LR, portanto, para estes solos, a erodibilidade entressulcos no fim da 5ª chuva tende a se igualar aos valores da 1ª chuva. Isto não ocorreu para o PV, devido, talvez, à sua grande disponibilidade de material (areia) prontamente disponível para o arraste pelo fluxo superficial (Tabela 3).

Pode-se ainda observar que, para a chuva de 50 mm h⁻¹ (2ª chuva), os solos apresentaram valores de K_i superiores em relação às demais. Considerando-se este fato, para melhorar os coeficientes de correlação das equações de regressão para cada solo, optou-se por eliminá-la do cômputo para a determinação do comportamento do K_i estimado.

TABELA 16. Valores médios observados de erodibilidades entressulcos (Ki) para os três solos estudados.

Intensidade de chuva mm.h ⁻¹	Solos		
	PE	PV	LR
Ki x 10 ⁵ (kg s m ⁻⁴).....		
60,0	3,836 Bc	6,159 Ab	2,636 Bc
50,0	6,200 Ba	11,046 Aa	5,646 Ba
70,0	5,290 Aa	6,432 Ab	3,463 Bb
90,0	4,380 ABc	5,133 Abc	2,960 Bbc
120,0	3,693 Ac	3,766 Ac	2,194 Ac
MÉDIAS	4,67	6,85	3,38

Ki = erodibilidade entressulcos médias em kg s m⁻⁴. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

As equações de regressão [19], [20] e [21] ajustadas aos valores de Ki e dos tempos de aplicação das chuvas podem ser vistas na Figura 21. Derivando-se as equações para cada curva (Braidá, 1994), foram encontrados os valores estimados das erodibilidades entressulcos para cada solo estudado (Tabela 17). Os tempos em que ocorreram os valores máximos da erodibilidade entressulcos para os três solos foram equivalentes à intensidades de chuvas entre 50 e 70 mm h⁻¹, indicando o caráter inerente ao solo que o Ki apresenta em detrimento da intensidade de chuva aplicada.

A ordem de grandeza dos valores encontrados para os Podzólicos (Ki x 10⁵), se mostra menor que a dos resultados obtidos por Rockenbach (1992), Braidá e Cassol (1996) em Podzólicos do Rio Grande do Sul (Ki x 10⁶). Para o Latossolo, a ordem de grandeza encontrada para o Ki foi inferior àquela estimada indiretamente por Angulo Filho, Elliot e Dechen (1990) – Ki x 10⁶ – porém, concorda com valor obtido por Martins Filho (1994) para Latossolo Vermelho Escuro da região de Jaboticabal-SP (Ki x 10⁵), não obstante algumas

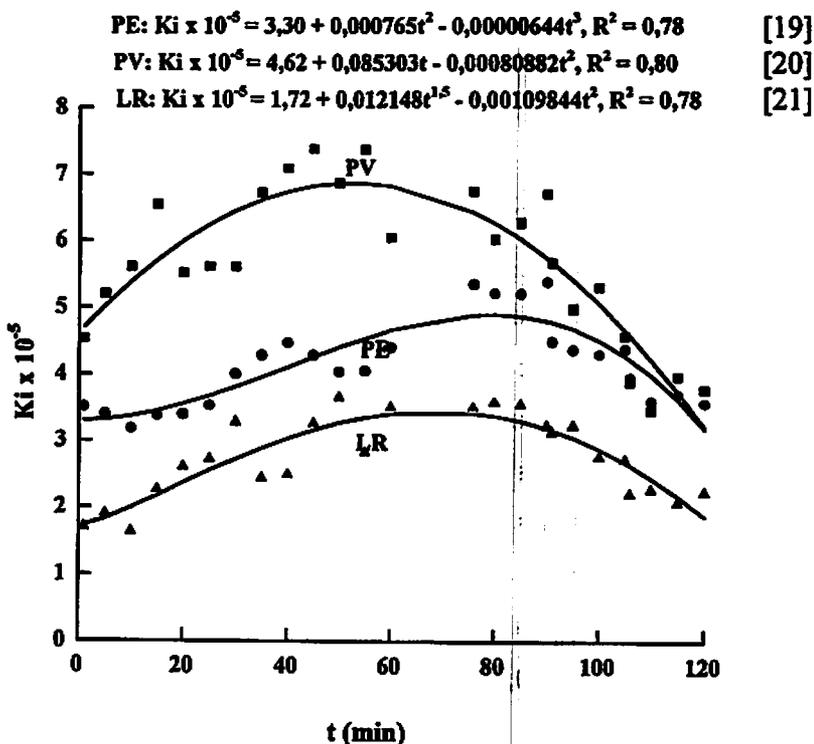


FIGURA 21. Curvas de erodibilidade entressulcos (K_i) versus o tempo (t) de aplicação das chuvas para o PE, PV e LR.

TABELA 17. Valores de erodibilidade entressulcos (K_i) estimados e intensidades de chuva equivalentes para os três solos estudados em função do tempo de aplicação das quatro intensidades de chuva simulada

Tipo de solo	Tempo de chuva simulada	Intensidade equivalente	$K_i \times 10^5$
	min	mm h ⁻¹	kg s m ⁻⁴
PE	79,23	70	4,89
PV	52,73	60	6,86
LR	61,45	50	3,42

considerações levantadas por Martins Filho (1999) também fossem válidas no presente trabalho.

Os dados foram obtidos em períodos de clima úmido e chuvas esparsas, condições que propiciam o ciclo de secagem e umedecimento do solo, favorecendo o surgimento de selamento superficial (Römken, Prasad e Parlange, 1990) que irá influenciar a taxa de infiltração/deflúvio aumentando as perdas por erosão entressulcos. Esse fato, aliado às diferenças geográficas e gênese dos solos, pode ajudar explicar a maior erodibilidade encontrada para o Ki em relação àqueles autores.

Além disso, Martins Filho (1999) utilizou a taxa R (enxurrada) - equação [7] e a equação [6] do efeito de declive (S_f) já ajustada para as suas condições locais e, no presente trabalho, a exemplo de Braida e Cassol (1996) e Martins Filho (1994), utilizou-se a equação [12] proposta por Liebenow et al. (1990).

A Figura 21 confirma, ainda, a hipótese da tendência de inversão dos valores da erodibilidade entre os solos Podzólicos a partir do final da última chuva (120 mm h^{-1}), sugerindo que, uma vez instalado o processo erosivo no PE com a destruição das forças que unem e cimentam os agregados, ele se torna mais vulnerável ao arrastamento das partículas pelo seu maior grau de arredondamento (Resende, 1995), passando as forças de resistência a erosão a serem governadas por outros fatores que propiciarão ao PV menores índices de erodibilidade.

As variações máximas, médias e mínimas do Ki para os três solos ao longo das chuvas aplicadas podem ser vistas na Figura 22. Observa-se que as maiores variações do Ki se mostraram no sentido PV→PE→LR com ênfase especial para a segunda chuva (50 mm h^{-1}), que apresentou as maiores variações dentro de todos os solos.

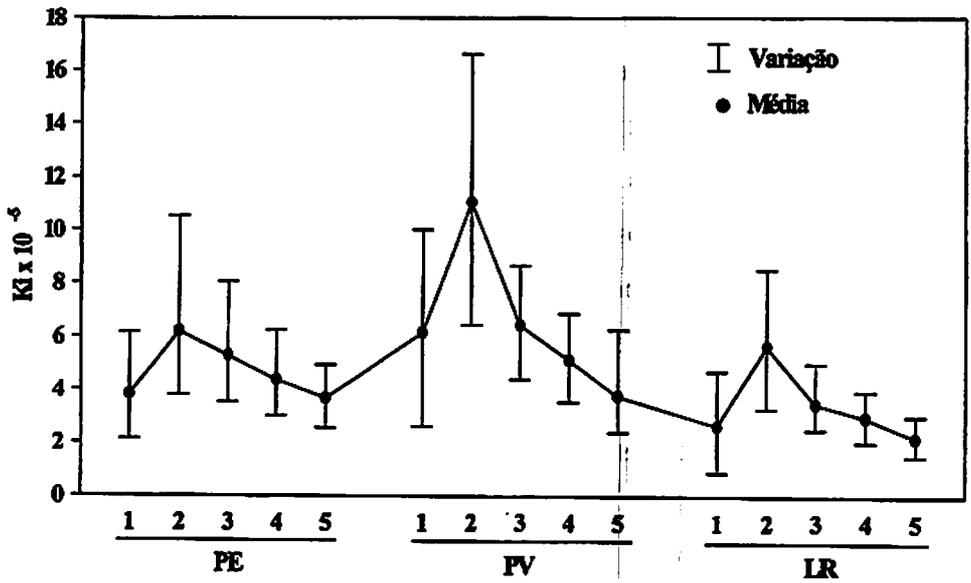


FIGURA 22. Variações máximas, médias e mínimas da erodibilidade entressulcos (Ki) para os solos estudados e chuvas aplicadas (1- 60 mm h⁻¹; 2- 50 mm h⁻¹; 3- 70 mm h⁻¹; 4- 90 mm h⁻¹; 5- 120 mm h⁻¹)

5 CONCLUSÕES

As erodibilidades entressulcos determinadas foram: $4,67 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ no PE; $6,85 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ no PV e $3,38 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$ no LR.

Os atributos dos solos que mais influenciaram os valores de suas erodibilidades entressulcos foram os óxidos de ferro (Fe_s , Fe_o e Fe_d), teor de caulinita (Ct), argila dispersa em água (ADA), volume total de poros (VTP), densidade do solo (D_s) e de partículas (D_p) e agregados estáveis em água $< 0,105 \text{ mm}$ (EA_6).

Nos Podzólicos, as taxas de erosão entressulcos (D_i) e de enxurrada (R) foram mais dependentes da intensidade de chuva aplicada (I) do que pela declividade do solo ($D\%$).

No Latossolo Roxo, a partir da declividade de 15%, a taxa de erosão entressulcos (D_i) foi mais dependente das suas declividades ($D\%$) do que da intensidade das chuvas aplicadas (I), a exemplo da taxa de enxurrada (R) para todos os declives testados.

Estas conclusões são válidas apenas para os solos estudados da região de Lavras-MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M.I.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, n.5, p.848-851, Sept./Oct. 1981.
- AL DURRAH, M.; BRADFORD, J.M. The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1086-1090, 1982.
- AL DURRAH, M.; BRADFORD, J.M. New methods of studying soil detachment due waterdrop impact. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, n.5, p.949-953, Sept./Oct. 1981.
- ALBERT, E.E.; LAFLEN, L.M.; RAWLS, W.J.; SIMANTON, J.R.; NEARING, M.A. In: LANE, L.J.; NEARING, M.A. (ed.). **Water erosion prediction project : hillslope profile model documentation**. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA - Agricultural Research Service, 1989. p.6.1-6.15. (NSERL. Report, 2).
- ALBERT, E.E.; WENDT, R.C. Influence of soybean and corn cropping on soil aggregate size and stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.6, p.1534-1537, Nov./Dec. 1985.
- ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A. Índices de estabilidade de agregados para estimar a erodibilidade entressulcos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1994. p.1-5.
- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; HOLT, R.R. Plow-layer and surface roughness from tillage as effect by initial porosity and soil moisture at tillage time. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, n.4, p.550-556, July/Aug. 1967.
- ANDRADE, H.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C.; ESTEVES, D.R.; RESENDE, R.J.T.P.; ROSA, E.R. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados georreferenciados do meio físico: III - Estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1988, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, 1998, v.4, p.356.

- ANGULO, J.R. Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros. Curitiba : UFPR, 1983. 154p (Dissertação - Mestrado).**
- ANGULO FILHO, R.; ELLIOT, W.J.; DECHEN, S.C.F. Erosion prediction for Brazil with the WEPP model. St Joseph: ASAE, 1990. 9p. (ASAE. Paper, 908514).**
- ARSHAD, M.A. MERMUT, A.R. Micromorphological and physio-chemical characteristics of soil crust types in northwestern Alberta, Canada. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.52, n.3, p.724-729, May/June 1988.**
- BAJRACHARYA, R.M.; ELLIOT, W.J.; LAL, R. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, n.1, p.267-272, Jan./Feb.1992.**
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R.; BURTIN, G. Aggregation in soil with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability. Journal of Soil Science, Oxford, v.39, p.593-616, 1988.**
- BATHKE, G.R.; BLAKE, G.R. Effects of soybeans on soil properties related to soil erodibility. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.48, n.6, p.1398-1401, Nov./Dec.1984.**
- BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I. Clay, calcium carbonate, and sodium polymethaphosphate interactions in soil seal formation. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.53, n.2, p.242-247, Mar./Apr.1989.**
- BENNETT, H.H. Some comparisons of the properties of humid tropical temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. Soil Science, Baltimore, v.21, p.349-375, 1926.**
- BISSONNAIS, Y.L. Aggregate stability and assesment of soil crustability and erodibility: I. theory and methodology. European Journal of Soil Science, Oxford, v.47, n.4, p. 425-437, Dec. 1996.**
- BISSONNAIS, Y.L.; BRUAND, A.; JAMAGNE, N. Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregates breakdown mechanisms and crust structure. Catena, Amsterdan, v.16, p. 377-392, 1989.**

- BISSONNAIS, Y.L.; SINGER, M.J. Seal formation, runoff, and interrill erosion from seventeen California soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, n.1, p.224-229, Jan./Feb.1993.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In : KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Madison : American Society of Agronomy, 1986a. part 1, cap 13, p. 363-376. (ASA, Agronomy, 9).
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Particle density. In : KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p. 377-382.
- BRADFORD, J.M.; FERRIS, J.E.; REMLEY, P.A. Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff and soil splash detachment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.6, p.1566-1571, Nov./Dec. 1987.
- BRADFORD, J.M.; FOSTER, G.R. Interrill erosion and slope steepness factors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.3, p.909-915, May/June 1996.
- BRADFORD, J.M.; HUANG, C. Mechanism of crust formation : physical components. In: SUMNER, M.E. ; STEWART, B.A. (eds.). **Soil crusting: chemical and physical processes**. Boca raton: Lewis Publication, 1992. p.55-72.
- BRAIDA J.A. **Relações da erosão entressulcos, com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em solo Podzólico Vermelho-Escuro**. Porto Alegre, 1994. 152p.(Dissertação – Mestrado em Ciência do Solo).
- BRYAN, R.B. The influence of slope angle on soil entrainment by sheetwash and rainsplash. **Earth Surface Processy**, Chichester, n.4, p. 43-58, 1979.
- BUBENZER, G.D.; JONES, B.A. Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.14, n.4, p.625-628, July/Aug.1971.
- BURROUGHS, E.R.; LUCE, C.H.; PHILIPS, F. Estimating interrill erodibility of forest soils. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.35, n.5, p.1489-1495, Sept-Oct. 1992.

- BURWELL, R.E.; ALLMARAS, R.R.; SLONEKER, L.L. Structural alteration of soil surface by tillage and rainfall. *Journal of Soil and Water Conservation*, Baltimore, v.21, n.2, p.61-63, 1966.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. I períodos mensais. *Ciência e Prática*, Lavras, v.5, n.2, p.144-145, jul/dez. 1981.
- CHAVES, H.M. **Influence of incorporated crop residue on interrill erosion.** West Lafayette: Purdue University, 143 p. (Thesis MSc.) 1987.
- CHEN, Y.; TARCHITZKY, J.; BROUWER, J.; MORIN, J.; BANIN, A. Scanning electron microscope observations on soil crust and their formation. *Soil Science*, Baltimore, v.130, n.1, p.49-55, July 1980.
- COLE, M.M. Cerrado, Caatinga and Pautand the distribution and origin of the Savanna vegetation of Brazil. *The Geographical Journal*, London, v.126, p.168-179, 1960.
- CRUSE, R.M.; LARSON, W.E. Effect of soil shear strength on soil detachment due to raindrop impact. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.41, N.4, p.777-781, July/Aug. 1977.
- DANIELSON, R.E.; SHUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soli analysis.** 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p. 443-461.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK C.A. (ed). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p. 545-566.
- DENARDIN, J.E.; **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 113 p. (Tese Doutorado em Conservação do Solo).
- DIAS JÚNIOR, M. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic.** Michigan: Michigan State University, 1995. 114 p. (Tese de Doutorado).
- DULEY, F.L. Surface factors affecting rate of intake of water. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.4, p.60-64, 1939.

- EISENHAUER, D.E; HEERMAN, D. F.; KLUTE, A. Surface sealing effects on infiltration with surface irrigation. *Transaction of the ASAE, St. Joseph*, v. 35, n.6, p.1799-1807, Nov./Dec. 1992
- EKERN, P.P. Raindrop impact as the force initiating soil erosion. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, v. 15, p. 7-10, 1950.
- ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLEN, J.M.; KOHL, K.D. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 & 88. Ohio: Ohio State University/USDA Agricultural Research Service, 1989. p.A2-A25/B1-B291, (NSERL. Report, 3).
- ELLISON, W.D. Soil detachment and transportation. *Soil Conservation*, Washington, v.11, n.8, p.179-190, 1946
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.28, n.5, p. 197-201, May 1947.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hidrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, 1976, West Lafayette. *Proceedings...* Ankeny: SWCS, 1977. p. 105
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FALAYI, O.; LAL, R. Effect of aggregate size and mulching on erodibility, crusting and crop emergenc. In : LAL, R.; GREENLAND, D.J.(ed). *Soil physical properties and crop production in the tropics*. New York: J. Wiley and Sons, 1979. c. 2.4, p. 88-93.
- FARMER, E.E.; VAN HAVEREN, B.P. Soil erosion by overland flow and raindrop splash on three mountain soils. *USDA-FS Research Paper INT-100*, 14 p. 1971.
- FATTAH, H.A.; UPADHYAYA, S.K. Effect of soil crus and soil compactation on infiltration in Yolo loam soil. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, v.39, n.1, p.79-84, Jan./Feb. 1996.

- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N.** Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.23, n.3, p. 215-224, jul./set. 1999.
- FERRY, D.M.; OLSEN, R.A.** Orientation of clay particles as it relates to crusting of soil. *Soil Science*, Baltimore, v.120, n.5, p.367-375, Nov.1975.
- FORMANEK, G.E.; McCOOL, D.K.; PAPENDICK, R.I.** Freeze-thaw and consolidation effects on strength of a wet silt loam. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.6, p. 1749-1752, Nov./Dec. 1984.
- FOSTER, G.R.** Modeling the erosion process. In : HAAN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p.297-380.
- FOSTER, G.R.; MEYER, L.D.; ONSTAD, C.A.** A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Transactions of the ASAE*, v.20, p.683-687, 1977.
- FREEBAIRN, D.M.; GUPTA, S.C.; ONSTAD, C.A.; RAWLS, W.J.** Antecedent rainfall and tillage effects upon infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.4, p.1183-1189, July/Aug.1989.
- GAL, M.; ARCAN, L.; SHAINBERG, I.; KEREN, R.** Effect of exchangeable sodium and phosphogypsum on crust structure-scanning electron microscope observations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, n.4, p.872-878, July/Aug. 1984.
- GHIDEY, F.; ALBERTS E.E.** Interrill erodibility affected by cropping systems and initial soil water content. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.6, p.1809-1815, Nov./Dec. 1994.
- GOFF, B.F.; BENT, G.C.; HART, G.E.** Influence of rainfall intensity on the interrill erodibility of two rangelands soils. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.5, p.1445-1448, Sept./Oct. 1994.
- GROHMAN, F.** Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, 1960.

- GROSH, J.L.; JARRET, A.R. Interrill erosion and runoff on very steep slopes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.37, n.4, p. 1127-1133, July/Aug. 1994.
- GUY, B.T.; DICKINSON, W.T.; RUDRA, R.P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. **Transactions of the ASAE**, v.30, n.5, p. 1378-1386, Sept-Oct. 1987.
- HAHN D.T.; MOLDENHAUER, W.C.; ROTH, C.B. Slope gradient effect of erosion of reclaimed soil. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.3, p.805-808, May/June 1985.
- HARMON, W.; MEYER, L.D. Cover, slope and rain intensity affect interrill erosion. **Proceedings... MS Water Resources Conference**, 1978. p. 9-16.
- HARRIS, R.F.; CHESTER, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, p. 107-169, 1966.
- HEIL, J.W.; JUO, A.S.R.; McINNES, K. Soil properties influencing surface sealing of some sandy soils in the Sahel. **Soil Science**, Baltimore, v.162, n.7, p. 459-469, July 1997.
- HELMING, K.; RÖMKENS, M.J.M.; PRASAD, S.N. Surface Roughness related processes of runoff and soil loss : a flume study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, n.1, p. 243-250, Jan./Feb. 1998.
- HOOGMOED, W.B. e STROOSNIJDER, L. Crust formation on sandy soils in Sahel. Rainfall and infiltration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.4, p.5-23, 1984.
- HUANG.C. Sediment regimes under different slope and surface hydrologic conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, n.2, p. 423-430, Mar./Apr. 1998.
- HUANG, C.; BRADFORD,J.M.; CUSHMAN, J.H. A numerical study of raindrop impact phenomena: the rigid case. **Soil Science society of America Journal**, Madison, v.46, n.1, p.14-19, Jan./Feb. 1982.
- HUSSEIN, M.H; LAFLEN, J.M. Effects of crops canopy and residue on rill and interrill soil erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.25, n.5, p. 1310-1315, Sept./Oct. 1982.

- JOHNSON, C.B.; MOLDENHAUER, W.C.** Effect of chisel versus moldboard plowing on soil erosion by water. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.43, n.1, p.177-179, Jan./Feb. 1979.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.** Aggregate stability and size distribution. In: **KLUTE, A.** *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, cap. 17, p. 425-478. (ASA, Agronomy, 9).
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.** Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Science of America Journal*, Madison, v.48, n.5, p.1001-1008, Sep./Oct. 1984.
- KINNELL, P.I.A; CUMMINGS, D.** Soil slope gradient interactions in erosion by rain-impact flow. *Transaction of the ASAE*, St Joseph, v.36, n.2, p.381-387, Mar./Apr. 1993.
- LACERDA, M.P.C.** *Correlação geo-pedológica em solos B-texturais na região de Lavras-MG*. Lavras: UFLA, 1999. 257 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- LAFLEN, J.M.; THOMAS, A.W.; WELCH, R.** Cropland experiments for the WEPP project. St. Joseph: ASAE, 1987.14p. (ASAE Paper, 87-2544).
- LANG, K J.; PRUNTY, L. SCHROEDER, S.A.; DISRUD L.A.** Interrill erosion as na index of mined land soil erodibility. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.1, p. 99-104, Jan./Feb. 1984.
- LATTANZI, A.R.D.; MEYER, L.D.; BAUMGARDNER, M.F.** Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.38, n.6, p.946-950, Nov./Dec. 1974.
- LEVY, G.J. ; LEVIN, J.; SHAINBERG, I.** Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, n.1, p.203-209, Jan./Feb. 1994.
- LEVY, G.J.; SHAINBERG, I.; MORIN, J.** Factors affecting the stability of soil crust in subsequent storms. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.1, p.196-201, Jan./Feb. 1986.
- LIEBENOW, A.M.; ELLIOT, W.J.; LAFLEN, J.M.; KOHL, K.D.** Interrill erodibility: collection and analysis of data from croplands soils.

- Transactions of the ASAE , St. Joseph, v.33, n.6, p. 1882-1888, Nov./Dec. 1990.
- LIMA, J.M. **Relation between phosphate sorption and aggregation on oxisols from Brazil.** Michigan: Michigan State University, 1995. 87 p. (Doutorado – Crop and Soil Sciences).
- LIMA, P.M.P. **Perdas de solo e água em dois Latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada.** Lavras: ESAL, 1987. 88p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- LINE, D.E. e MEYER, L.D. Evaluating interrill and rill erodibilities for soils of different textures. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.6, p. 1995-1999, Nov/Dec. 1989.
- MARTINS, S.G. **Indicadores da qualidade estrutural do Latossolo Roxo em três povoamentos florestais e mata nativa no sul de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 1999. 32p. (Monografia – Graduação em Engenharia Florestal).
- MARTINS FILHO, M.V. **Erodibilidade inter e intra-sulcos dum Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região de Jaboticabal-SP.** Piracicaba: ESALQ, 1994. 143 p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARTINS FILHO, M.V. **Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade.** Jaboticabal : FCAV, 1987. 95 p. (Trabalho – Graduação em Agronomia).
- MARTINS FILHO, M.V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal-SP** Lavras: UFLA, 1999.140p.(Tese–Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- McINTYRE, D.S. The effect of free ferric oxide on the structure of some terra rossa and rendzina soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.7, p. 317–327, 1956.
- MEYER, L.D. How rain intensity affects interrill erosion. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.24, n.6, p.1472-1475, Nov./Dec. 1981.

- MEYER, L.D.; FOSTER G.R.; NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.18, n.5, p.905-911, sep./Oct. 1975.
- MEYER, L.D.; HARMON, W.C. Interrill runoff and erosion: effects of row-sideslope shape, rain energy and rain intensity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.4, p. 1199-1203, July/Aug. 1992.
- MEYER, L.D.; HARMON, W.C. How row-sideslope length and steepness affect sideslope erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.2, p.639-644, Mar./Apr. 1989.
- MEYER, L.D.; HARMON, W.C. Susceptibility of agricultural soil to interrill erosion. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.5, p.1152-1157, Sept./Oct. 1984.
- MEYER, L.D.; WISCHMEIER, W.H. Mathematical simulations of the process of the soil erosion by water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.12, n.6, p.754-758, Nov./Dec. 1969.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.J. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v.3, p.317-327, 1960.
- MIDDLETON, H.E. **Properties of soils which influence soil erosion**. Washington: USDA, 1930, 16p.(Technical Bulletin, 178).
- MILLER, W.P. Infiltration and soil loss of three gypsum-amended Ultisols under simulated rainfall. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.5, p.1314-1320, Sept./Oct. 1987.
- MILLER, W.P.; SCIFRES, J. Effect of sodium nitrate and gypsum on infiltration and erosion a highly weathered soil. **Soil Science**, Baltimore, v.145, n.4, p.304-309, Oct. 1988.
- MOLDENHAUER, W.C.; LONG, D.C. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: I. Effect over a range of texture. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.28, p.541-546, 1964.
- MOORE, D.C.; SINGER, M.J. Crust formation effects on soil erosion processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.4, p.1117-1123, July./Aug. 1990.

- MUALEN, Y; ASSOULINE, S.; RHODENBURG, H. Rainfall induced soil seal. (A) A critical review of observations and models. *Catena*, Amsterdam, v.17, p. 185-203, 1990.
- MUGGLER, C.C. Poligenetic Oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil: soil and landscape development. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1998. 186 p. (Tese Doutorado).
- MUTCHLER, C.K.; YOUNG, R.A. Soil detachment by raindrops impact. In: **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Washington: USDA-Agricultural Research, 1975. ARS-S-40
- NEAL, J.H. Effect of degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. *Agriculture Engineering*, St Joseph, v.19, n.5, p.213-217, May 1938.
- NEARING, M.A.; PAGE, D.I.; SIMANTON, J.R.; LANE, L.J. Determining erodibility parameters from rangeland field data for a process-based erosion model. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.32, n.3, p.919-924, 1989.
- OBI, M.E. Runoff and soil loss from na oxisol in southeastern Nigeria under various management practices. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.5, n.1, p.193-203, Jan./Feb. 1982.
- PARK, S.W.; MITCHELL, J.K.; BUBENZER, G.D. Rainfall characteristics and their relations to splash erosion. *Transactions of the ASAE*, v.26, n.4, p.795-804, July/Aug. 1983.
- PEREIRA, V.P. **Perda de solo em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, devido ao impacto de gotas de chuva simulada e a comprimento de rampa**. Jaboticabal: FCAV, 1989. 106 p.(Tese de Livre-Docência).
- PEREIRA, V.P.; MOLINA, D.S. Método para a medição da intensidade de chuva produzida por um simulador de hastes rotativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO, 6 e ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 6., 1986, Campo Grande, Resumos... Campo Grande: Fundação Cargill, 1986. p.69.
- PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CARNIER, P.E.; BORGES, S.C.; MOLINA, D.S.; MARTINS FILHO, M.V.; CARDOSO, J.L.; SOUZA, A.O. **Conservação do solo : determinação de perda de solo por erosão e do**

- efeito do manejo no seu controle.** Jaboticabal: FINEP. 1985. 230p. (FINEP-Relatório Técnico Científico).
- PINHEIRO-DICK, D.; SCHWERTMANN, U.** Microaggregates from Oxisols and Inceptisols : dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. *Geoderma*, Amsterdam, v.74, n.1/2, p.49-63, Nov. 1996.
- POESEN, J.** The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume. *Z. f. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, v.49, p.117-131, 1985.
- QUANSAH, C.** The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.32, p.215-224, 1981.
- RADCLIFFE, D.E.; WEST, L.T.; HUBBARD, R.K.; ASMUSSEN, L.E.** Surface sealing in Coastal Plains loam soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.55, n.1, p. 223-227, Jan./Feb. 1991.
- REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S.V.** Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.3, p.389-396, set./dez. 1992.
- REICHERT, J.M.; NORTON, L.D.** Fluized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and erosion of variable-charge soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, n.1, p.275-282, Jan./Feb. 1996.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J.P. RUSLE:** Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, IA, v.46, n.1, p.30-33, 1991.
- RESENDE, M.** *Pedologia.: base para distinção de ambientes.* Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; LANI, J.L.** *Science for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean.* Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999. n.p. Tropical soils: implications on sustainable development.

- RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.
- ROCKENBACH, C.A. **Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um Podzólico Vermelho-Amarelo sob chuva simulada**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 108p. (Dissertação – Mestrado em Ciência do Solo).
- ROLOFF, G.; DENARDIN, J.E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10. 1994, Florianópolis, SC. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. p.150-151.
- RÖMKENS, M.J.M. Soil crusting – when crust form and quantifying their effects. In : INFILTRATION RESEARCH PLANNING WORKSHOP, 1. 1979. Washington. **Reports...** Washington: U.S. Department of Agriculture/Agriculture Research Service, 1979. part 1, p.36-39.
- RÖMKENS, M.J.M.; PRASAD, S.N.; PARLANGE, J.Y. Surface seal development in relation to rainstorm intensity. In: BRYAN, B.B. (ed.) **Soil erosion: experiments and models**. Cremlingen-Destedt, Catena, Supplement 17, p.13-28. 1990.
- RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B.; NELSON, D.W. Erodibility of select clay subsoils in relation to physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, n.5, p.954-960, Sept./Oct. 1977.
- RÖMKENS, M.J.M.; WANG, J.Y. Effect of tillage on surface roughness. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.29, n.2, p.429-433, Mar./Apr. 1986.
- ROSE, C.W. Some effects of rainfall, radiant drying, and soil factors on infiltration under rainfall into soils. **Journal of Soil Science**, Edinburgh, v.13, p. 286-298, 1962.
- ROTH, C.B.; NELSON, D.W.; RÖMKENS, M.J.M. **Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters**. Washington: USEPA, 1974. 11p
- ROTH, C.H.; HELMING, K. Surface seal properties, runoff formation and sediment concentration as related to rainfall characteristics and the presence

- of already formed crusts. **Soil Technology**, Amsterdam, v.5, p. 359-368, 1992.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.53, n.2, p.244-246, May 1973.
- SHADFAN, H.; DIXON, J.B; CLAHOUN, G. Iron oxide properties versus strength of ferruginous crust and iron-globules in soils. **Soil Science**, Baltimore, v.140, n.3, p.317-325, Mar. 1985.
- SHAINBERG, I.; SUMMER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.; PAVAN, M.A.; FEY, M.V. Use of gypsum on soils : a review. **Advances in Soil Sciences**, New York, v.9, p.1-111, 1989.
- SILVA, M.L.N. Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos so cerrado. Lavras: ESAL, 1994. 109 p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p.97-103, 1998.
- SINGER, M.J.; BLACKWARD, J. Slope angle-interrill soil loss relationships for slopes up to 50%. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, n.6, p.1270-1273, Nov./Dec. 1982.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/PLANALSUCAR – Stolf. **STAB. açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.1, n.3, p. 18-23, 1983.
- SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, v.8, p.71-72, 1965.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DANAHUE, R.L. **Soil and water conservation for productivity and environment protection**. New Jersey: Prentice Hall, 1980. 718 p.

- [REDACTED]
- VALENTIN, C. Surface crusting in two alluvial soils of northern Niger. **Geoderma**, Amsterdam, v.48, n.3/4, p.201-222, May 1991.
- VALENTIN, C. Surface crusting of arid sandy soils. **Proceedings of the Int. Symp. on the assesment of surface sealing and crusting**, Ghent, Belgium, 1985.
- VAN LIEW, M.W.; SAXTON, K.E. Slope steepness and incorporated residue effects on rill erosion. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.6, p.1738-1743, Nov./Dec. 1983.
- VANONI, V.A. **Sedimentation engineering**. New York: The American Society of Civil Engineers, 1975. 745 p.
- VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V.; REICHERT, J.M. Erodibilidade em entre-sulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.129-133, jan./abr.1993.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro : Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico 7).
- VILELA, E.A.; RAMALHO, M.A.P. Análise da temperatura e precipitações pluviométricas de Lavras-MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v.3, n.1, p.71-79, jan/jun. 1979.
- VOORHEES, W.B.; YOUNG, R.A.; LYLES, L. Wheel traffic considerations in erosion research. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.4, p.786-790, July/Aug. 1979.
- WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.1, p.98-102, 1986.
- WILLIAMS, J.D.; DOBROWOLSKY, J.P.; WEST, N.E. Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.1, p. 139-146, Jan./Feb. 1995.
- WISCHMEIER, W.H. Environmental considerations: conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONFERENCE CONSERVATION TILLAGE, 1973, Desmoines. **Proceedings...** Ankeny: SCSA, 1973. Cap 3, p.133-141.

[REDACTED]

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. E CROSS, B.V. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, IA, v.26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.33, p.131-137, 1969.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Handbook 537, 58p. 1978

YOUNG, R.A. A method of measuring aggregate stability under waterdrop impact. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.27, n.5, p.1351-1354, Sept./Oct. 1984.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A. Characterization of rill and interrill eroded soil. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.21, n.6, p.1126-1130, Nov./Dec. 1978.

YOUNG, R.A.; VOORHEES, W.B. Soil erosion and runoff from planting to canopy development as influenced by tractor wheel-traffic. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.25, n.3, p.708-712, May/June 1982.

ZHANG, X.C.; MILLER, W.P. Physical and chemical crusting processes affecting runoff and erosion in furrows. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.3, p. 860-865, May/June 1996.

ZHANG, X.C.; NEARING, M.A.; MILLER, W.P.; NORTON, L.D. e WEST, L.T. Modeling interrill sediment delivery. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.62, n.2, p.438-444, Mar./Abr. 1998.

ZOOBECK, T.M.; ONSTAD, C.A. Tillage and rainfall effects on random roughness: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.9, n.1, p.1-20, Jan./Feb. 1987.

ANEXOS

ANEXO A

		Página
TABELA 1A	Descrição geral do Podzólico Vermelho Escuro (PE).....	103
TABELA 2A	Descrição morfológica do PE.....	104
TABELA 3A	Características químicas do perfil do PE	105
TABELA 4A	Características granulométricas do perfil do PE	105
TABELA 5A	Características mineralógicas do perfil do PE.....	106

ANEXO B

TABELA 1B	Descrição geral do Podzólico Vermelho-Amarelo(PV)...	107
TABELA 2B	Descrição morfológica do PV.....	108
TABELA 3B	Características químicas do perfil do PV	109
TABELA 4B	Características granulométricas do perfil do PV	109
TABELA 5B	Características mineralógicas do perfil do PV.....	110

ANEXO C

TABELA 1C	Descrição geral do Podzólico Latossolo Roxo (LR).....	111
TABELA 2C	Descrição morfológica do LR.....	112
TABELA 3C	Características químicas do perfil do LR	113
TABELA 4C	Características granulométricas do perfil do LR	113
TABELA 5C	Características mineralógicas do perfil do LR.....	114

ANEXO D

TABELA 1D	Parâmetros da erosão do solo para as parcelas do PE	115
TABELA 2D	Parâmetros da erosão do solo para as parcelas do PV ...	118
TABELA 3D	Parâmetros da erosão do solo para as parcelas do LR ...	121

ANEXO E

TABELA 1E	Umidade antecedente do solo (UA) para cada chuva simulada nas parcelas entressulcos do PE	124
TABELA 2E	Umidade antecedente do solo (UA) para cada chuva simulada nas parcelas entressulcos do PV.....	125
TABELA 3E	Umidade antecedente do solo (UA) para cada chuva simulada nas parcelas entressulcos do LR.....	126

ANEXO F

	Página
TABELA 1F Resistência mecânica à penetração dos solos estudados..	127
TABELA 2F Correlações entre alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos estudados	128

TABELA 1A. Descrição geral do Podzólico Vermelho - Escuro (PE)

Classificação - Podzólico Vermelho Escuro Distrófico, com A Moderado, textura argila pesada, relevo forte ondulado.

Características gerais - Este solo é bem drenado, apresentando cores, variando de vermelho a marrom escuro, com seqüência de horizonte, Ap, A₃, B_{3t}, B₃ e C. A capacidade de troca de cátions é baixa para todos os horizontes, além do baixo nível de fósforo disponível, que poderá limitar o desenvolvimento da cultura nesta área.

Localização - Área experimental da Universidade Federal de Lavras

Situação e declive - barranco em área de pastagens com uma declividade de 16%.

Litologia e Formação geológica - rochas intrusivas básicas

Material Originário - rocha básica.

Relevo - forte ondulado

Erosão - laminar ligeira

Drenagem - bem drenado

Vegetação - pastagens naturais

Cobertura vegetal atual : sem vegetação

TABELA 2A. Descrição morfológica do PE.

-
- Ap** -0 – 25 cm, marrom escuro (7,5 YR – 4/4 seco), marrom escuro (7,5 YR – 4/5 úmido) franco argilo arenoso forte, pequena a média, granular poros pequenos e comuns, ligeiramente duro, friável plástico ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana, raízes mortas.
- A₃** -25 – 40 cm, Vermelho (2,5 YR – 5/6 seco) Vermelho 2,5 YR 4/6. Argila moderada, pequena a médio, bloco subangulares, poros pequenos e comuns, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana raízes comuns.
- B_{2t}** -40-90 cm, Vermelho (2,5 YR – 4/6 seco) Vermelho 2,5 YR 4/6 úmido). Argila pesada, forte, pequenas a médios e comuns, cerosidade moderada, duro, friável plástico, pegajoso, transição gradual e plana raízes raras.
- B₃** -20 – 150 cm, Vermelho Amarelo (5 YR – 5/6 seco) Vermelho-Amarelo (5 YR – 5/8 úmido). Argila pesada forte, pequena a médio, bloco angulares, poros pequenos e comuns ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plena.
- C** -150 – 210 cm + Vermelho Amarelo (7,5 YR – 7/6 seco) Vermelho-Amarelo (7,5 YR – 6/6 úmido), argila moderada, muito pequeno, prismático muitos poros e comuns, ligeiramente duro firme, não plástico, não pegajoso, transição gradual e plana.
-

TABELA 3A. Características químicas do perfil do PE

Profundidade cm	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Δ pH	P ppm	Ca+Mg	K	S	CTC efetiva	H+Al	Al	Sat. de bases %
meq/100g.....										
0-25	5,9	5,0	-0,9	2	4,4	0,18	4,588	4,788	3,3	0,2	56,73
25-40	5,8	5,1	-0,7	1	2,8	0,07	2,878	3,078	3,0	0,2	47,35
40-90	6,0	5,6	-0,4	1	2,4	0,05	2,450	2,650	2,6	0,2	46,67
90-150	6,2	6,2	-0,2	1	4,2	0,09	4,290	4,490	3,3	0,2	55,07
150-120+	6,1	6,3	-0,2	2	2,8	0,01	2,819	3,019	2,3	0,2	53,00

105

TABELA 4A. Características granulométricas do perfil do PE.

C %	N %	C/N	Composição granulométrica (%)				Silte/argila
			A.Grossa (2-0, 20mm)	A. Fina (0,20-0,05mm)	Silte (0,05-,002mm)	Argila (0,002 mm)	
1,64	0,142	11,55	15,0	44,2	1,36	44,2	0,308
0,95	0,157	6,05	9,5	27,7	7,6	55,2	0,138
0,68	0,059	11,53	6,2	25,0	1,6	67,2	0,024
0,41	0,035	11,71	6,3	24,9	4,6	64,2	0,072
1,09	0,094	11,59	9,5	21,7	5,6	63,2	0,089

TABELA 5A. Características mineralógicas do perfil do PE.

Ataque sulfúrico (%)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
14,44	15,04	8,30	1,455	0,090	1,63	1,21	1,81
21,46	20,91	11,00	1,228	0,081	1,74	1,31	1,90
24,80	25,50	12,30	1,111	0,091	1,65	1,26	2,07
26,20	25,75	12,40	1,006	0,101	1,73	1,32	2,08
25,00	22,95	11,20	1,249	0,080	1,85	1,41	2,05

TABELA 1B. Descrição geral do Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, com A moderado, textura argila pesada, relevo forte ondulado.
Características Gerais: Este solo é bem drenado, apresentando cores, variando de vermelho a vermelho-amarelo, com seqüência de horizonte, A ₁ , A _B , B _{2t} e B ₃ . Neutro no horizonte A ₁ , e acidez média para os demais horizontes, saturação de bases média para o horizonte A ₁ , com baixa saturação de alumínio trocável. O P é baixo em todos os horizontes, o que se torna um fator limitante às culturas.
Localização: Área experimental da Universidade Federal de Lavras
Situação e declive - trincheira no terço superior de elevação, com uma declividade de 16%.
Litologia e formação geológica - granito gnaissico intrusivo do pré-cambriano.
Material originário - granito-gnaissico.
Relevo - forte ondulado
Erosão - laminar ligeira
Drenagem - bem drenado
Vegetação - campo
Cobertura vegetal atual : sem vegetação

TABELA 2B. Descrição morfológica do PV

<p>A₁ - 0 – 25 cm, vermelho-amarelo,(5YR – 5/6 seco), vermelho-amarelo, (5 YR – 4/6 úmido) argilo arenoso moderado, média, granular poros pequenos e comuns, cerosidade moderada, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana, raízes comuns.</p>
<p>A_B -25 – 45 cm, vermelho-amarelo (5 YR – 6/6 seco) vermelho-amarelo (5 YR 5/8/ úmido), argila médio a grande, blocos subangulares, poros pequenos e muitos, cerosidade moderada, ligeiramente duro, friável, não plástico, não pegajoso, transição gradual e plana raízes comuns.</p>
<p>B₂1 -45-85 cm, vermelho (2,5 YR – 7/6 seco) vermelho 2,5 YR 5/6 úmido). Argila, moderado, pequenas a grande, blocos subangulares, cerosidade moderada, poros pequenos e comuns, friável, ligeiramente pegajoso a não pegajoso, transição gradual e plena.</p>
<p>B₂ 2 85-120 cm, vermelho-amarelo (5 YR – 7/6 seco) vermelho-amarelo (5 YR – 5/8 úmido). Argila pesada, fraca, muito pequena a pequena, prismática, cerosidade fraca, muito pequeno e muitos poros, macio, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana.</p>
<p>B₃ -120 – 155 cm + vermelho Amarelo (5 YR – 7/6 seco) Vermelho-Amarelo (75 YR – 5/8 úmido), argila, fraca, pequena a média, blocos subangulares, pequeno e poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plano.</p>

TABELA 3B. Características químicas do perfil do PV.

Profundidade cm	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	ΔpH	P ppm	Ca+Mg	K	S	CTC efetiva	H+Al	Al	Sat. de Bases %
0-25	7,0	6,1	-0,9	2,0	5,4	0,030	5,438	5,638	5,6	0,2	49,26
25-40	5,5	4,8	-0,7	1,0	2,2	0,015	2,223	2,423	4,3	0,2	34,10
40-90	5,9	5,5	-0,4	1,0	2,0	0,012	2,020	2,220	2,6	0,2	43,72
90-150	5,9	6,0	0,1	1,0	1,4	0,007	1,415	1,615	2,0	0,2	41,37
150-120+	5,8	6,4	0,6	1,0	1,2	0,012	1,220	1,400	1,3	0,2	48,41

109

TABELA 4B. Características granulométricas do perfil do PV.

C %	N %	C/N	Composição granulométrica (%)				
			A.Grossa (2-0, 20mm)	A. Fina (0,20-0,05mm)	Silte (0,05-.002mm)	Argila (0,002 mm)	Silte/argila
1,05	0,020	11,67	20,5	23,5	6,6	49,4	0,134
0,60	0,052	11,54	13,8	20,2	1,6	64,4	0,025
0,45	0,038	11,84	14,3	15,7	6,6	63,4	0,104
0,30	0,025	12,00	10,8	19,2	5,6	64,4	0,087
0,30	0,025	12,00	13,2	22,8	5,6	58,4	0,096

5B. Características mineralógicas do perfil do PV.

Ataque sulfúrico (%)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
16,82	19,89	9,20	1,152	0,102	1,44	1,11	4,88
20,00	26,26	10,50	1,154	0,057	1,29	1,03	5,08
15,96	18,87	7,00	0,733	0,083	1,44	1,16	6,08
17,88	25,75	9,40	0,935	0,039	1,18	0,96	5,07
17,24	25,24	9,00	0,942	0,031	1,16	0,95	5,11

TABELA 1C. Descrição geral do Latossolo Roxo (LR)

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico, com A moderado, textura argila pesada, relevo ondulado, transição para floresta latifoliada tropical.
Características gerais - Este solo é bem drenado, apresentando cores vermelho escuras quando seco e bruno avermelhado escuro quando úmido. Apresenta acidez média, baixo teor de alumínio trocável, saturação de alumínio menor que 20%, alto teor de matéria orgânica e alto teor de potássio, sendo que Ca + Mg apresenta valor médio. O baixo teor de fósforo deste solo constitui uma limitação ao seu uso, caso não seja corrigido.
Localização - Área experimental da Universidade Federal de Lavras, acima da represa.
Situação e declive - trincheira na parte superior da vertente, com uma declividade de 10%.
Litologia e Formação geológica - rochas intrusivas básicas.
Material Originário - rochas básicas
Relevo - ondulado
Erosão - laminar ligeira
Drenagem - acentuadamente drenado
Vegetação: mata
Cobertura vegetal atual - sem vegetação

TABELA 2C. Descrição morfológica do LR

<p>A₁ - 0 - 24 cm, vermelho escuro (2,5YR - 3/6 seco), bruno avermelhado escuro (2,5 YR - 2,5/4 úmido) argila pesada, moderado, muito pequena a pequena, granular, poros muito pequenos e comuns, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana, raízes abundantes.</p>
<p>A₃ -24 - 40 cm, vermelho escuro (2,5 YR - 3/6 seco) bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4 úmido), argila pesada, moderada e fraca, muito pequena, pequena e média, prismática, poros muito pequenos e comuns, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana, raízes comuns.</p>
<p>B₁ -40-62 cm, vermelho escuro (2,5 YR - 3/6 seco) bruno avermelhado escuro 2,5 YR 3/4 úmido). Argila, pesada, fraca, muito pequena, granular, sem poros visíveis, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição difusa e plana, raízes comuns.</p>
<p>B₂₂ 62-120 cm, vermelho escuro (2,5 YR - 3/6 seco) bruno avermelhado escuro (2,5 YR - 3/4 úmido). Argila pesada, fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares, sem poros visíveis, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição difusa e plana, raízes raras.</p>
<p>B₂₃ -120 - 200 cm + vermelho escuro (2,5 YR - 3/6 seco) bruno avermelhado escuro (2,5 YR - 2,5/4 úmido), argila pesada, fraca, muito pequeno a pequeno, blocos subangulares, sem poros visíveis, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, raízes raras.</p>

TABELA 3C. Características químicas do perfil do LR.

Profundidade cm	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	ΔpH	P ppm	Ca+Mg	K	S	CTC efetiva	H+Al	Al	Sat. de Bases %
0-24	5,8	5,1	-0,7	2	2,2	0,22	2,44	2,64	5,61	0,2	30,31
24-40	5,7	5,5	-0,2	2	0,8	0,17	0,98	1,18	3,63	0,2	21,26
40-62	5,9	6,4	0,5	1	0,4	0,01	0,42	0,62	1,23	0,2	25,45
62-120	5,4	6,3	0,9	1	0,2	0,02	0,23	0,43	1,98	0,2	10,41
120-200	5,5	5,8	0,3	1	0,8	0,05	0,86	1,06	3,30	0,2	20,67

113

TABELA 4C. Características granulométricas do perfil do LR.

C %	N %	C/N	Composição granulométrica (%)				Silte/argila
			A. Grossa (2-0, 20mm)	A. Fina (0,20-0,05mm)	Silte (0,05-,002mm)	Argila (0,002 mm)	
3,49	0,30	11,63	6,30	5,96	17,74	70	0,253
2,61	0,23	11,35	4,60	5,76	21,64	58	0,318
1,31	0,11	11,91	4,75	4,87	22,80	68	0,335
1,31	0,11	11,91	5,51	5,27	17,22	72	0,239
0,87	0,06	14,50	4,87	5,18	16,95	73	0,232

TABELA 5C. Características mineralógicas do perfil do LR.

Ataque sulfúrico (%)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
12,62	27,43	29,21	0,98	0,129	0,78	0,46	1,47
12,48	28,09	29,58	0,94	0,110	0,75	0,45	1,49
12,35	26,27	36,59	0,77	0,109	0,79	0,40	1,12
12,25	29,65	30,34	0,90	0,101	0,70	0,42	1,53
12,56	28,74	30,44	0,91	0,107	0,74	0,35	1,48

TABELA 1D. Parâmetros da erosão entressulcos (Di) para as parcelas do Podzólico Vermelho Escuro

⁽²⁾ Solo	⁽²⁾ Declive	⁽³⁾ Chuva	⁽⁴⁾ Bloco	⁽⁵⁾ I mm.h ⁻¹	⁽⁶⁾ Di x 10 ⁻⁵ kg m ⁻² s ⁻¹	⁽⁷⁾ R m s ⁻¹	⁽⁸⁾ Ki x 10 ⁵ kg s m ⁻⁴
1	1	1	1	64,24	13,58	1,77811E-05	7,69
1	1	1	2	64,61	13,63	1,42927E-05	5,46
1	1	1	3	62,33	12,03	1,72762E-05	3,90
1	1	1	4	65,46	13,73	1,70407E-05	3,92
1	1	1	5	65,07	13,74	1,78737E-05	3,38
1	2	1	1	56,40	11,22	1,10732E-05	1,60
1	2	1	2	60,31	9,76	1,65092E-05	2,86
1	2	1	3	62,38	10,74	1,5654E-05	3,70
1	2	1	4	63,92	11,80	1,62736E-05	3,85
1	2	1	5	63,43	12,60	1,57664E-05	4,09
1	3	1	1	66,00	12,47	1,71513E-05	2,77
1	3	1	2	57,24	10,53	1,36984E-05	3,44
1	3	1	3	63,15	13,45	1,67732E-05	2,52
1	3	1	4	63,17	9,42	1,38346E-05	2,17
1	3	1	5	65,45	13,50	1,63976E-05	3,62
1	4	1	1	64,67	18,06	1,24304E-05	6,32
1	4	1	2	60,26	15,36	1,60942E-05	4,68
1	4	1	3	56,57	9,87	1,45587E-05	3,40
1	4	1	4	58,62	11,92	1,58772E-05	3,88
1	4	1	5	62,09	10,89	1,60164E-05	3,48
1	1	2	1	52,97	15,63	1,42064E-05	9,28
1	1	2	2	54,73	12,90	1,43294E-05	17,15
1	1	2	3	52,58	10,54	1,40957E-05	6,39
1	1	2	4	52,62	14,80	1,36262E-05	9,03
1	1	2	5	56,13	10,64	1,53896E-05	5,79
1	2	2	1	55,00	14,56	8,09288E-06	1,90
1	2	2	2	50,51	8,67	1,32335E-05	4,53
1	2	2	3	55,32	10,94	1,37937E-05	4,76
1	2	2	4	53,85	13,67	1,39212E-05	6,29
1	2	2	5	51,73	10,43	1,27887E-05	5,09
1	3	2	1	52,60	11,18	1,45057E-05	4,22
1	3	2	2	51,79	13,18	1,43451E-05	5,21
1	3	2	3	59,80	12,31	1,61759E-05	3,11
1	3	2	4	51,73	9,57	1,36661E-05	3,64
1	3	2	5	52,04	16,93	1,35173E-05	7,17
1	4	2	1	53,28	22,65	1,37237E-05	9,11
1	4	2	2	54,83	14,74	1,4236E-05	5,43
1	4	2	3	53,34	10,59	1,45438E-05	3,72
1	4	2	4	51,26	14,75	1,38786E-05	6,27
1	4	2	5	46,46	12,02	1,24807E-05	5,89
1	1	3	1	70,01	18,54	1,85797E-05	6,30
1	1	3	2	72,23	18,24	1,89531E-05	13,98

... continua ...

Tabela 1D. (Continuação)

1	1	3	3	65,83	19,68	1,76839E-05	7,61
1	1	3	4	73,01	17,89	1,98995E-05	5,67
1	1	3	5	71,37	16,87	1,96493E-05	5,68
1	2	3	1	72,77	14,38	1,99642E-05	2,89
1	2	3	2	70,03	14,26	1,90307E-05	2,97
1	2	3	3	71,45	25,00	1,45887E-05	5,24
1	2	3	4	69,81	21,71	1,75815E-05	5,94
1	2	3	5	73,67	18,73	1,76564E-05	3,73
1	3	3	1	74,07	17,36	1,88854E-05	3,71
1	3	3	2	70,86	17,86	1,87934E-05	4,18
1	3	3	3	71,17	18,75	1,75476E-05	2,25
1	3	3	4	73,58	18,59	1,97921E-05	4,07
1	3	3	5	73,36	21,19	1,84205E-05	4,52
1	4	3	1	70,92	23,15	1,90132E-05	9,74
1	4	3	2	74,66	26,75	1,98409E-05	6,45
1	4	3	3	68,73	13,07	1,64648E-05	3,04
1	4	3	4	74,12	28,68	1,98632E-05	4,32
1	4	3	5	74,61	24,10	2,02253E-05	3,50
1	1	4	1	91,75	23,02	1,42641E-05	8,61
1	1	4	2	90,94	28,94	1,97473E-05	7,48
1	1	4	3	89,19	17,48	2,39345E-05	3,68
1	1	4	4	87,12	22,90	2,29634E-05	5,10
1	1	4	5	92,00	20,53	2,44274E-05	4,16
1	2	4	1	89,20	18,51	2,23133E-05	3,09
1	2	4	2	90,91	22,21	2,51989E-05	3,14
1	2	4	3	90,01	25,92	2,48635E-05	5,02
1	2	4	4	95,38	21,48	2,35369E-05	3,15
1	2	4	5	89,23	23,77	2,09918E-05	3,90
1	3	4	1	91,55	24,05	1,96043E-05	3,36
1	3	4	2	89,88	27,76	2,02677E-05	4,04
1	3	4	3	93,33	25,67	2,18448E-05	1,50
1	3	4	4	87,39	22,35	2,32977E-05	3,47
1	3	4	5	92,62	28,54	2,42095E-05	3,82
1	4	4	1	93,42	48,00	1,96024E-05	6,66
1	4	4	2	93,87	48,57	2,25575E-05	6,10
1	4	4	3	89,05	29,75	2,22822E-05	3,80
1	4	4	4	89,18	32,05	2,4094E-05	4,50
1	4	4	5	89,01	26,36	2,17929E-05	3,01
1	1	5	1	123,72	56,67	3,00988E-05	6,94
1	1	5	2	115,82	41,84	2,65685E-05	5,21
1	1	5	3	118,68	22,73	2,45319E-05	2,70
1	1	5	4	116,94	31,43	2,69568E-05	3,88
1	1	5	5	126,02	25,97	3,02234E-05	2,80
1	2	5	1	119,36	41,07	2,76493E-05	3,83
1	2	5	2	116,68	46,23	2,91977E-05	5,69

... continua ...

Tabela 1D. (Continuação)

1	2	5	3	118,97	32,95	2,85455E-05	3,10
1	2	5	4	122,69	34,57	2,90404E-05	2,64
1	2	5	5	117,98	40,87	2,6309E-05	3,84
1	3	5	1	115,40	39,20	2,72585E-05	3,34
1	3	5	2	119,56	48,85	2,40067E-05	3,42
1	3	5	3	119,99	41,70	2,74463E-05	1,18
1	3	5	4	123,09	32,69	2,69913E-05	2,06
1	3	5	5	117,90	46,06	3,1529E-05	3,60
1	4	5	1	116,80	68,25	2,5401E-05	5,71
1	4	5	2	123,33	59,11	2,50864E-05	4,30
1	4	5	3	119,29	43,86	2,78556E-05	3,39
1	4	5	4	120,70	47,66	2,77687E-05	3,65
1	4	5	5	115,98	32,54	2,74222E-05	2,56

(1) tipo de solo: 1- Podzólico Vermelho Escuro; (2) declividade das parcelas: 1-15%, 2-25%, 3-35%, 4 -45%; (3) chuva aplicada: 1-60 mm h⁻¹, 2-50 mm h⁻¹, 3-70 mm h⁻¹, 4-90 mm h⁻¹ 5- 120 mm h⁻¹; (4) repetições das parcelas; (5) intensidade de chuva real na parcela (mm h⁻¹); (6) taxa de erosão entressulcos (kg m⁻²s⁻¹); (7) taxa de enxurrada (m s⁻¹); (8) erodibilidade do solo (kg s m⁻⁴).

TABELA 2D. Parâmetros da erosão entressulcos (Di) para as parcelas do Podzólico Vermelho-Amarelo

^(a) Solo	^(a) Declive	^(a) Chuva	^(a) Bloco	^(b) I mm.h ⁻¹	^(b) Di x 10 ⁻⁵ kg m ⁻² s ⁻¹	^(c) R m s ⁻¹	^(c) Ki x 10 ⁵ kg s m ⁻¹
2	1	1	1	62,297	14,76	1,61988E-05	7,11
2	1	1	2	64,599	20,60	1,56714E-05	8,25
2	1	1	3	62,876	14,99	1,29241E-05	6,35
2	1	1	4	60,061	16,42	1,43781E-05	7,69
2	1	1	5	63,269	21,37	1,52349E-05	9,15
2	2	1	1	61,478	11,96	1,12984E-05	6,19
2	2	1	2	62,406	12,77	1,05958E-05	4,37
2	2	1	3	60,737	11,80	1,21334E-05	4,26
2	2	1	4	64,435	12,75	1,34987E-05	2,21
2	2	1	5	63,629	13,89	1,46784E-05	2,89
2	3	1	1	64,443	21,74	1,25465E-05	9,67
2	3	1	2	63,773	21,64	1,44422E-05	6,25
2	3	1	3	58,212	14,79	1,35624E-05	5,19
2	3	1	4	63,915	20,13	1,6103E-05	3,71
2	3	1	5	64,613	24,10	1,6722E-05	6,63
2	4	1	1	58,459	22,97	1,18308E-05	7,67
2	4	1	2	64,763	18,30	1,20793E-05	4,83
2	4	1	3	60,526	35,02	1,20184E-05	14,37
2	4	1	4	65,895	19,40	1,76054E-05	3,07
2	4	1	5	58,206	14,98	1,43206E-05	3,33
2	1	2	1	53,587	15,86	1,32144E-05	9,20
2	1	2	2	52,223	24,05	1,33781E-05	14,74
2	1	2	3	50,520	22,03	1,34302E-05	14,46
2	1	2	4	57,376	17,43	1,52081E-05	8,94
2	1	2	5	55,536	22,79	1,49562E-05	12,66
2	2	2	1	50,964	13,95	1,25965E-05	7,15
2	2	2	2	52,728	24,87	1,38964E-05	11,93
2	2	2	3	53,793	17,22	1,29894E-05	3,13
2	2	2	4	54,129	17,22	1,29894E-05	3,99
2	2	2	5	49,229	12,83	1,24753E-05	6,92
2	3	2	1	50,664	21,21	1,33174E-05	20,75
2	3	2	2	56,960	29,33	1,43527E-05	10,62
2	3	2	3	51,582	14,48	1,30087E-05	6,47
2	3	2	4	51,280	19,29	1,3701E-05	6,84
2	3	2	5	47,498	21,75	1,22072E-05	11,06
2	4	2	1	50,215	28,10	1,36419E-05	12,73
2	4	2	2	52,728	26,51	1,35848E-05	23,71
2	4	2	3	50,520	33,25	1,3605E-05	16,83
2	4	2	4	50,358	19,74	1,30082E-05	8,69
2	4	2	5	51,152	24,95	1,40842E-05	10,09
2	1	3	1	75,510	20,40	1,73768E-05	5,96
2	1	3	2	73,088	27,22	1,96285E-05	8,52

... continua ...

Tabela 2D. (Continuação)

2	1	3	3	68,715	26,21	1,57742E-05	8,33
2	1	3	4	72,817	23,32	1,81272E-05	6,67
2	1	3	5	72,015	29,51	1,8034E-05	9,75
2	2	3	1	69,285	20,57	1,8758E-05	5,70
2	2	3	2	69,817	29,74	1,87648E-05	9,32
2	2	3	3	67,760	16,78	1,78122E-05	3,86
2	2	3	4	69,951	15,17	1,57745E-05	3,71
2	2	3	5	70,859	17,01	1,67855E-05	4,43
2	3	3	1	73,360	43,37	1,74404E-05	9,45
2	3	3	2	73,074	30,03	1,25343E-05	6,60
2	3	3	3	79,028	36,70	1,49873E-05	3,17
2	3	3	4	75,653	32,80	2,02786E-05	2,82
2	3	3	5	74,101	21,10	1,48359E-05	4,41
2	4	3	1	76,746	39,82	1,61004E-05	7,72
2	4	3	2	65,766	37,76	1,55322E-05	9,66
2	4	3	3	72,817	38,47	1,2157E-05	6,98
2	4	3	4	65,638	38,68	1,50669E-05	5,53
2	4	3	5	67,629	29,01	1,64781E-05	6,04
2	1	4	1	91,700	36,34	2,40923E-05	7,20
2	1	4	2	86,172	40,57	2,09662E-05	9,13
2	1	4	3	86,194	35,47	1,78956E-05	6,29
2	1	4	4	86,714	35,77	2,07718E-05	3,55
2	1	4	5	86,065	30,72	2,01329E-05	7,11
2	2	4	1	87,861	31,03	2,14154E-05	5,35
2	2	4	2	86,687	42,96	1,73766E-05	7,62
2	2	4	3	89,000	21,59	1,9674E-05	2,80
2	2	4	4	88,363	31,86	1,94887E-05	3,04
2	2	4	5	83,598	31,86	1,94887E-05	2,20
2	3	4	1	93,130	55,90	2,06302E-05	7,56
2	3	4	2	91,700	36,15	2,37597E-05	3,95
2	3	4	3	92,019	30,76	1,95243E-05	3,67
2	3	4	4	90,124	29,86	1,90097E-05	3,27
2	3	4	5	86,038	38,17	1,54014E-05	3,46
2	4	4	1	86,581	48,64	1,82937E-05	7,41
2	4	4	2	94,725	45,81	1,85039E-05	4,71
2	4	4	3	87,176	42,90	1,43441E-05	6,21
2	4	4	4	93,534	35,70	2,21086E-05	4,56
2	4	4	5	95,139	43,98	2,56129E-05	3,56
2	1	5	1	115,700	51,17	2,90933E-05	9,66
2	1	5	2	122,649	44,28	2,34817E-05	4,92
2	1	5	3	118,001	42,63	2,27853E-05	3,94
2	1	5	4	121,248	42,90	2,5051E-05	2,43
2	1	5	5	123,413	33,53	2,48439E-05	3,32
2	2	5	1	117,653	49,94	2,86922E-05	5,02
2	2	5	2	115,619	50,23	2,21073E-05	6,07

... continua ...

Tabela 2D. (Continuação)

2	2	5	3	119,798	44,26	2,53997E-05	1,98
2	2	5	4	121,131	32,61	2,25735E-05	2,24
2	2	5	5	123,464	44,26	2,46932E-05	1,63
2	3	5	1	123,413	60,43	2,20881E-05	4,65
2	3	5	2	118,001	46,67	3,00803E-05	3,07
2	3	5	3	119,354	48,16	2,27846E-05	1,96
2	3	5	4	125,579	39,80	1,68759E-05	2,46
2	3	5	5	124,960	45,74	2,2094E-05	2,35
2	4	5	1	121,438	59,93	2,24299E-05	4,64
2	4	5	2	124,328	52,55	1,99865E-05	3,76
2	4	5	3	122,331	50,60	2,55678E-05	5,28
2	4	5	4	123,413	43,51	2,44432E-05	3,19
2	4	5	5	120,357	41,88	2,01152E-05	2,75

(1) tipo de solo: 2- Podzólico Vermelho-Amarelo; (2) declividade das parcelas: 1-15%, 2-25%, 3-35%, 4 - 45%; (3) chuva aplicada: 1-60 mm h⁻¹, 2-50 mm h⁻¹, 3-70 mm h⁻¹, 4-90 mm h⁻¹ 5- 120 mm h⁻¹; (4) repetições das parcelas; (5) intensidade de chuva real na parcela (mm h⁻¹); (6) taxa de erosão entressulcos (kg m⁻²s⁻¹); (7) taxa de enxurrada (m s⁻¹); (8) erodibilidade do solo (kg s m⁻⁴).

TABELA 3D. Parâmetros da erosão entressulcos (Di) para as parcelas do Latossolo Roxo

⁽²⁾ Solo	⁽²⁾ Declive	⁽³⁾ Chuva	⁽⁴⁾ Bloco	⁽⁵⁾ I mm.h ⁻¹	⁽⁶⁾ Di x 10 ⁻³ kg m ⁻³ s ⁻¹	⁽⁷⁾ R m s ⁻¹	⁽⁸⁾ Ki x 10 ⁻³ kg s m ⁻²
3	1	1	1	65,01	5,62	1,01483E-05	2,97
3	1	1	2	57,62	8,43	9,34107E-06	4,24
3	1	1	3	60,34	6,59	1,31134E-05	4,98
3	1	1	4	65,98	7,38	1,56816E-05	2,86
3	1	1	5	64,31	5,01	9,90414E-06	2,07
3	2	1	1	61,33	4,18	4,8478E-06	0,98
3	2	1	2	59,75	5,36	7,15637E-06	4,50
3	2	1	3	61,43	5,69	1,38133E-05	2,01
3	2	1	4	58,01	5,63	8,43065E-06	2,23
3	2	1	5	61,71	6,23	1,14971E-05	2,14
3	3	1	1	59,75	7,56	8,19789E-06	2,48
3	3	1	2	61,31	5,17	1,25638E-05	1,04
3	3	1	3	54,18	7,08	1,22542E-05	2,87
3	3	1	4	67,07	5,90	1,28985E-05	0,92
3	3	1	5	63,49	9,18	7,3346E-06	2,61
3	4	1	1	58,03	8,80	7,65984E-06	1,41
3	4	1	2	59,54	7,95	8,94378E-06	2,48
3	4	1	3	55,24	11,53	7,71681E-06	6,31
3	4	1	4	66,17	9,24	7,20599E-06	0,92
3	4	1	5	58,49	8,70	4,50352E-06	2,69
3	1	2	1	51,44	16,28	1,3552E-05	5,53
3	1	2	2	51,96	17,86	1,18938E-05	11,06
3	1	2	3	46,28	17,27	1,19282E-05	13,51
3	1	2	4	54,37	8,30	1,48591E-05	4,17
3	1	2	5	53,59	14,93	1,30583E-05	2,94
3	2	2	1	54,39	12,97	1,17088E-05	5,83
3	2	2	2	47,12	4,13	6,24088E-06	2,48
3	2	2	3	49,53	10,93	1,31801E-05	5,94
3	2	2	4	54,37	8,58	1,19287E-05	2,88
3	2	2	5	53,59	10,29	1,12977E-05	4,68
3	3	2	1	48,85	19,52	1,18E-05	9,59
3	3	2	2	47,24	10,87	1,1808E-05	5,72
3	3	2	3	55,02	18,04	1,45125E-05	4,14
3	3	2	4	48,72	15,21	1,29571E-05	7,60
3	3	2	5	51,96	15,91	1,27694E-05	3,89
3	4	2	1	52,72	16,39	1,05296E-05	0,32
3	4	2	2	51,96	24,44	1,24336E-05	10,02
3	4	2	3	53,31	15,50	9,40895E-06	6,00
3	4	2	4	48,20	8,35	1,23721E-05	2,41
3	4	2	5	49,60	17,26	7,90389E-06	4,20
3	1	3	1	72,21	12,91	1,77508E-05	4,13
3	1	3	2	65,95	15,17	1,67923E-05	5,83

... continua ...

Tabela 3D. (Continuação)

3	1	3	3	72,53	13,81	1,30878E-05	4,40
3	1	3	4	71,79	10,49	1,96154E-05	2,71
3	1	3	5	68,20	12,79	1,35909E-05	2,87
3	2	3	1	73,72	10,28	1,51879E-05	2,52
3	2	3	2	70,65	8,86	1,54198E-05	6,55
3	2	3	3	68,20	8,30	1,61841E-05	2,38
3	2	3	4	75,89	6,45	1,50725E-05	1,30
3	2	3	5	67,32	10,42	1,52346E-05	3,00
3	3	3	1	72,42	16,94	1,43919E-05	3,78
3	3	3	2	70,53	15,13	1,44347E-05	3,57
3	3	3	3	68,20	11,31	1,80227E-05	2,24
3	3	3	4	70,86	14,28	1,54841E-05	1,13
3	3	3	5	74,87	13,73	1,5087E-05	2,81
3	4	3	1	75,65	23,12	1,4638E-05	4,61
3	4	3	2	72,82	22,92	1,25371E-05	4,78
3	4	3	3	73,61	27,74	1,30854E-05	7,58
3	4	3	4	69,59	22,97	1,21016E-05	1,46
3	4	3	5	74,23	18,10	8,14605E-06	1,61
3	1	4	1	89,03	10,84	2,08278E-05	1,90
3	1	4	2	90,52	19,80	2,02667E-05	4,04
3	1	4	3	91,55	23,17	1,42242E-05	6,09
3	1	4	4	94,18	9,95	2,27809E-05	1,71
3	1	4	5	87,11	15,94	1,95249E-05	1,31
3	2	4	1	94,29	11,51	1,74915E-05	1,32
3	2	4	2	87,69	24,35	2,19501E-05	4,22
3	2	4	3	83,38	19,83	2,03028E-05	1,25
3	2	4	4	85,12	19,83	2,03028E-05	1,04
3	2	4	5	88,20	23,65	2,14668E-05	3,97
3	3	4	1	88,00	23,13	1,869E-05	3,03
3	3	4	2	86,85	27,26	1,75514E-05	5,46
3	3	4	3	90,94	23,76	2,03646E-05	3,42
3	3	4	4	93,33	12,14	2,50908E-05	1,25
3	3	4	5	88,20	29,28	2,03962E-05	2,27
3	4	4	1	91,34	20,90	1,83437E-05	2,86
3	4	4	2	92,55	24,65	1,2654E-05	3,19
3	4	4	3	87,22	43,26	1,82661E-05	7,99
3	4	4	4	93,10	27,06	1,45764E-05	1,17
3	4	4	5	94,51	19,44	9,04181E-06	1,71
3	1	5	1	116,96	14,99	2,6015E-05	1,33
3	1	5	2	121,45	26,28	2,40897E-05	2,98
3	1	5	3	112,59	42,87	2,26833E-05	5,67
3	1	5	4	121,25	21,10	3,03313E-05	2,42
3	1	5	5	118,06	26,31	2,57798E-05	0,90
3	2	5	1	115,88	17,45	1,99918E-05	1,73
3	2	5	2	121,49	24,08	2,46702E-05	2,18

... continua ...

Tabela 3D. (Continuação)

3	2	5	3	123,80	12,88	2,43941E-05	0,96
3	2	5	4	114,00	13,03	2,12606E-05	1,14
3	2	5	5	122,65	28,36	2,73336E-05	2,46
3	3	5	1	115,24	23,59	2,09757E-05	2,08
3	3	5	2	124,00	47,08	2,10843E-05	3,60
3	3	5	3	122,33	25,66	2,25364E-05	2,04
3	3	5	4	124,94	27,99	2,19717E-05	0,76
3	3	5	5	124,50	15,63	2,32906E-05	0,96
3	4	5	1	119,21	30,44	2,25602E-05	2,11
3	4	5	2	121,71	42,32	1,5645E-05	3,16
3	4	5	3	121,25	43,98	2,0216E-05	4,10
3	4	5	4	123,80	37,05	1,8333E-05	1,04
3	4	5	5	116,92	31,46	1,49108E-05	2,25

(1) tipo de solo: 3- Latossolo Roxo; (2) declividade das parcelas: 1-15%, 2-25%, 3-35%, 4 -45%; (3) chuva aplicada: 1-60 mm h⁻¹, 2-50 mm h⁻¹, 3-70 mm h⁻¹, 4-90 mm h⁻¹ 5- 120 mm h⁻¹; (4) repetições das parcelas; (5) intensidade de chuva real na parcela (mm h⁻¹); (6) taxa de erosão entressulcos (kg m⁻²s⁻¹); (7) taxa de enxurrada (m s⁻¹); (8) erodibilidade do solo (kg s m⁻⁴).

TABELA 1E. Umidade antecedente do solo (UA) para as chuvas simuladas aplicadas no PE

Parcela	APC ⁽¹⁾	DPC ⁽²⁾	UA1 ⁽³⁾	UA2 ⁽⁴⁾	UA3 ⁽⁵⁾	UA4 ⁽⁶⁾	UA5 ⁽⁷⁾	D5 ⁽⁸⁾
				m ³ m ⁻³				
1	0,20	0,28	0,29	0,26	0,28	0,29	0,26	0,27
2	0,22	0,29	0,25	0,28	0,27	0,29	0,31	0,26
3	0,21	0,32	0,26	0,28	0,27	0,29	0,29	0,30
4	0,24	0,30	0,26	0,12	0,87	0,31	0,26	0,24
5	0,22	0,28	0,24	0,28	0,26	0,25	0,28	0,28
6	0,21	0,31	0,26	0,28	0,28	0,26	0,30	0,29
7	0,22	0,26	0,24	0,28	0,24	0,27	0,31	0,30
8	0,19	0,26	0,22	0,25	0,28	0,26	0,29	0,30
9	0,20	0,30	0,26	0,28	0,27	0,26	0,30	0,25
10	0,21	0,25	0,23	0,26	0,24	0,26	0,28	0,25
11	0,22	0,32	0,24	0,27	0,27	0,30	0,28	0,32
12	0,23	0,30	0,29	0,27	0,27	0,27	0,28	0,27
13	0,21	0,31	0,28	0,25	0,28	0,27	0,27	0,29
14	0,20	0,28	0,27	0,19	0,27	0,26	0,26	0,27
15	0,20	0,33	0,26	0,29	0,30	0,27	0,24	0,28
16	0,20	0,28	0,26	0,27	0,26	0,29	0,28	0,22
17	0,20	0,27	0,27	0,29	0,29	0,29	0,25	0,27
18	0,26	0,32	0,28	0,30	0,31	0,27	0,29	0,25
19	0,24	0,28	0,25	0,26	0,28	0,25	0,28	0,27
20	0,21	0,28	0,29	0,27	0,34	0,24	0,29	0,26

(1) antes da pré-chuva; (2) depois da pré-chuva; (3) antes da 1ª chuva; (4) antes da 2ª chuva; (5) antes da 3ª chuva; (6) antes da 4ª chuva; (7) antes da 5ª chuva; (8) depois da 5ª chuva.

TABELA 2E. Umidade antecedente do solo (UA) para as chuvas simuladas aplicadas no PV

Parcela	APC ⁽¹⁾	DPC ⁽²⁾	UAI ⁽³⁾	UA2 ⁽⁴⁾	UA3 ⁽⁵⁾	UA4 ⁽⁶⁾	UA5 ⁽⁷⁾	D5 ⁽⁸⁾
				m ³ m ⁻³				
1	0,22	0,26	0,25	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
2	0,26	0,28	0,26	0,26	0,26	0,29	0,25	0,26
3	0,18	0,27	0,23	0,25	0,26	0,28	0,26	0,26
4	0,20	0,29	0,27	0,24	0,30	0,26	0,31	0,28
5	0,23	0,24	0,25	0,28	0,19	0,25	0,24	0,26
6	0,18	0,27	0,26	0,25	0,28	0,28	0,28	0,26
7	0,20	0,29	0,25	0,23	0,25	0,28	0,26	0,29
8	0,19	0,25	0,24	0,25	0,27	0,27	0,24	0,26
9	0,17	0,23	0,25	0,26	0,16	0,27	0,28	0,25
10	0,26	0,29	0,24	0,22	0,26	0,27	0,23	0,28
11	0,24	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,29	0,30
12	0,14	0,24	0,23	0,23	0,31	0,27	0,25	0,25
13	0,20	0,25	0,20	0,24	0,28	0,26	0,29	0,25
14	0,21	0,26	0,28	0,26	0,27	0,30	0,26	0,28
15	0,15	0,26	0,24	0,26	0,27	0,25	0,26	0,30
16	0,10	0,26	0,25	0,26	0,26	0,24	0,25	0,28
17	0,18	0,28	0,24	0,26	0,28	0,26	0,25	0,29
18	0,16	0,27	0,24	0,26	0,26	0,28	0,28	0,26
19	0,16	0,28	0,23	0,25	0,27	0,27	0,25	0,25
20	0,21	0,26	0,22	0,26	0,26	0,25	0,23	0,26

(1) antes da pré-chuva; (2) depois da pré-chuva; (3) antes da 1ª chuva; (4) antes da 2ª chuva; (5) antes da 3ª chuva; (6) antes da 4ª chuva; (7) antes da 5ª chuva; (8) depois da 5ª chuva.

TABELA 3E. Umidade antecedente do solo (UA) para as chuvas simuladas aplicadas no LR

Parcela	APC ⁽¹⁾	DPC ⁽²⁾	UA1 ⁽³⁾	UA2 ⁽⁴⁾	UA3 ⁽⁵⁾	UA4 ⁽⁶⁾	UA5 ⁽⁷⁾	D5 ⁽⁸⁾
				m ³ m ⁻³				
1	0,30	0,40	0,32	0,37	0,38	0,37	0,36	0,38
2	0,32	0,41	0,33	0,37	0,39	0,37	0,43	0,42
3	0,29	0,38	0,31	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37
4	0,31	0,38	0,32	0,39	0,37	0,39	0,40	0,38
5	0,31	0,39	0,33	0,36	0,37	0,37	0,40	0,42
6	0,31	0,38	0,32	0,39	0,37	0,36	0,40	0,40
7	0,34	0,39	0,35	0,39	0,39	0,37	0,38	0,42
8	0,31	0,38	0,34	0,35	0,39	0,37	0,38	0,40
9	0,31	0,37	0,32	0,39	0,38	0,38	0,36	0,40
10	0,30	0,39	0,34	0,37	0,37	0,37	0,36	0,38
11	0,35	0,40	0,36	0,43	0,41	0,41	0,42	0,42
12	0,32	0,40	0,35	0,41	0,49	0,44	0,41	0,40
13	0,35	0,44	0,36	0,43	0,41	0,42	0,43	0,42
14	0,30	0,42	0,36	0,45	0,39	0,41	0,43	0,42
15	0,35	0,41	0,35	0,44	0,40	0,44	0,39	0,42
16	0,30	0,41	0,34	0,39	0,44	0,39	0,40	0,42
17	0,33	0,41	0,36	0,44	0,44	0,41	0,42	0,42
18	0,34	0,39	0,35	0,40	0,39	0,40	0,49	0,42
19	0,46	0,37	0,35	0,40	0,40	0,39	0,40	0,42
20	0,34	0,40	0,35	0,41	0,40	0,35	0,42	0,38

(1) antes da pré-chuva; (2) depois da pré-chuva; (3) antes da 1ª chuva; (4) antes da 2ª chuva; (5) antes da 3ª chuva; (6) antes da 4ª chuva; (7) antes da 5ª chuva; (8) depois da 5ª chuva.

TABELA 1F. Resistência mecânica do solo à penetração para o PE, PV e LR.

Solo	Profundidade do solo cm	Resistência à penetração MPa	Umidade m ³ m ⁻³
PE	5	4	0,17
	10	4	0,17
	15	3,92	0,17
	20	4,38	0,17
	25	4,87	0,17
	30	5,74	0,17
	35	5,41	0,17
	40	5,20	0,17
	45	5,03	0,17
	50	5,35	0,17
PV	5	1,77	0,19
	10	1,77	0,19
	15	1,77	0,19
	20	1,77	0,19
	25	1,83	0,19
	30	2,08	0,19
	35	2,51	0,19
	40	3,41	0,19
	45	3,86	0,19
	50	3,31	0,19
	55	3,31	0,19
60	3,25	0,19	
LR	5	1,40	0,32
	10	1,40	0,32
	15	1,40	0,32
	20	1,40	0,32
	25	1,40	0,32
	30	1,40	0,32
	35	1,54	0,32
	40	1,66	0,32
	45	1,77	0,32
	50	1,81	0,32
	55	1,79	0,32
	60	1,80	0,32

TABELA 2F. Correlações entre alguns atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos estudados

Atributo 1	Atributo 2	Correlação (r)
------------	------------	----------------

(1) Fe _d	(7) EA ₁	0,91**
Fe _d	EA ₂	0,72**
Fe _d	EA ₃	-0,81**
Fe _d	EA ₄	-0,92**
Fe _d	EA ₅	-0,81**
Fe _d	EA ₆	-0,99**
Fe _d	(8) DMG	0,94**
Fe _d	DMP	0,91**
(2) Fe _s	DMG	0,84**
Fe _s	(8) DMP	0,79**
(3) Fe _o	DMG	0,97**
Fe _o	DMP	0,95**
(4) MO	DMG	0,48**
MO	DMP	0,41**
(5) D _s	(9) VTP	-0,99**
D _s	(10) UA	-0,88**
(6) RP	UA	-0,79**
RP	EA ₃	0,98**
RP	EA ₄	0,91**
RP	EA ₅	0,98**
RP	EA ₆	0,71**
RP	DMG	-0,89**
RP	DMP	-0,92**
RP	(11) C/(Ct + Gb)	0,88**
RP	(12) SiO ₂	0,99**

(1) Fe extraído pelo ditonito citrato carbonato (g.kg⁻¹); (2) Fe extraído aquecimento sulfúrico (g.kg⁻¹); (3) Fe extraído pelo oxalato de amônio (g.kg⁻¹); (4) matéria orgânica (%); (5) densidade solo (g.cm⁻³); (6) resistência à penetração (MPa); (7) estabilidade agregados (mm); (8) diâmetros médios geométrico e ponderado (mm); (9) volume total poros (%); (10) unidade (%); (11) relação caulinita/caulinita + gibsit; (12) óxido de silício extraído pelo aquecimento sulfúrico; ** significativo a 1%.