

MARX LEANDRO NAVES SILVA

ERODIBILIDADE E IMPACTO DIRETO DAS GOTAS DE
CHUVA SIMULADA SOBRE A SUPERFÍCIE DE
LATOSSOLOS SOB CERRADO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Lavras, como parte das exigências do
Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de
Concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a
obtenção do grau de MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS — MINAS GERAIS

1994

MARK LEANDRO NAVES SILVA

PERMEABILIDADE E IMPACTO DIRETO DAS GOTAS DE
CHUVA SIMULADA SOBRE A SUPERFÍCIE DE
LATOSSOLOS SOB CERRADO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Lavras, como parte das exigências do
Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de
Concentração Sólidos e Nutrição de Plantas, para a
obtenção do grau de MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

1994

ERODIBILIDADE E IMPACTO DIRETO DAS GOTAS DE CHUVA SIMULADA SOBRE
A SUPERFÍCIE DE LATOSSOLOS SOB CERRADO

APROVADA: 18 de Fevereiro de 1994



Prof. Nilton Curi
Orientador



Prof. Mozart Martins Ferreira



Prof. Marcelo Silva de Oliveira

A Deus,

Aos meus pais, Dirceu e Sirlene (in memorian),

e à minha Vó Orozina,

Que com carinho, estímulo e dedicação

alicerçaram-me com um ideal científico e moral,

Ofereço.

À minha esposa Andréia,

pelo carinho e amor,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade de aprendizado e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Nilton Curi, pelo apoio, amizade e excelente orientação, agradeço com profunda admiração.

Aos Professores Mozart Martins Ferreira (DCS-ESAL) e Marcelo Silva de Oliveira (DEX-ESAL), pelo estímulo, colaboração e valiosas sugestões.

Ao Professor José Maria de Lima (DCS-ESAL), responsável pela minha iniciação à ciência do solo, pelo apoio e incentivo constantes.

Ao Professor Luiz Antônio de Lima (DEG-ESAL), pela disponibilidade do laboratório de Hidráulica e pelo auxílio no teste de salpico do solo.

Ao Pesquisador Francisco Lombardi Neto (IAC-Seção de Conservação do Solo), pela colaboração e sugestões apresentadas.

Ao colega João José Granate de Sá e Melo Marques, pela disposição e indispensável auxílio em todas as fases deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela amizade e ensinamentos no decorrer do curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a Carlos, Jairo, Delanne e João, pelo auxílio nas determinações químicas, mineralógicas e físicas.

Aos funcionários da Biblioteca Central da ESAL, especialmente aos Biblioteconomistas Luiz Carlos de Miranda e Maria Helena Castro, pelo pronto auxílio na revisão da bibliografia.

A todos os colegas da Pós-Graduação e Graduação da ESAL, especialmente aos amigos Carlos Alberto, Nilton Braga, Djail Santos, Joel Pereira, Geraldo César, Sérgio Gualberto e Flávio Pereira, pela amizade e alegres momentos passados juntos.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Determinação da erodibilidade do solo	4
2.2. Fatores que Influenciam a Erodibilidade do Solo	5
2.2.1. Constituintes Mineralógicos e Químicos	6
2.2.1.1. Constituintes Mineralógicos	6
2.2.1.2. Constituintes Químicos	8
2.2.1.2.1. Óxidos de Ferro, de Alumínio e de Silício	8
2.2.1.2.2. Matéria Orgânica	9
2.2.1.2.3. pH e Delta pH	11
2.2.1.2.4. Ponto de Efeito Salino Nulo	13
2.2.2. Propriedades Físicas	14
2.2.2.1. Textura	14
2.2.2.2. Estrutura	16
2.2.2.3. Coerência e Permeabilidade	17
2.2.2.4. Estabilidade de Agregados	18

2.3. Determinação Indireta da Erodibilidade do Solo .	19
2.4. Determinação Direta da Resistência do Solo à Erosão	21
2.4.1. Uso de Simulador de Chuva para Determinação da Erodibilidade	21
2.4.2. Uso do Mini-Simulador para Estudo de Salpico do Solo	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Localização e Caracterização da Área Estudada ..	26
3.2. Morfologia e Amostragem dos Solos	27
3.3. Análises Mineralógicas, Químicas e Físicas dos Solos	28
3.3.1. Análises Mineralógicas	28
3.3.2. Análises Químicas	28
3.3.3. Análises Físicas	31
3.4. Determinação Indireta da Erodibilidade do Solo .	33
3.5. Método do Simulador de Chuva para Determinação da Erodibilidade	38
3.6. Método do Mini-Simulador para Estudo do Salpico	41
3.7. Estimativa das Perdas de Solo	44
3.8. Análises Estatísticas	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Caracterização Mineralógica	46
4.2. Caracterização Química	47
4.3. Caracterização Física	51

4.4. Avaliação dos Índices de Erodibilidade Obtidos de Maneira Indireta em Relação ao Método Direto	57
4.5. Avaliação do Impacto direto das Gotas de Chuva Simulada Sobre a Superfície do Solo	61
4.6. Perdas de Solo	66
5. RESUMO E CONCLUSÕES	68
6. SUMMARY AND CONCLUSIONS	71
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
8. APÊNDICE I	92
9. APÊNDICE II	99
10. APÊNDICE III	104
11. APÊNDICE IV	107

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1.	Parâmetros utilizados para determinação direta da erodibilidade através de chuva simulada	41
2.	Rocha de origem, cor úmida do hor. A, teores de caulinita e gibbsita na fração argila desferrificada e taxa de minerais leves/pesados na fração areia	46
3.	Teores de cátions do complexo sortivo	48
4.	Propriedades eletroquímicas e teores de matéria orgânica (MO)	49
5.	Teores de óxidos do ataque sulfúrico, de ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_d) e pelo oxalato de amônio (Fe_o)	50

Quadro	Página
6. Densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), volume total de poros (VTP), macro e microporosidade e superfície específica	51
7. Índice de flocculação, estrutura, permeabilidade e classes para uso nos modelos de predição da erodibilidade	52
8. Estabilidade de agregados em água e diâmetro médio geométrico (DMG)	53
9. Graus de umidade e seus respectivos potenciais matriciais e equivalente de umidade (EU)	54
10. Valores da distribuição porcentual por tamanho de partículas e/ou agregados dispersos com NaOH e água	55
11. Parâmetros granulométricos e relações utilizadas para determinação da erodibilidade pelos métodos indiretos	56
12. Índices de erodibilidade obtidos por diferentes métodos	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Curvas de titulação em diferentes concentrações de NaCl para determinação do ponto de efeito salino nulo (PESN) no Latossolo Vermelho-Escuro ...	30
2.	Curvas de titulação em diferentes concentrações de NaCl para determinação do ponto de efeito salino nulo (PESN) no Latossolo Vermelho-Amarelo ..	30
3.	Nomograma de WISCHMEIER et. al. (1971) para determinação indireta da erodibilidade	36
4.	Representação esquemática do mini-simulador de chuva empregado no estudo do salpico	42
5.	Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para o Latossolo Vermelho-Escuro (LE)	60

Figura	Página
6. Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)	60
7. Quantidades de solo salpicado para 4 valores de energia cinética em amostras indeformadas (i) e deformadas (d) do Latossolo Vermelho-Escuro (LE)	62
8. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética em amostras indeformadas (i) e deformadas (d) do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)	62
9. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostra indeformada	64
10. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostra deformada	64
11. Estimativa de perdas de solo para as várias es- ções do ano	67

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo é um processo que ocorre em duas fases. A primeira fase é a desagregação do solo superficial pelo impacto da gota de chuva e/ou pela enxurrada. A segunda fase é o transporte das partículas do solo desagregado pela enxurrada do seu ponto de origem para um local no declive, onde ocorre a deposição, devido à carga de sedimentos exceder a capacidade de transporte (FOSTER, et al., 1985).

O termo erodibilidade refere-se à habilidade potencial do solo em resistir à erosão hídrica, governada pelas características e propriedades do solo. Por sua vez, a erosividade expressa a habilidade dos agentes erosivos, no presente estudo a chuva, em causar a desagregação e o transporte do solo (LAL, 1988).

A erodibilidade é determinada de maneira direta através do fator K da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE): é a perda média de solo por unidade do fator erosividade quando o

solo é mantido sem vegetação e sem prática de controle da erosão, em parcelas-padrão originalmente com 22,13m de comprimento e 9% de declive (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A determinação direta da erodibilidade do solo constitui-se no parâmetro de maior custo, seja através de parcela padrão sob condições de chuva natural, durante um longo tempo, ou sob condições de chuvas simuladas. Por essa razão, muitos pesquisadores têm tentado obter os valores da erodibilidade de maneira indireta, através de equações baseadas nas características e propriedades do solo que melhor se correlacionam com as perdas de solo.

No Brasil, vários pesquisadores têm proposto métodos e adaptações de métodos usados em outros países para determinação indireta da erodibilidade (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975a; LIMA et al., 1990; DENARDIN, 1990; GALINDO & MARGOLIS, 1992), fundados em determinações morfológicas, físicas e químicas.

A carência de dados e a indefinição do melhor método para determinação da erodibilidade de maneira indireta, que possibilite enquadrar os solos em classes distintas de resistência à erosão e reflita a perda real constatada no campo para as condições locais, constitui um dos problemas na utilização da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para servir de apoio na elaboração de planos para controle de erosão hídrica do solo. Sob este aspecto, PUNDEK (1992) cita que os técnicos de campo precisam ter segurança de que suas

recomendações de conservação do solo sejam eficientes no controle da erosão.

Portanto, o desenvolvimento de métodos sensíveis às condições locais é de suma importância para o uso da USLE nas previsões de perdas de solos, e para verificar se elas estão dentro dos limites de tolerância aceitável, fato que é de grande validade para os técnicos de campo, servindo de verdadeiro guia na indicação de práticas conservacionistas e de uso e manejo do solo.

Diante do exposto, esse estudo teve por objetivos: determinar indiretamente os índices de erodibilidade para Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro da região de Lavras (MG) e comparar estes com o índice padrão, ou seja, obtido de maneira direta no campo com simulador de chuva; estudar o impacto direto das gotas de chuva simulada na superfície de amostras do solo; e estimar as perdas de solo para as várias estações do ano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Determinação da Erodibilidade do Solo

A causa fundamental da erosão hídrica do solo é o fato da chuva agir sobre o solo. O impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos e o solo é o agente passivo da erosão hídrica (HUDSON, 1971). A erodibilidade do solo é a recíproca da resistência do mesmo à erosão, ou seja, é a vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão. Usualmente a erodibilidade do solo, devido às suas características intrínsecas, é expressa em termos de um índice de erodibilidade, fator K (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O primeiro autor a reconhecer formalmente a variabilidade das propriedades do solo que influem sobre sua resistência à erosão foi BENNETT (1926), a qual foi designada de erodibilidade por Cook (1936), citado por HENKLAIN, (1980).

Basicamente, existem três maneiras diferentes de determinar a erodibilidade do solo. A primeira envolve a determinação do fator K em condições de campo sob chuva natural (MUTCHLER et al., 1988). Entretanto, este método é oneroso e muito demorado. O segundo método é semelhante ao primeiro, porém baseia-se na quantificação do fator K em função das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuvas simuladas (MEYER & McCUNE, 1958; WISCHMEIER & SMITH, 1978). O terceiro método baseia-se em equações de regressão que contenham como variáveis independentes propriedades morfológicas, químicas e físicas, altamente correlacionadas com o fator K (WISCHMEIER & MANNERING, 1969).

A erodibilidade é o fator mais importante para a escolha de práticas conservacionistas, devido ao fato de refletir, para os diferentes solos, perdas variáveis quando sob mesmas condições de declive, comprimento de rampa, manejo e chuva.

2.2. Fatores que Influenciam a Erodibilidade do Solo

As propriedades físicas do solo que influenciam a erodibilidade são dependentes da constituição mineralógica e química do mesmo, podendo ser agrupadas em duas classes, segundo SMITH & WISCHMEIER (1962): aquelas que afetam a velocidade de infiltração e permeabilidade, e aquelas que influem sobre a

resistência do solo às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelas forças da chuva e da enxurrada.

2.2.1. Constituintes Mineralógicos e Químicos

2.2.1.1. Constituintes Mineralógicos

Os minerais do solo são constituintes bastante importantes sob o aspecto de sua agregação, sendo caulinita, gibbsita, hematita e goethita, em diferentes proporções, os principais componentes da fração argila dos latossolos brasileiros (RESENDE, 1982 e 1985).

Segundo FERREIRA (1988), do ponto de vista do teor, gibbsita e caulinita são os constituintes mineralógicos que maior influência exercem sobre as propriedades físicas, sendo os principais responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura; já os óxidos de ferro (goethita e hematita) apresentam uma atuação discreta na manifestação dessas propriedades nos latossolos. Deve-se ter em mente também, que estes últimos tem, via de regra, maior área superficial específica (RESENDE et al., 1988). Como todos estes componentes em conjunto interferem nas propriedades estruturais do solo eles tornam-se importantes no estudo de sua erodibilidade (POMBO et al., 1981 e 1982).

Os óxidos de alumínio e de ferro, notadamente gibbsita, hematita e goethita, tendem a desorganizar as

partículas do solo ao nível microscópico. Assim, ao maior teor destes constituintes, ocorrerá um maior grau de desorganização, e, conseqüentemente, uma estrutura mais granular (RESENDE, 1982).

BRUCE-OKINE & LAL (1975) estudaram a resistência dos agregados de vários solos tropicais ao impacto de gota de chuva originada de um mini-simulador de chuva e concluíram que a diferença de erodibilidade encontrada não pode ser atribuída apenas ao conteúdo de argila, mas também à natureza do mineral constituinte. Assim, foram constatadas diferenças de comportamento entre solos com argilas do tipo 2:1 expansivas e solos cauliníticos (tipo 1:1) com óxidos de ferro e de alumínio, sendo os primeiros menos resistentes ao impacto da gota de chuva.

A inadequação do modelo indireto de avaliação da erodibilidade de WISCHMEIER et al. (1971) para latossolos constatada por vários autores, pode ser, em parte, devido ao fato de que os solos utilizados para o desenvolvimento do modelo tinham, na sua maioria, assembléia mineralógica (teor, tipo e características) diferente daquela dos latossolos. Sob este aspecto, EL-SWAIFY & DANGLER (1977) desenvolveram 6 modelos para a estimativa da erodibilidade, onde eles incluem as características mineralógicas.

2.2.1.2. Constituintes Químicos

2.2.1.2.1. Óxidos de Ferro, de Alumínio e de Silício

Uma série de trabalhos tem encontrado uma alta correlação dos óxidos de ferro, de alumínio e de silício com a erodibilidade. Um dos primeiros trabalhos desta natureza foi aquele de BENNETT (1926), para solos com altos teores de argila de regiões tropicais e temperadas úmidas. MIDDLETON (1930) procurou determinar, em laboratório, quais propriedades físicas e químicas do solo se relacionavam com a erodibilidade, e dentre estas encontrou boa correlação para a razão sílica-sesquióxidos.

Por meio de análise de regressão linear múltipla, ROTH et al. (1974) desenvolveram um modelo matemático para a estimativa da erodibilidade de subsolos argilosos. Dentre as variáveis correlacionadas estavam os teores de óxidos de ferro, de alumínio e de silício extraíveis pela solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB). RÖMKENS et al. (1977) simplificaram o modelo de ROTH et al. (1974), considerando apenas os teores de óxidos de alumínio e de ferro extraíveis pela solução de DCB.

O nomograma desenvolvido por ROTH et al. (1974), embora contemple parâmetros importantes na agregação de solos tropicais, pode ser impróprio para estes solos, uma vez que os teores destes elementos nos solos geradores do modelo são muito inferiores aos

teores encontrados nos solos tropicais (EL-SWAIFY & DANGLER, 1977).

DENARDIN (1990) desenvolveu um modelo para estimar o fator erodibilidade para os solos do Brasil, e verificou que há um número muito pequeno de variáveis significativamente correlacionadas com o fator erodibilidade determinado no campo. O modelo, ao incluir o teor de óxidos de alumínio extraíveis pelo ataque sulfúrico, eleva o coeficiente de determinação de 0,84 para 0,87, melhorando a capacidade preditiva do mesmo.

Segundo trabalhos de VEIGA et al. (1993), o teor de óxidos de ferro extraídos por HCl 6N explicaram 97,75% da variação nos valores de erodibilidade em entressulcos para as várias classes de solo estudadas. REICHERT & CABEDA (1992) estudaram o salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul e observaram que a taxa média de salpico foi negativa e significativamente correlacionada com óxidos de ferro amorfos e óxidos de ferro e de alumínio cristalinos.

2.2.1.2.2. Matéria Orgânica

A matéria orgânica tem afeito na estruturação dos solos e formação dos agregados. A quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo é que condicionam a melhoria das condições físicas (STALLINGS, 1957). Além deste aspecto, ela está

relacionada com a atividade de muitos organismos, produzindo eles alterações no solo e reduzindo a erosão (TROEH et al., 1980). Há, normalmente, um teor substancialmente maior em matéria orgânica nos primeiros centímetros do solo, em relação aos centímetros seguintes. A matéria orgânica da superfície do solo ajuda sobremaneira a evitar a desagregação e o deslocamento de partículas, evitando assim uma erosão pronunciada (RESENDE, 1985).

A matéria orgânica desempenha um papel marcante na predição da erodibilidade. Sob este aspecto, uma série de autores desenvolveu modelos para a predição da erodibilidade e encontrou altas correlações desta com teores de matéria orgânica (BARNETT et al., 1965; LYLE & SMERDON, 1965; WISCHMEIER & MANNERING, 1969; WISCHMEIER et al., 1971). WISCHMEIER et al. (1971) relatam que a erodibilidade do solo tende a diminuir apreciavelmente com o aumento do teor de matéria orgânica. Contudo, em solos que apresentam elevada porcentagem de argila, pequenas variações no teor de matéria orgânica não influenciam na erodibilidade (WISCHMEIER & MANNERING, 1969; TROEH et al., 1980). DENARDIN (1990) desenvolveu um modelo para a predição da erodibilidade para solos do Brasil, e um segundo modelo onde considera solos do Brasil e EUA. No primeiro modelo, a matéria orgânica apresentou alta correlação com a erodibilidade. Já no segundo modelo, houve alta correlação para a taxa matéria orgânica/ teor da nova areia (0,1-2,0 mm).

2.2.1.2.3. pH e Delta pH

Segundo CASTRO & LOGAN (1991), as perdas de solo e o salpico diminuíram significativamente com o aumento do pH após a calagem, apesar de ocorrer um aumento na dispersão da argila a curto prazo. A dispersão ou floculação do solo depende da composição química dos cátions trocáveis, da concentração de eletrólitos da solução do solo, da densidade de carga dos colóides e da distribuição das cargas na superfície das argilas (HAMBLIN, 1985). Estes aspectos influenciam diretamente a erodibilidade dos solos.

A aplicação de calcário teve um efeito dispersante sobre os agregados de um solo argiloso, aumentando a porcentagem de agregados de menor diâmetro e tornando o solo menos permeável. Esse aumento da dispersão esteve relacionado diretamente à elevação do pH, cujo efeito não foi contrabalanceado pelo aumento da concentração de cátions na solução do solo pela aplicação do calcário, que promoveria maior floculação e agregação. A adição de matéria orgânica teve efeito contrário, aumentando a taxa de percolação. O efeito benéfico da matéria orgânica contrabalanceou o efeito físico "maléfico" do calcário. Considerando-se os resultados relativos à taxa de percolação do solo estudado, a aplicação do calcário aumentou a erodibilidade, e a aplicação de matéria orgânica a diminuiu (PEELE, 1937). KANDIAH (1979) estudou solos do Sri Lanka (Japão) e concluiu que para predizer a

erodibilidade dos solos é importante ter informações sobre a capacidade de troca de cátions e composição da solução do solo. Este aspecto é ressaltado também por TROEH et al. (1980).

O delta pH é definido como a diferença entre o pH em KCl 1N e o pH em água. O delta pH pode ser positivo, zero ou negativo, para solos com carga líquida positiva, zero e negativa, respectivamente. No entanto, é a magnitude, mais que o sinal do delta pH, que está relacionada com a estabilidade estrutural. A máxima estabilidade estrutural deveria ocorrer quando delta pH = 0, com igual decréscimo na estabilidade para iguais incrementos ou decréscimos em delta pH (EL-SWAIFY & TAMA, 1978).

O delta pH corresponde ao sinal e magnitude de carga superficial do solo, e valores de delta pH pequenos (menores unidades), geralmente indicam um solo dominado por minerais com carga variável. Por outro lado, se o delta pH tiver um alto valor negativo, nada pode ser dito se a carga é variável ou permanente, indicando apenas uma elevada densidade de carga superficial negativa (UEHARA & GILLMAN, 1980). ANGULO (1983) observou que a agregação do solo se correlacionou com o delta pH, mostrando que a resistência dos agregados ao impacto da gota de chuva simulada diminui com a carga líquida.

2.2.1.2.4. Ponto de Efeito Salino Nulo

O ponto de efeito salino nulo (PESN) ou ponto de carga zero (PCZ) é um ponto de referência para avaliar o sinal de carga líquida da superfície das partículas do solo em relação ao pH atual do solo, ou seja, se ele está carregado positivamente ($\text{pH} < \text{PCZ}$) ou negativamente ($\text{pH} > \text{PCZ}$). No PCZ, o delta pH é igual a zero ($\text{delta pH} = \text{pH}_{\text{KCl 1N}} - \text{pH}_{\text{água}}$), e não há predominância de uma carga sobre a outra (SPOSITO, 1989).

No solo ocorrem, principalmente, reações de superfície. Dessas, as que envolvem as cargas elétricas dos colóides se sobressaem, do ponto de vista da física de solos, pois influenciam sobremaneira as reações de floculação e dispersão (COSTA et al., 1984). O PCZ também se mostra importante no que diz respeito à floculação ou dispersão de solos que apresentam a possibilidade de reverter a carga superficial líquida, de positiva para negativa, com o aumento do pH, como é o caso de sistemas caulíníticos e oxídicos. O PCZ do solo depende fundamentalmente do teor de matéria orgânica e da composição mineralógica da fração argila, correspondendo os valores mais altos ao predomínio de gibbsita, hematita e goethita, e os mais baixos, à caulinita e matéria orgânica (RAIJ & PEECH, 1972; RAIJ, 1973; EL-SWAIFY & TAMA, 1978). A matéria orgânica torna mais baixo o PCZ dos solos oxídicos, de modo que neles o horizonte A costuma ter PCZ mais baixo que o horizonte B (RAIJ, 1973).

2.2.2. Propriedades Físicas

2.2.2.1. Textura

A distribuição do tamanho de partículas é um bom determinante da erodibilidade. A erodibilidade tende a aumentar com o incremento do conteúdo de silte mais areia muito fina e a diminuir com o aumento dos conteúdos de areia maior que 0,1mm e argila (WISCHMEIER et al., 1971).

Segundo WISCHMEIER & MANNERING (1969), a análise da relação da erodibilidade com a textura do solo mostra que geralmente os solos se tornam menos susceptíveis à erosão quando decresce o teor de silte; no entanto, as porcentagens de silte, areia e argila devem ser consideradas em relação à níveis de outros parâmetros físicos e químicos.

WISCHMEIER et al. (1971) definiram um parâmetro granulométrico denominado M, o qual reflete, estatisticamente, o interrelacionamento do tamanho das partículas do solo com sua erodibilidade, sendo constatada a aplicabilidade do modelo para solos que apresentam valor M maior que 3.000. Entretanto, este modelo é válido para solos de textura média, não sendo válido para solos com altos teores de argila ou de areia.

As partículas do solo não são igualmente deslocadas pelas águas da chuva no processo erosivo. As partículas mais finas, vencida a força que as une formando agregados menores, são

facilmente transportadas, e as partículas maiores resistem mais à remoção, tendendo a se acumular na superfície do solo (RESENDE, 1985).

As frações silte mais areia muito fina desempenham um papel muito importante no encrostamento, sendo de se prever que solos mais ricos em silte tenham uma tendência mais acentuada ao encrostamento (RESENDE, 1982). Esta tendência ao encrostamento foi verificada também em latossolos que, por definição, são pobres em silte. Tal fenômeno é atribuído às argilas floculadas, que podem permanecer no tamanho das frações silte e areia muito fina (RESENDE, 1982; RESENDE, 1985; LIMA et al., 1990; FERREIRA et al., 1993).

Os teores de silte e areia muito fina, obtidos da análise granulométrica com dispersão total (NaOH), estão entre os principais parâmetros responsáveis pela erodibilidade dos solos. Sendo os latossolos, via de regra, pobres em silte, os índices de erodibilidade, que consideram tais parâmetros relevantes, apresentam para os mesmos acentuada resistência à erosão. Entretanto, quando a dispersão do material de solo é realizada somente com água, os agregados, de elevada estabilidade nesses solos, podem permanecer no tamanho das frações silte e areia muito fina, permitindo dúvidas sobre a aplicabilidade dos resultados de granulometria com dispersão total na predição do seu comportamento diante da erosão. O emprego das frações granulométricas dispersas em água conduziu a valores mais

elevados para a erodibilidade, comparados àqueles obtidos de maneira convencional (nomograma de WISCHMEIER et al., 1971), notadamente no horizonte B cujas unidades estruturais são menores e mais estáveis (LIMA et al., 1990).

O modelo de WISCHMEIER et al. (1971) apresenta limitações para a estimativa do fator erodibilidade de solos tropicais. Entre outros aspectos, os teores de argila utilizados para o desenvolvimento do modelo são menores que o teor ocorrente em solos tropicais (EL-SWAIFY & DANGLER, 1977).

No Brasil, uma série de autores testando a precisão do modelo desenvolvido por WISCHMEIER et al. (1971), concluiu que ele subestima a erodibilidade dos latossolos quando comparado com resultados obtidos de maneira direta. A imprecisão do método se deve basicamente à diferença granulométrica entre os latossolos e os solos utilizados para a geração do modelo (FREIRE & PESSOTTI, 1974; HENKLAIN & FREIRE, 1983; ANGULO, 1983).

2.2.2.2. Estrutura

Nos latossolos as partículas primárias (argila, silte e areia) geralmente se encontram agrupadas, formando partículas maiores (agregados), conferindo-lhes uma estrutura granular estável (RESENDE, 1982). A estrutura desempenha um papel fundamental na erodibilidade do solo, influenciando a velocidade de infiltração, resistência à dispersão, deslocamento por

salpico, abrasão e forças de transporte e escoamento superficial (SUARES DE CASTRO, 1980).

Segundo WISCHMEIER et al. (1971), a estrutura granular, quando comparada às estruturas maciça, laminar e em blocos, apresenta um valor menor de erodibilidade. Já RESENDE (1982) afirmou que estes pequenos grânulos, facilmente transportados pela água, muitas das vezes são provenientes da estrutura granular, onde os grânulos se aproximam do formato de esfera e apresentam um mínimo de área exposta por unidade de volume, proporcionando baixa coerência entre eles, facilitando a ação da água e conseqüentemente o arraste das partículas.

As placas de argilas silicatadas tendem a assumir um arranjo face a face (estrutura em blocos) conferindo ao sistema maior coesão e menor permeabilidade. Havendo teores substanciais de óxidos de alumínio (gibbsita), óxidos de ferro (hematita, goethita) e/ou matéria orgânica, a estrutura tende a se transformar de blocos para granular, com formato semelhante a esferas, reduzindo a coesão e aumentando a permeabilidade (RESENDE, 1982; RESENDE, 1985).

2.2.2.3. Coerência e Permeabilidade

O balanço da coerência entre agregados e permeabilidade, que segundo LIMA (1987) condiciona o comportamento de latossolos frente ao processo erosivo, está

relacionado com os teores de óxidos de ferro. Segundo o mesmo autor, a maiores teores de óxidos de ferro, observados no Latossolo Vermelho-Escuro em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo, correspondem maiores teores de gibbsita em relação à caulinita. O maior grau de arredondamento e o menor tamanho das unidades estruturais, propiciam menor coerência entre agregados e maior permeabilidade, porém, dentro de limites que parecem conferir uma condição mais ideal de balanço entre estas propriedades no Latossolo Vermelho-Escuro, conferindo-lhe maior resistência à erosão.

2.2.2.4. Estabilidade de Agregados

A agregação do solo é uma das mais importantes propriedades dinâmicas a ser consideradas quando se investiga o comportamento do mesmo em relação à erosão (YODER, 1936). CASSOL et al. (1981) salientam que a erodibilidade depende de várias características do solo; dentre estas a estabilidade de agregados é uma das mais importantes. ANGULO (1983) estudando a relação entre a erodibilidade e algumas propriedades dos solos, concluiu que a agregação do solo, estimada através da estabilidade dos agregados em água, e a resistência ao impacto da gota foram as características, dentre as estudadas, que melhor se correlacionaram com a erodibilidade do solo (Fator K), determinada por método direto.

2.3. Determinação Indireta da Erodibilidade do Solo

Durante muitos anos os pesquisadores têm tentado relacionar a erosão do solo medida no campo com as características e propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo que podem ser determinadas em laboratório, utilizando uma única propriedade ou uma combinação destas, a exemplo de MIDDLETON (1930), BOUYOUCOS (1935) e GERDEL (1937).

Sob este aspecto, WISCHMEIER & MANNERING (1969), utilizando 55 solos, desenvolveram uma equação empírica para calcular o fator K da Equação Universal de Perdas de Solo. Posteriormente, WISCHMEIER et al. (1971) elaboraram um nomograma que permite avaliar a erodibilidade dos solos com base em cinco parâmetros.

A determinação da erodibilidade usando o nomograma de WISCHMEIER et al. (1971), mostra que sua validade é limitada, como foi constatada, em solos do Hawai por EL-SWAIFY & DANGLER (1977), e, no Brasil, por FREIRE & PESSOTTI (1976), POMBO et al. (1981), HENKLAIN & FREIRE (1983) e ANGULO et al. (1985).

FREIRE & PESSOTTI (1976) determinaram a erodibilidade de alguns solos do município de Piracicaba (SP) pelo nomograma de WISCHMEIER et al. (1971) e observaram que o método não se aplica a solos com baixa porcentagem de silte mais areia muito fina. Mais tarde, HENKLAIN & FREIRE (1983), utilizando o mesmo método para alguns latossolos do estado do Paraná, obtiveram valores mais baixos do que os determinados diretamente sob condições de

chuva natural e chuva simulada, ambos tidos como padrão, e enfatizaram a necessidade da inclusão de novos parâmetros para a elaboração de um método indireto específico para estes solos.

Em Ubajara (CE), o valor de erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo, determinado pelo método do nomograma, apresentou-se sete e nove vezes menor em relação aos valores padrão com chuva natural e chuva simulada, respectivamente (MARTINS FILHO & SILVA, 1985).

Os resultados da aplicação do nomograma de WISCHMEIER et al. (1971) "geraram" dúvidas quanto à sua aplicabilidade no Brasil com a utilização dos dados granulométricos com dispersão total do solo (utilizando NaOH). Numa tentativa de adequar o nomograma aos latossolos da região de Lavras (MG), LIMA et al. (1990) propuseram uma modificação. Assim, a porcentagem de partículas e/ou agregados menores que 0,1mm (dispersos em água) substitui a porcentagem de silte mais areia muito fina do nomograma, e a porcentagem de partículas e/ou agregados maiores que 0,1mm (também dispersos em água) substitui a porcentagem de areia correspondente (maior que 0,1mm), sendo os demais parâmetros os mesmos do nomograma original.

A adoção dos índices, com a modificação proposta, na ausência de dados comparativos, pode estar superestimando as perdas de solo, mas certamente, o valor obtido no método convencional (WISCHMEIER et al., 1971) superestima a resistência desses solos à erosão (LIMA et al., 1990 e FERREIRA, 1992).

A utilização, com as devidas precauções, destas metodologias de determinação da erodibilidade, por serem simples e facilmente adaptadas à rotina dos laboratórios, poderá subsidiar, na ausência de dado padrão (de campo), a predição da erodibilidade e fazer parte de boletins de levantamentos de solos, servindo como mais uma orientação para o estabelecimento de práticas conservacionistas.

2.4. Determinação Direta da Resistência do Solo à Erosão

Determinados fatores que interferem no fenômeno da erosão, inerentes ao solo e ao clima, somente podem ser controlados e isolados satisfatoriamente em laboratório, em condições diferentes daquelas do ambiente natural, facilitando, pois a análise dos resultados. É o caso do estudo das características do solo que condicionam sua erodibilidade ou sua desagregação e transporte com o auxílio de simulador de chuva, seja em laboratório ou em condições de campo (BERTONI et al., 1975).

2.4.1. Uso de Simulador de Chuva para Determinação da Erodibilidade

O uso do simulador de chuva para estudo de erosão e determinação de índices que expressem a suscetibilidade dos solos à erosão vem de longa data, conforme relataram Lowdermilk (1930),

Nichols e Sexton (1932), Adams et al. (1937) e Ellison & Pomerene (1944), citados por HENKLAIN (1980).

O simulador de chuvas mais difundido é o desenvolvido por SWANSON (1965), com braços rotativos com bicos do tipo "Vee-jet 80100". As maiores vantagens do simulador de braços rotativos são: a pequena influência do vento sobre o padrão de chuva simulado, a capacidade de provocar chuvas de médias e altas intensidades, a capacidade de reprodução das chuvas, uniformidade de aplicação nas parcelas, a padronização das parcelas e a sua grande mobilidade operacional.

O desenvolvimento do simulador de chuva aliado à equação universal de perdas de solo ($A=R.K.LS.C.P$) proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978), onde: A é perda de solo; R é o fator erosividade da chuva; K é o fator erodibilidade do solo; L é o fator comprimento do declive; S é o fator grau de declive; P é o fator práticas conservacionistas; e C é o fator cobertura vegetal e manejo da cultura, trouxe um grande avanço nos estudos de erodibilidade dos solos. Segundo os mesmos autores, a erodibilidade é avaliada em parcelas sem cobertura vegetal e preparadas no sentido do declive, nas quais os fatores C e P tornam-se iguais à unidade e a equação fica reduzida a $A=R.K.LS$, sendo $k=A/R.LS$.

A partir de 1975, o método do simulador de chuva passou a ser difundido no Brasil (após o I^o Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simuladores de Chuva, realizado em

Londrina - PR). Uma série de pesquisadores determinou o fator K para várias classes de latossolos, como por exemplo, ANGULO (1983) em Paranavaí - PR (LE textura média); TÁVORA et al. (1985) em Ubajara-CE (LV textura média); e Silva (1989) em Areia-PB (LV textura média), citados por DENARDIN (1990), cujos valores de erodibilidade foram 0,008, 0,034 e 0,002 t.ha.h/ha.MJ.mm, respectivamente.

Segundo IAPAR (1982), citado por FARIAS (1988), as perdas de solo por escoamento podem atingir 89 t/ha.ano em Latossolo Roxo, descoberto, com declividade de 8%, e 21 t/ha.ano em Latossolo Vermelho-Escuro com declividade de 4%, também descoberto.

2.4.2. Uso do Mini-Simulador para Estudo de Salpico do Solo

Para avaliar a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, há grande variedade de métodos. Em laboratório, costuma-se expor quantidades conhecidas de solo à ação do mini-simulador de chuva, com pressão, tamanho de gota e intensidade controlados, podendo-se estudar os efeitos de desagregação e transporte de partículas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Estudos experimentais de salpico do solo provocado pela gota de chuva mostraram que, quando se utiliza gotas de 5,1mm de diâmetro caindo com velocidade de 5,5m/s, a distância máxima

atingida pelas partículas é de aproximadamente 1,5m (ELLISON, 1944). O impacto desloca maior quantidade de agregados grandes do que o escoamento superficial. Perdas de solo por impacto aumentam com o tamanho e velocidade terminal da gota (ELLISON, 1944).

Estudos de relações quantitativas entre deslocamentos de partículas do solo e características físicas da chuva (intensidade, tamanho de gota, velocidade de impacto e duração), concluíram que, para as durações de 15, 30 e 50 minutos testados, o deslocamento de partículas do solo foi constante, mas variando com a classe de solo e tamanho de gota da chuva (ROSE, 1960). O mesmo autor ainda relatou que a razão de solo deslocado por impacto dependeu mais do "momentun" da chuva por unidade de área e tempo, do que da energia cinética, corroborando dados de WILLIAMS (1969).

Segundo FARIAS (1988), as chuvas que ocorrem no norte do Paraná com 60mm/h de intensidade e tamanho de gotas variando de 2 a 4 mm de diâmetro possuem energia da ordem de 0,3 MJ/ha.mm. Segundo Sidiras et al. (1983), citados por FARIAS (1988), as chuvas na região coincidem com o período em que o solo se encontra descoberto ou semi protegido (agosto-novembro), gerando portanto expressivos índices de desagregação superficial por impacto de gotas de chuva. Tais níveis chegam a atingir, em Latossolo Roxo, a magnitude de 80 t/ha de solo mobilizado por salpicamento, em chuvas de 90mm/h.

Estudando perdas de solo por impacto de gotas de chuva em amostras de solo com diversas texturas, EPSTEIN & GRANT (1967) observaram que os solos que apresentavam menor quantidade de argila e maior de areia, tinham maior quantidade de partículas deslocadas por impacto, presumivelmente devido à menor coerência entre partículas. Vilar (1987), citado por PEREIRA (1989), num extensivo trabalho de revisão de literatura, concluiu que o salpico do solo varia com o tipo de mineral da argila presente.

A queda da razão de perda por impacto de gota é um resultado do selamento superficial (McINTIRE, 1958). Trabalhando com amostras de agregados de 4 solos de Iowa (EUA), GABRIELS & MOLDENHAUER (1978) concluíram que a quantidade de material menor que 2 micras trazido pela enxurrada era de duas a quatro vezes maior que aquela da erosão devido ao salpico.

A taxa média de salpico obtida por REICHERT (1988) foi positiva e significativamente correlacionada com a razão de agregados pequenos (0,25 a 1,0mm) e muito pequenos (0,25mm) e negativamente com a razão de agregados médios (1,0 a 2,0mm) e grandes (2,0 a 4,76mm), evidenciando que a superfície de um solo com agregados pulverizados é mais suscetível ao deslocamento por salpico. REICHERT & CABEDA (1992) avaliaram a taxa de salpico de partículas para 7 solos do Rio Grande do Sul, com ampla variação de características físicas, químicas e mineralógicas. As maiores taxas foram observadas para os podzólicos e as menores para os latossolos. Dentro dos latossolos, o Latossolo Bruno apresentou uma taxa de salpico maior que aquela do Latossolo Roxo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área Estudada

Foram utilizados os dois solos dominantes da região de Lavras (MG), classificados como Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), ambos de textura muito argilosa. A vegetação natural constitui-se em remanescentes de cerrado nas áreas correspondentes aos dois solos.

O Latossolo Vermelho-Escuro é formado a partir do produto de alteração do gnaisse granítico mesocrático, sendo o Latossolo Vermelho-Amarelo formado a partir do produto de alteração do gnaisse granítico leucocrático. Estes solos margeam a zona urbana da cidade de Lavras, e devido à ação antrópica como especulação imobiliária, construção civil e uso agrícola sem práticas conservacionistas, apresentam fortes indícios de degradação.

O Latossolo Vermelho-Escuro apresenta-se com voçorocas principalmente na região urbana e periférica de Lavras, o que é atribuído principalmente à uma intensa atividade antrópica. Nessa classe de solo foram identificadas 40 voçorocas, ocupando uma área de 112 ha que corresponde a 32% da área voçorocada, que é de 350 ha. No Latossolo Vermelho-Amarelo encontram-se 47 voçorocas, ocupando 141 ha, correspondendo a 40,3% da área voçorocada (SILVA et al., 1993).

As áreas caracterizadas situam-se nas coordenadas $21^{\circ}5'$ de latitude sul e 45° de longitude oeste. O clima da região, segundo Köppen, enquadra-se no tipo Cwb [temperado suave (mesotérmico)], com precipitação total anual de 1472 mm, sendo menos de 17 mm no mês mais seco; a temperatura média é de $21,6^{\circ}\text{C}$ no mês mais quente e $15,8^{\circ}\text{C}$ no mês mais frio, com média anual de $19,3^{\circ}\text{C}$. As chuvas são mal distribuídas durante o ano, apresentando um excesso de água nos meses de novembro a fevereiro e deficiência em junho, julho e agosto, de acordo com VILELA & RAMALHO (1979) e CASTRO NETO & SILVEIRA (1981).

3.2. Morfologia e Amostragem dos Solos

Para atender aos objetivos do estudo, após as descrições morfológicas de campo, segundo critérios propostos por LEMOS & SANTOS (1982) e EMBRAPA (1988), Apêndice I, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas da camada de 0 - 20

cm. As amostras deformadas dos solos, para análises laboratoriais, foram compostas de várias subamostras coletadas dentro da parcela padrão onde realizou-se teste com simulador de chuva. Após serem secas ao ar, à sombra, as amostras foram peneiradas em peneiras de malha de 2 mm e acondicionadas em sacos plásticos. No tocante às amostras com estrutura indeformada, foram realizadas 3 repetições para cada análise.

3.3. Análises Mineralógicas, Químicas e Físicas dos Solos

3.3.1. Análises Mineralógicas

Na fração argila desferrificada (2 extrações) foram quantificadas caulinita e gibbsita, através da Análise Térmica Diferencial (ATD).

Determinou-se na fração areia, a relação entre a porcentagem de minerais leves e pesados. O material foi separado utilizando-se bromofórmio, densidade $2,85 - 2,87\text{g/cm}^3$ (KRUMBEIN & PETTIJOHN, 1938).

3.3.2. Análises Químicas

Os componentes do complexo sortivo, pH em água e em KCl 1N, carbono orgânico e óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5) foram determinados segundo

VETTORI (1969) e EMBRAPA (1979). O conteúdo de matéria orgânica foi calculado a partir dos valores de carbono orgânico, usando-se o fator de conversão 1,724. Determinou-se também o ponto de efeito salino nulo (PESN), utilizando-se amostra de 5g de solo, à qual adicionou-se 25 ml de soluções de NaCl (0,1N; 0,01N; e 0,001N). As leituras de pH foram executadas 72 horas após o contato da solução de NaCl com a amostra. Acrescentou-se sucessivamente 1 ml de ácido ou base que foi adsorvido pelo solo até o ponto de equilíbrio. O valor do pH no qual ocorre a intersecção das curvas corresponde ao PESN (Figuras 1 e 2). A marcha analítica adotada tem como base a metodologia de RAIJ (1973), com modificações de RIBEIRO et al. (sem data).

A extração dos óxidos de ferro livres totais (Fe_d) da fração argila foi feita utilizando-se ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), segundo MEHRA & JACKSON (1960). A dosagem de ferro foi realizada através de espectrofotometria de absorção atômica (KRISHNA MURTI et al., 1966). Foram realizadas 2 extrações sucessivas.

Os óxidos de ferro menos cristalinos (Fe_o) da fração argila foram extraídos segundo metodologia de SCHWERTMANN (1964), utilizando-se oxalato de amônio ácido, sendo a dosagem do ferro feita através de espectrofotometria de absorção atômica (KRISHNA MURTI et al., 1966). Realizou-se uma extração apenas.

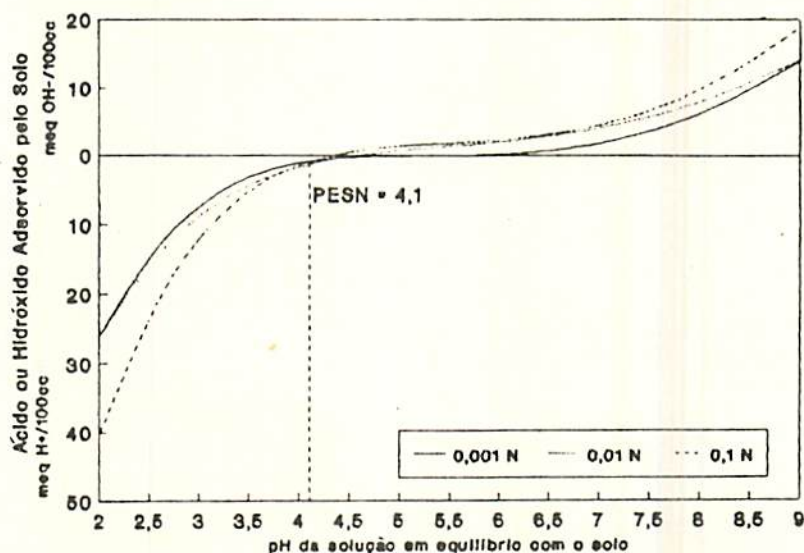


Figura 1. Curvas de titulação em diferentes concentrações de NaCl para determinação do PESN em Latossolo Vermelho-Escuro.

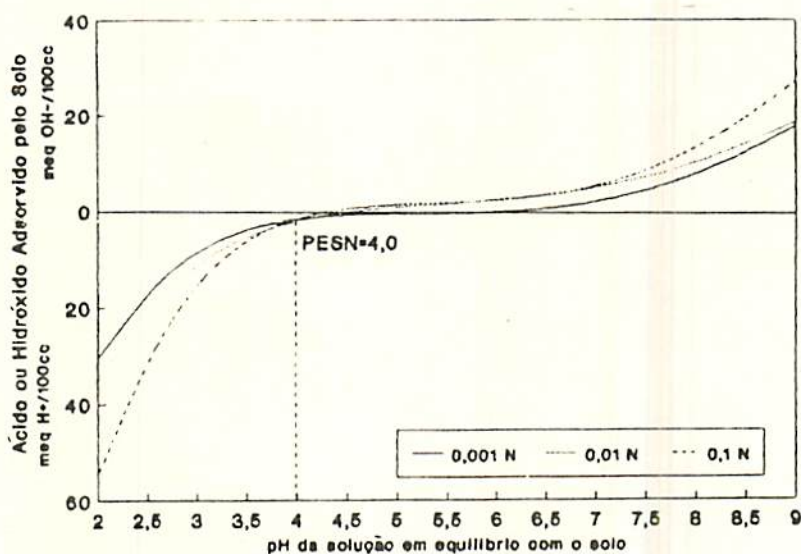


Figura 2. Curvas de titulação em diferentes concentrações de NaCl para determinação do PESN em Latossolo Vermelho-Amarelo.

Todas as análises químicas foram realizadas com 5 repetições, exceto a determinação do PESN, na qual utilizaram-se 3 repetições.

3.3.3. Análises Físicas

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta (DAY, 1965), empregando-se NaOH 0,1N como dispersante químico, e agitação rápida (12.000 rpm) durante 10 minutos.

O fracionamento da terra fina em água também foi realizado pelo método da pipeta, sendo as frações que englobam partículas e/ou agregados maiores que 0,1 mm separados por peneiramento (peneira de 0,105 mm), e as frações de tamanho menor, por sedimentação, segundo a lei de Stockes.

A densidade do solo (D_s) foi determinada em amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland (BLAKE & HARTGE, 1986a), e a densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, descrito por BLAKE & HARTGE (1986b).

O volume total de poros (VTP) foi determinado pela expressão (DANIELSON & SUTHERLAND, 1986):

$$\text{VTP (\%)} = (1 - D_s) / D_p \cdot 100 \quad [1]$$

A distribuição de poros por tamanho (macro e microporosidade) foi determinada em amostras com estrutura

indeformada, utilizando-se unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna de água. A porcentagem de água retida nas amostras, após atingir o equilíbrio, corresponde à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (GROHMANN, 1960).

Os valores de argila total (AT) e argila dispersa em água (ADA), obtidos pela análise granulométrica, segundo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1979), foram utilizados para determinação do índice de floculação (IF), calculado pela expressão:

$$IF(\%) = (AT - ADA) / AT \cdot 100 \quad [2]$$

A permeabilidade foi avaliada em laboratório, partindo-se de amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland, e utilizando-se permeâmetro adaptado (LIMA et al., 1990), para eliminação da água percolada junto às paredes do cilindro. As classes de permeabilidade foram estabelecidas de acordo com o SOIL SURVEY STAFF (1951), com modificação para obtenção das seis classes empregadas no método nomográfico de WISCHMEIER et al. (1971), WISCHMEIER et al. (1971) modificado por LIMA et al. (1990) e modelo proposto por DENARDIN (1990).

Amostras com estrutura deformada também foram utilizadas para determinação da água retida às tensões de -0,002; -0,004; -0,006; -0,01; -0,033; -0,1; -0,5; e -1,5 MPa (KLUTE, 1986), obtendo-se as curvas de retenção de umidade. A umidade equivalente foi determinada conforme metodologia da EMBRAPA (1979).

A estabilidade de agregados foi determinada através de tamizamento em água, após pré-umedecimento lento, segundo KEMPER & ROSENAU (1986). O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) foi calculado segundo KEMPER & CHEPIL (1965), pela fórmula:

$$DMG = \exp(\sum W_i \cdot \log X_i) / \sum W_i \quad [3],$$

onde: W_i = massa dos agregados de cada classe de tamanho (g);

X_i = diâmetro de cada classe de tamanho (mm).

Determinou-se também a superfície específica (SE), segundo metodologia proposta por HEILMAN et al. (1965), que utiliza o éter monoetílico do etileno glicol (EMEG), como fase adsorvida.

3.4. Determinação Indireta da Erodibilidade do Solo

Foram adotados seis índices de erodibilidade com base nas determinações morfológicas, físicas e químicas, a saber:

I) Relação de erosão proposta por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a), com base em MIDDLETON (1930), que considera:

$$K = (ADA/AT) / (AT/EU) \quad [4],$$

onde: K é o índice de erodibilidade, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm (após correção para o SI);
 ADA é o teor de argila dispersa em água, expresso em porcentagem;
 AT é o teor de argila total disperso com NaOH 0,1N, expresso em porcentagem;
 EU é a umidade equivalente, expressa em porcentagem.

II) Relação de erosão que inclui teores de silte disperso em água (fracionamento da terra fina em água) e total (disperso com NaOH 0,1N), proposta por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a), modificada por LIMA et al. (1990):

$$K = [(SDA+ADA) / (ST+AT)] / (AT/EU) \quad [5],$$

onde: K é o índice de erodibilidade, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm (após correção para o SI);
 SDA é o teor de silte disperso em água, expresso em porcentagem;
 ADA é o teor de argila dispersa em água, expresso em porcentagem;
 ST é o teor de silte total, expresso em porcentagem;
 EU é a umidade equivalente, expressa em porcentagem.

III) Nomograma de WISCHMEIER et al. (1971) (Figura 3) e/ou equação:

$$K = [(2,1 \cdot (10^{-4})) \cdot (12 - MO) \cdot M^{1,14} + 3,25 \cdot (S - 2) + 2,5 \cdot (P - 3)] / 100 \quad [6],$$

onde: K é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm (após correção para o SI);

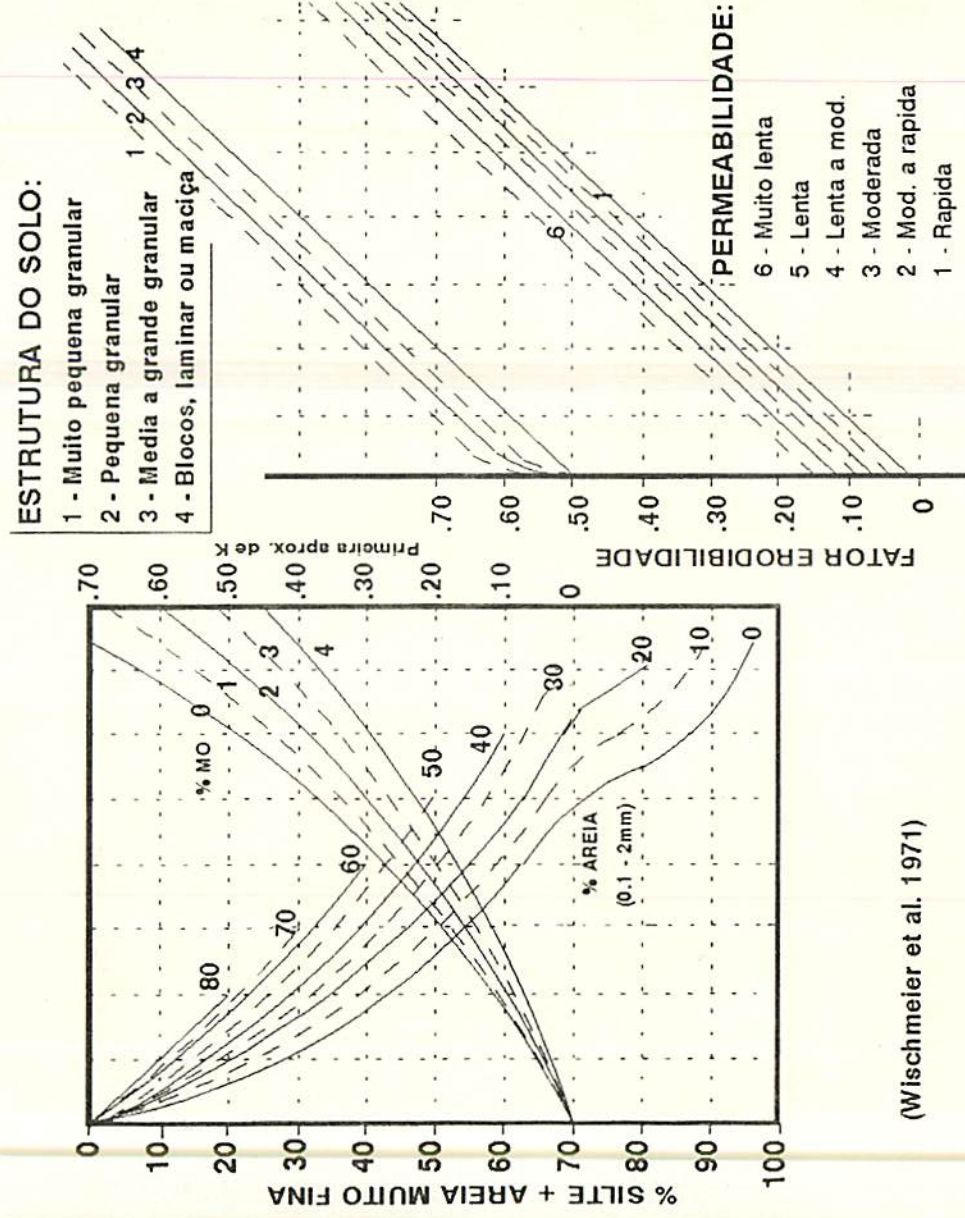
M é o produto das porcentagens de silte mais areia muito fina (Novo Silte), pela soma da porcentagem de areia 0,1mm (Nova Areia) e as porcentagens de silte mais areia muito fina (Novo Silte);

MO é o teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem;

S e P são a estrutura e a permeabilidade do solo, respectivamente, codificados conforme WISCHMEIER et al. (1971).

IV) Nomograma ou equação de WISCHMEIER et al. (1971), modificado por LIMA et al. (1990):

onde a porcentagem de partículas e/ou agregados menores que 0,1mm (dispersos em água) substitui a porcentagem de silte + areia muito fina (Novo Silte) na equação [6] ou no nomograma (Figura 3), e a porcentagem de partículas e/ou agregados maiores que 0,1mm (também dispersos em água) substitui a porcentagem de areia (0,1mm) correspondente (Nova Areia), sendo os demais parâmetros os mesmos da equação [6] ou do nomograma da Figura 3.



(Wischmeier et al. 1971)

Figura 3. Nomograma de WISCHMEIER et al. (1971) para determinação indireta da erodibilidade.

V) Modelo para estimar a erodibilidade para os solos do Brasil (DENARDIN, 1990):

$$K=0,00608397.(P)+0,00834286.(MO)-0,00116162.(AL)-0,00037756.(PART) \quad [7],$$

onde: K é o valor da erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm;

P é a permeabilidade do solo, codificada conforme WISCHMEIER et al. (1971);

MO é o teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem;

AL é o teor de óxidos de alumínio extraíveis pelo ataque sulfúrico, expresso em porcentagem;

PART é o teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5mm, expresso em porcentagem.

VI) Modelo para estimar a erodibilidade para os solos do Brasil e EUA (DENARDIN, 1990):

$$K=0,00000748.(M)+0,00448059.(P)-0,06311751.(DMP)+0,01039567.(REL) \quad [8],$$

onde: K é o valor da erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm;

M é o parâmetro calculado a partir de dados granulométricos, conforme a equação [6];

P é a permeabilidade do solo, codificada conforme WISCHMEIER et al. (1971);

DMP é o diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2mm, expresso em mm;

REL é a relação entre o teor de matéria orgânica (MO) e o teor de partículas maiores que 0,1mm (Nova Areia).

Os índices de erodibilidade obtidos através dos métodos III e IV encontram-se em unidades inglesas. A conversão para o sistema internacional foi realizada através da multiplicação pelo fator 0,1317, de acordo com FOSTER et al. (1981). Para efeito de comparação, foram necessárias as correções dos índices obtidos pelos métodos I e II, sendo que os demais métodos já estão corrigidos.

3.5. Método do Simulador de Chuva para Determinação da Erodibilidade

Os cálculos dos valores de erodibilidade pelo método direto foram feitos a partir de dados básicos obtidos por PAULA LIMA (1987 e 1991) em estudos com simulador de chuva. Utilizou-se o simulador de chuva rotativo, do tipo idealizado por SWANSON (1965). Sobre cada um dos solos foram montadas duas parcelas paralelas entre si com dimensões de 2,0 X 10,0m; na parte inferior instalaram-se coletores de água e solo. Sobre o par de parcelas recentemente trabalhadas (uma aração + duas gradagens leves), no sentido do declive, foram aplicadas três chuvas. Estas

chuvas foram aplicadas com uma intensidade média de 63,5 mm/h. A precipitação efetiva foi medida através de pluviômetros distribuídos nas parcelas.

A perda de solo foi calculada utilizando-se os programas para tratamento de dados obtidos em pesquisas de erosão do solo com uso do simulador de chuva, com base na metodologia desenvolvida por Nowlin e adaptada por Silveira & Malves, citados por PAULA LIMA (1987).

Usou-se a equação universal de perdas de solo (USLE) de WISCHMEIER & SMITH (1978), sendo expressa na seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [9],$$

onde: A é a perda de solo por unidade de área, expressa em t/ha;

R é o fator erosividade da chuva, expresso em MJ.mm/ha.h;

K é o fator erodibilidade do solo, perda de solo por unidade do fator erosividade da chuva, para um solo específico, quando mantido permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido do declive, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm;

LS é o fator comprimento do declive e grau do declive;

C é o fator uso do solo e manejo da cultura;

P é o fator prática de controle da erosão.

Na equação, por considerar o solo permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido do declive, os fatores C e P tornam-se unitários, e a equação se reduz a:

$$A = R \cdot K \cdot LS \quad [10],$$

$$\text{logo: } K = A/R.LS \quad [11].$$

WISCHMEIER & SMITH (1958) desenvolveram uma equação para o cálculo do índice de erosividade R. FOSTER et al. (1981) fizeram a conversão desta equação para o sistema internacional de unidades, que é a seguinte:

$$EC = 0,119 + 0,0873.(I) \quad [12],$$

onde: EC é a energia cinética da chuva, expressa em MJ.ha/mm;

I é a intensidade da precipitação, expressa em mm/h.

Em função das características do relevo, do local de experimentação e das limitações operacionais dos simuladores de chuva, as parcelas experimentais nem sempre possuem as dimensões padronizadas. Nessas circunstâncias, os fatores topográficos L e S diferem da unidade padrão, sendo necessário a correção dos valores de erodibilidade assim obtidos. Para tais correções, utilizou-se a equação [13], desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH (1965) e transformada para o sistema internacional de unidades por BERTONI et al. (1975):

$$LS = L^{0,5} / 100(1,36 + 0,975.S + 0,1385.S^2) \quad [13],$$

onde: LS é o fator topográfico da equação universal de perdas de solo corrigido para as condições da parcela padrão;

L é o comprimento do declive, expresso em m;

S é a declividade do terreno, expressa em porcentagem.

Os dados utilizados para o cálculo dos índices são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Parâmetros utilizados para determinação direta da erodibilidade através de chuva simulada.

SOLO	COMP. DE RAMPA (L)	DECLIVE (S)	FATOR (LS)	FATOR (R)	PERDA DE SOLO (A)
	m	%		MJ.mm/ha.h	t/ha
LE	10,0	6	0,42	770,58	1,22
LV	10,0	7	0,50	778,09	4,02

3.6. Método do Mini - Simulador para Estudo do Salpico

A metodologia envolveu a simulação de chuvas com intensidade média de 61,5 mm/h, com gotas de 2,74 mm de diâmetro. Para isso, utilizou-se um reservatório com base de 25 X 25 cm, com 64 agulhas (PrecisionGlide 25 X 7) dispostas no fundo em malha quadriculada (Figura 4). O simulador foi colocado a 0,5;

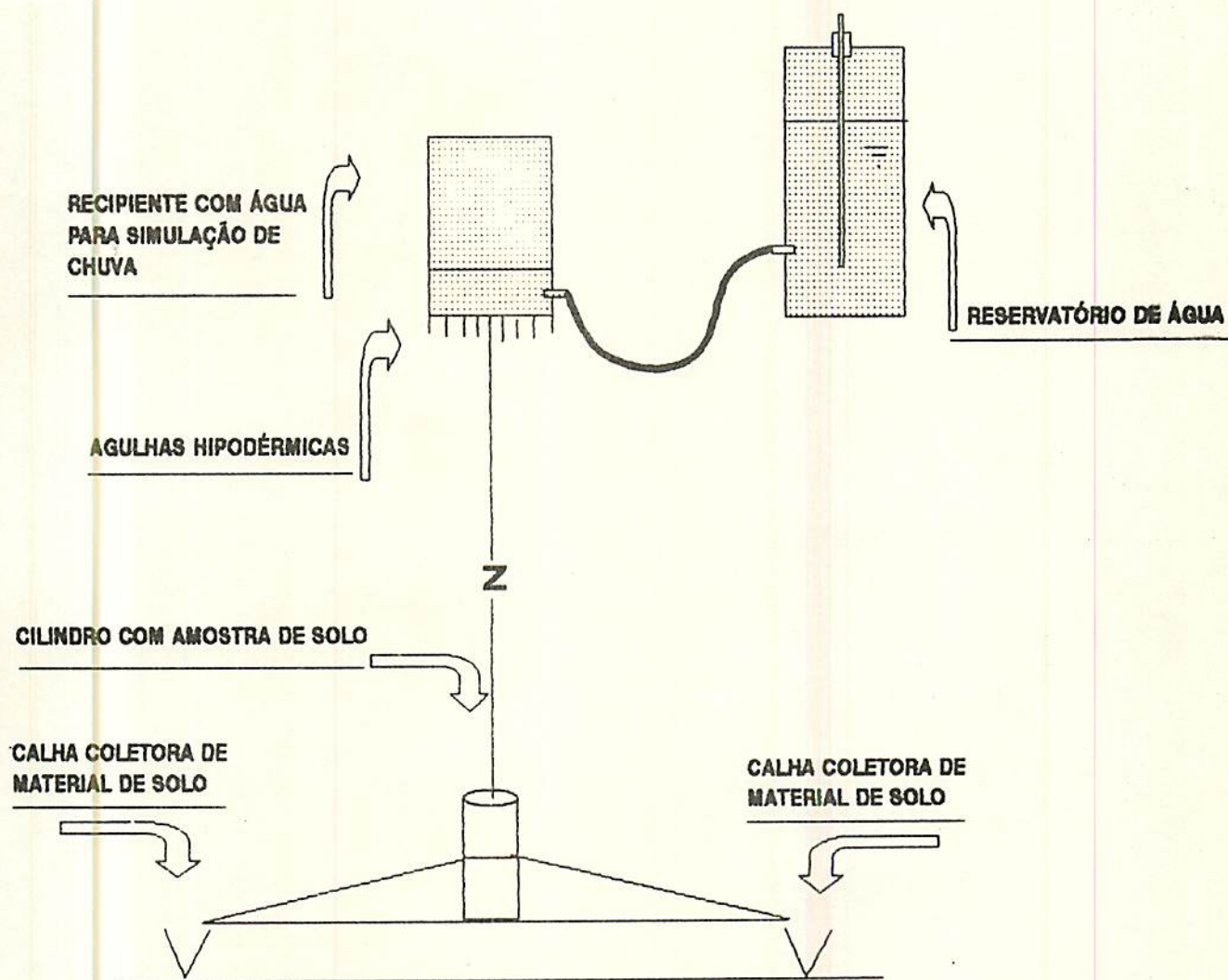


Figura 4. Representação esquemática do mini-simulador de chuva empregado no estudo do salpico.

1,5; e 3,0 m de altura (Z) sobre amostras de solo deformadas e indeformadas, acondicionadas em cilindros de 72mm de diâmetro e 80mm de altura, pré-saturadas por 24 horas. O salpicamento foi determinado recolhendo-se as partículas salpicadas em papel de filtro após 30 minutos de chuva. Esta metodologia baseia-se em trabalho de ELLISON (1944), com modificações propostas por LIMA et al. (1993). A técnica envolveu a determinação da quantidade de partículas de solo salpicadas, expostas ao impacto das gotas de chuva simulada, para diferentes valores de energia cinética geradas no impacto das gotas.

Este estudo apresenta, para cálculo de velocidade e tempo de queda, as seguintes equações:

$$V = (G/C)^{0,5} (\tanh. [T. (G.C)^{0,5}]) \quad [14],$$

$$T = (\operatorname{arccosh}. [\exp(Z.C)]) / (G.C)^{0,5} \quad [15],$$

onde: V é a velocidade de impacto (m/s);

Z é a altura de queda (m);

G é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

T é o tempo de queda (s);

C é o coeficiente que expressa a ação do atrito da gota com o ar (m^{-1}).

Este coeficiente pode ser determinado, segundo HILLS (1988), como:

$$C = (0,804 - 0,264D + 0,066D^2 - 0,004D^3) / (1,109D) \quad [16],$$

onde: D é o diâmetro da gota (mm).

Os valores de energia cinética foram calculados como:

$$EC=0,5.M.V^2 \quad [17],$$

onde: EC é a energia cinética (J);

M é a massa da gota de chuva simulada (Kg);

V é a velocidade de impacto (m/s).

O exemplo dos cálculos encontra-se no Apêndice II. Os valores apresentados nas Figuras 7 a 10 foram retirados das equações mostradas no quadro IIB (Apêndice II).

3.7. Estimativa das Perdas de Solo

As perdas de solo foram estimadas com base na Equação Universal de Perdas de Solo ($A = R.K.LS.C.P$), mantendo-se os fatores C e P iguais a 1, simulando solo descoberto e sem prática de conservação do solo, considerando-se o mesmo comprimento de rampa (22m) para os dois solos estudados. O declive da área de ocorrência para o Latossolo Vermelho-Escuro é de 6% e para o Latossolo Vermelho-Amarelo de 7%. Utilizou-se as erosividades médias estacionais, que segundo VAL et al. (1986), são as seguinte: 3973, 1137, 236 e 1491 MJ.mm/ha.h. estação, correspondendo ao verão, outono, inverno e primavera, respectivamente, e a erodibilidade obtida de maneira direta.

As tolerâncias de perdas de solo por erosão admissíveis para os solos estudados foram estimadas segundo método proposto por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975b), modificado por GALINDO & MARGOLIS (1989), baseado na profundidade efetiva do solo, na relação textural entre os horizontes subsuperficial e superficial, no teor de matéria orgânica e na permeabilidade.

3.8. Análises Estatísticas

O valor de erodibilidade (Fator K), obtido com chuva simulada (direto), foi comparado estatisticamente com os seis métodos indiretos testados, baseados em características intrínsecas do solo. A análise estatística foi feita visando testar a exatidão dos métodos, através do teste t de Student para média, e a precisão dos mesmos através de um teste de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett), segundo SOKAL & ROHLF (1969). Nos Apêndices III e IV são apresentados exemplos dos cálculos do teste t para média e teste de Bartlett, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Mineralógica

Na fração argila desferrificada com DCB foram determinados os teores de caulinita e gibbsita através da Análise Térmica Diferencial (ATD), cujos resultados podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2. Rocha de origem, cor úmida do hor. A, teores de caulinita e gibbsita na fração argila desferrificada e taxa de minerais leves/pesados na fração areia.

SOLO	ROCHA DE ORIGEM	COR ÚMIDA	F. ARGILA		Gb	F. AREIA LEVES/PESADOS
			CAULINITA (Ct)	GIBBSITA (Gb)	Gb+Ct	
			----- % -----			
LE	GNAISSE GRANÍTICO MESOCRÁTICO	2,5YR 3/6	27	73	0,7	22
LV	GNAISSE GRANÍTICO LEUCOCRÁTICO	10YR 4/4	30	37	0,4	318

Os maiores teores de gibbsita foram observados no Latossolo Vermelho-Escuro, o que está em consonância com o maior grau de intemperismo desse solo. A permanência de caulinita no sistema se deve, parcialmente, aos elevados teores de matéria orgânica (Quadro 4), notadamente no Latossolo Vermelho-Amarelo.

Os maiores teores de gibbsita (Quadro 2) e de óxidos de ferro do ataque sulfúrico e DCB (Quadro 5), conforme RESENDE (1982 e 1985), e LIMA et al. (1990), são os principais responsáveis pela estrutura granular, induzindo maior permeabilidade (Quadro 7) no Latossolo Vermelho-Escuro. O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta situação inversa.

A caracterização quantitativa da fração areia, realizada em função da relação entre minerais leves e pesados (Quadro 2), confirma a presença de minerais mais pesados no Latossolo Vermelho-Escuro, pressupondo menor arraste destes pela água da chuva em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo*.

4.2. Caracterização Química

Os resultados das determinações dos cátions trocáveis, saturação por bases e por alumínio são apresentados no Quadro 3.

* CURCIO, G.R. Colombo, EMBRAPA-CNPF, 1993. (Comunicação Pessoal). (PR).

Quadro 3. Teores de cátions do complexo sortivo.

SOLO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	VALOR (1)				
						S	t	T	V	m
	----- meq/100cc -----					-----meq/100cc-----		---%---		
LE	0,7	0,2	0,08	0,4	4,8	1,0	1,4	5,4	17	28
LV	0,5	0,2	0,12	0,6	5,7	0,8	1,4	6,5	12	43

(1) S: Soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Os teores de cálcio, magnésio e potássio são baixos tanto para o Latossolo Vermelho-Amarelo como para o Latossolo Vermelho-Escuro. Os teores de alumínio trocável são médios nos dois casos, estando o valor da saturação por alumínio abaixo de 50%. A capacidade de troca de cátions efetiva (t) é baixa, bem como a soma de bases (S) nos dois sistemas.

Os valores de pH em água e em KCl, delta pH, ponto de efeito salino nulo (PESN), amplitude de carga em relação a PESN ($PESN - pH_{\text{água}}$) e teores de matéria orgânica são apresentados no Quadro 4.

Os valores negativos do delta pH e ($PESN - pH_{\text{água}}$) mostram nas duas condições (Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo) haver predomínio de carga líquida negativa. Resultados semelhantes foram encontrados por LIMA (1987) com relação a delta pH.

Quadro 4. Propriedades eletroquímicas e teores de matéria orgânica (MO).

SOLO	pH 1:2,5		Delta pH (1)	PESN	(PESN - pH _{água})	MO
	Água	KCl 1N				
LE	5,0	4,3	-0,7	4,1	-0,9	3,3
LV	5,1	4,3	-0,8	4,0	-1,1	4,8

(1) $\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl 1N}} - \text{pH}_{\text{água}}$

Para os dois solos estudados, os valores do PESN encontrados são inferiores aos do pH natural do solo. Este comportamento foi constatado em latossolos por COSTA et al. (1984), SIQUEIRA et al. (1990) e CHAVES & TRAJANO (1992), com a ressalva de que os valores encontrados por estes autores são bem inferiores aos observados no presente estudo.

A presença de carga líquida negativa se deve, em parte, aos maiores teores de matéria orgânica destes solos, como constatado por outros autores (RAIJ, 1973; COSTA et al., 1984; SIQUEIRA et al., 1990). A contribuição da matéria orgânica para a variação do PESN depende do grau de intemperismo do solo, sendo o abaixamento mais expressivo em solos intemperizados (SIQUEIRA et al., 1990).

A baixa magnitude do delta pH em corroboração com o $(\text{PESN} - \text{pH}_{\text{água}})$, notadamente no Latossolo Vermelho-Escuro, favorece, em parte, uma maior floculação destes solos (Quadro 7), refletindo uma maior estabilidade estrutural (Quadro 8).

Os resultados das determinações dos óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico, do ferro extraído pelo DCB e pelo oxalato de amônio são apresentados no Quadro 5.

As maiores diferenças entre os dois sistemas são os teores de Fe_2O_3 , determinados pelo ataque sulfúrico e DCB. O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou valores bem superiores ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Essa diferença é um reflexo do teor de ferro da rocha de origem, gnaisse granítico mesocrático e leucocrático, respectivamente, confirmando os dados de LIMA (1987) e MARQUES JÚNIOR et al. (1992). O maior teor de ferro no Latossolo Vermelho-Escuro, refletindo uma cor mais vermelha (Quadro 2), indica variação de outros parâmetros de substancial efeito na erodibilidade destes solos (LIMA, 1987).

Quadro 5. Teores de óxidos do ataque sulfúrico, de ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_d) e pelo oxalato de amônio (Fe_o).

SOLO	ATAQUE POR H_2SO_4					Ki	Kr	Al_2O_3	Fe_o		Fe_d
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5			Fe_2O_3	Fe_d	Fe_o	Fe_d
	%							%			
LE	15,9	27,0	12,5	1,5	0,04	1,0	0,78	3,4	6,5	0,15	0,02
LV	14,6	28,1	5,1	0,6	0,01	0,9	0,79	8,6	4,0	0,32	0,08

Os resultados mineralógicos e químicos discutidos até aqui vão se refletir num comportamento diferencial das propriedades físicas, que por sua vez determinam a resistência destes solos à erosão, espessa através dos índices de erodibilidade e o salpico do solo.

4.3. Caracterização Física

Os dados de densidade do solo, densidade de partículas, volume total de poros, distribuição de poros por tamanho (macro e microporosidade) e superfície específica podem ser observados no Quadro 6.

Quadro 6. Densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), volume total de poros (VTP), macro e microporosidade, e superfície específica (SE).

SOLO	Ds	Dp	VTP	MACRO	MICRO	SE
	-- g/cm ³ --		----- % -----			m ² /g
LE	0,99	2,57	61,48	24,85	36,63	78
LV	1,20	2,53	52,57	15,02	37,55	90

A densidade do solo é menor no Latossolo Vermelho-Escuro e a densidade de partículas maior, reflexo dos maiores teores de gibbsita (Quadro 2), e de óxidos de ferro do ataque sulfúrico e DCB (Quadro 5), conferindo uma maior porosidade total

e macroporosidade em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo, concordando com RESENDE (1985), LIMA (1987) e FERREIRA (1988).

Os resultados do índice de floculação são apresentados no Quadro 7. O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou maior valor em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo, o que está de acordo com sua composição mineralógica (maior teor de gibbsita - Quadro 2), química (maiores teóres de óxidos de ferro do ataque sulfúrico e DCB - Quadro 5), refletindo-se em um valor relativamente elevado do ponto de efeito salino nulo para o horizonte superficial (Quadro 4), mais próximo do pH natural do solo.

Quadro 7. Índice de floculação, estrutura, permeabilidade e classes para uso nos modelos de predição da erodibilidade.

SOLO	ÍNDICE DE FLOCULAÇÃO	ESTRUTURA ⁽¹⁾	PERMEABILIDADE	CLASSES ⁽²⁾	
				ESTRUT.	PERMEAB.
	---- % ----		---- mm/h ----		
LE	82	f, mpp, gr e alguns bsa	248	1	1
LV	75	m, me, bsa	71	3	3

(1) f: fraca; mpp: muito pequena e pequena; gr: granular; bsa: blocos subangulares; m: moderada; me: média.

(2) codificado segundo nomograma de Wischmeier et al. (1971).

Os resultados referentes à distribuição de agregados em água e seu diâmetro médio geométrico (DMG) são apresentados no Quadro 8. A estabilidade de agregados do solo em água e a sua distribuição por tamanho influem no comportamento físico do solo, alterando sua erodibilidade, permeabilidade e retenção de água.

Os resultados da porcentagem de agregados da primeira peneira (7 - 2 mm) e o DMG do Latossolo Vermelho-Escuro foram ligeiramente superiores àqueles do Latossolo Vermelho-Amarelo, sugerindo maior resistência do primeiro solo ao processo erosivo.

No Quadro 9 são apresentados os graus de umidade com seus respectivos potenciais matriciais e os valores de equivalente de umidade.

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou um comportamento ligeiramente superior para a umidade equivalente e retenção de água, o que parece advir de sua maior superfície específica (Quadro 6) e dos seus maiores teores de matéria orgânica (Quadro 4).

Quadro 8. Estabilidade de agregados em água e diâmetro médio geométrico (DMG).

SOLO	CLASSE DE TAMANHO DE AGREGADOS (mm)						DMG
	7,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1	
	----- % -----						mm
LE	91,94	0,80	0,44	0,20	0,24	6,38	3,32
LV	89,68	1,24	1,12	0,72	0,64	6,60	3,11

O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou maiores teores de gibbsita (Quadro 2) e de óxidos de ferro (Quadro 5), conferindo uma estrutura mais granular e de tamanho menor (Quadro 7), o que está de acordo com RÖMKENS et al. (1977), RESENDE (1982) e LIMA et al. (1990). Estes aspectos se refletiram numa maior permeabilidade (FERREIRA, 1988; LIMA et al., 1990; FERREIRA, 1992). Por outro lado, este sistema apresenta menor coerência entre partículas (RESENDE, 1985; LIMA, 1987; FERREIRA, 1988).

Quadro 9. Graus de umidade e seus respectivos potenciais matriciais e equivalente de umidade (EU).

SOLO	POTENCIAL MATRICIAL (MPa)								EU
	-0,002	-0,004	-0,006	-0,010	-0,033	-0,1	-0,5	-1,5	
	%								
LE	51,8	39,2	36,7	23,8	26,3	23,1	23,3	21,8	23,2
LV	63,6	50,6	35,3	20,4	29,7	27,1	19,6	19,4	27,7

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou menores teores de gibbsita (Quadro 2) e de óxidos de ferro (Quadro 5), conferindo uma estrutura com tendência maior para blocos subangulares (Quadro 7), ocasionando uma menor permeabilidade (Quadro 7) e uma maior coerência entre os agregados e/ou partículas, acarretando, no balanço final, um maior deflúvio superficial (PAULA LIMA, 1987).

Quadro 10. Valores da distribuição porcentual por tamanho de partículas e/ou agregados dispersos com NaOH e água.

SOLO	DISPERSANTE	ARGILA	SILTE	AMF	AF	AM	AG	AMG	AREIA TOTAL
		<0,002 mm	0,002-0,05 mm	0,05-0,1 mm	0,1-0,25 mm	0,25-0,5 mm	0,5-1,0 mm	1,0-2,0 mm	0,05-2,0 mm
		----- % -----							
LE	NaOH	72,0	10,0	10,0	0,0	4,0	3,0	1,0	18,0
	ÁGUA	25,0	21,0	23,0	6,0	13,0	10,0	2,0	54,0
LV	NaOH	72,0	11,0	4,0	6,0	3,0	3,0	1,0	17,0
	ÁGUA	19,0	26,0	8,0	18,0	17,0	10,0	2,0	55,0

AMF: areia muito fina; AF: areia fina; AM: areia média; AG: areia grossa; AMG: areia muito grossa.

Os resultados da análise granulométrica com dispersão em água e hidróxido de sódio (NaOH) são apresentados no Quadro 10.

Para os dois solos estudados, a dispersão com NaOH foi semelhante para as frações silte, argila e areia total. A dispersão com NaOH mostrou valores superiores à dispersão com água para a fração argila, e menores para a fração silte e areia total. Os teores de argila dispersa em água estão relacionados aos elevados teores de matéria orgânica na camada superficial destes solos, fato constatado também por LIMA (1987).

Os resultados de dispersão pela água mostrou que o material da fração argila permanece, em grande parte, nas frações silte e areia muito fina, o que pode ser melhor visualizado no Quadro 11, através do parâmetro NOVO SILTE (silte mais areia muito fina). Este parâmetro dobrou quando se utilizou dispersão

Quadro 11. Parâmetros granulométricos e relações para determinação da erodibilidade pelos métodos indiretos. (1)

SOLO	NOVO SILTE	NOVA AREIA	PART.	PARÂMETRO M	DMP	MO
	(0,002-0,1mm)	(0,1-2,0mm)				----- NOVA AREIA
	----- % -----					mm
LE	20(44)	8(31)	4	554(3307)	0,084	0,41
LV	15(35)	13(47)	3	387(2810)	0,082	0,38

(1) Os valores entre parênteses correspondem aos resultados obtidos na dispersão com água.

com água, o que evidencia o comportamento funcional da argila como tais frações (RESENDE, 1985; LIMA et al., 1990; FERREIRA, 1992). O parâmetro NOVO SILTE, segundo WISCHMEIER et al. (1971), confere aos solos menor resistência à erosão. O parâmetro NOVA AREIA também apresentou um aumento considerável quando se utilizou dispersão em água.

Os parâmetros NOVO SILTE e NOVA AREIA são utilizados para calcular o parâmetro M, que expressa a ação das frações granulométricas no processo erosivo. Esta variável é integrante de três modelos (III, IV e VI) utilizados para a predição da erodibilidade. DENARDIN (1990) correlaciona o parâmetro M com o fator erodibilidade determinado no campo, sendo que para valores de M inferiores a 3.000 não há boa correlação entre estas variáveis. Segundo o mesmo autor, esse comportamento do parâmetro M pode ser visualizado também no nomograma de WISCHMEIER et al. (1971) pela convergência das curvas quando esta variável tende

para zero (Figura 3). Estes aspectos serão discutidos com mais detalhes posteriormente, através dos índices de erodibilidade obtidos indiretamente.

4.4. Avaliação dos Índices de Erodibilidade Obtidos de Maneira Indireta em Relação ao Método Direto

Os parâmetros utilizados para determinação da erodibilidade pelos métodos indiretos são apresentados nos Quadros 4, 5, 7, 9, 10 e 11.

O Quadro 12 apresenta os índices de erodibilidade determinados para o horizonte superficial pelos diferentes métodos indiretos e índice obtido de maneira direta.

Quadro 12. Índices de erodibilidade obtidos por diferentes métodos.

SOLO	MÉTODOS INDIRETOS						MÉTODO DIRETO
	I	II	III	IV	V	VI	
	----- t.ha.h/ha.MJ.mm -----						
LE	0,015	0,024	-0,008	0,014	0,001	0,008	0,004
LV	0,013	0,028	0,006	0,021	0,025	0,015	0,010

Analisando os índices de erodibilidade obtidos pelos vários métodos (Quadro 12), observa-se que o menor valor de erodibilidade obtido foi para o método III, notadamente para o

Latossolo Vermelho-Escuro cujo valor foi negativo; comportamento semelhante foi observado por OLIVEIRA & BAHIA (1984). Os baixos valores observados por este método foram creditados por FREIRE & PESSOTTI (1976), HENKLAIN & FREIRE (1989) e ANGULO (1983), às diferenças granulométricas existentes entre estes solos e aqueles utilizados para a geração do modelo. Os relativamente baixos teores de silte mais areia muito fina e areia total (dispersão com NaOH 0,1N) no Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo (Quadro 10), resultaram em valores do parâmetro M bem inferiores aos valores utilizados para a geração do modelo (> 3000), como pode ser observado no Quadro 11.

Por outro lado, o maior valor de erodibilidade obtido foi para o método II tanto para o Latossolo Vermelho-Escuro como para o Latossolo Vermelho-Amarelo, seguido dos métodos I para o Latossolo Vermelho-Escuro e o método V para o Latossolo Vermelho-Amarelo. A determinação da erodibilidade pelos métodos II e IV apresentou um aumento substancial em relação aos métodos originais, ou seja I e III; uma explicação para este comportamento é que aqueles métodos consideram a dispersão do solo em água, ocasionando um aumento dos teores de silte mais areia muito fina (0,1 - 0,002 mm), conforme Quadro 10 (LIMA et al., 1990; FERREIRA, 1992). Os microagregados de argila tem o comportamento funcional semelhante ao do silte mais areia muito fina, fazendo com que o valor M seja próximo de 3000, confirmando observações de LIMA (1987).

Com relação aos métodos V e VI desenvolvidos por DENARDIN (1990), nos quais foram utilizados solos do Brasil, e solos do Brasil e EUA, respectivamente, considerando solos cujo parâmetro M é inferior a 3.000, o modelo mais apropriado para predição da erodibilidade seria aquele expresso pelo modelo V, em que tal parâmetro não é relevante. Como nos solos utilizados no presente estudo o parâmetro M (disperção com NaOH) é bem inferior a 3000 (Quadro 11), seria esperado um valor mais coerente do fator erodibilidade estimado por este método.

No Quadro 12 observa-se que o Latossolo Vermelho-Escuro apresentou os menores valores de erodibilidade para o método direto e os métodos indiretos, exceto para o método I, apesar dos valores estarem bem próximos; uma possível explicação para esse fato poderia ser o pequeno número de parâmetros envolvidos nesse método em relação aos demais. Os maiores valores constatados para o Latossolo Vermelho-Amarelo caracterizam um solo com menor resistência à erosão.

Considerando o método direto para predição da erodibilidade como padrão, observou-se, pelo teste t de Student, com 5% de significância, que nenhum dos métodos indiretos propostos apresentou o valor do método tido como padrão dentro de seus intervalos de confiança (Figuras 5 e 6), confirmando a inexatidão estatística dos métodos indiretos para estimar um valor absoluto para o fator erodibilidade.

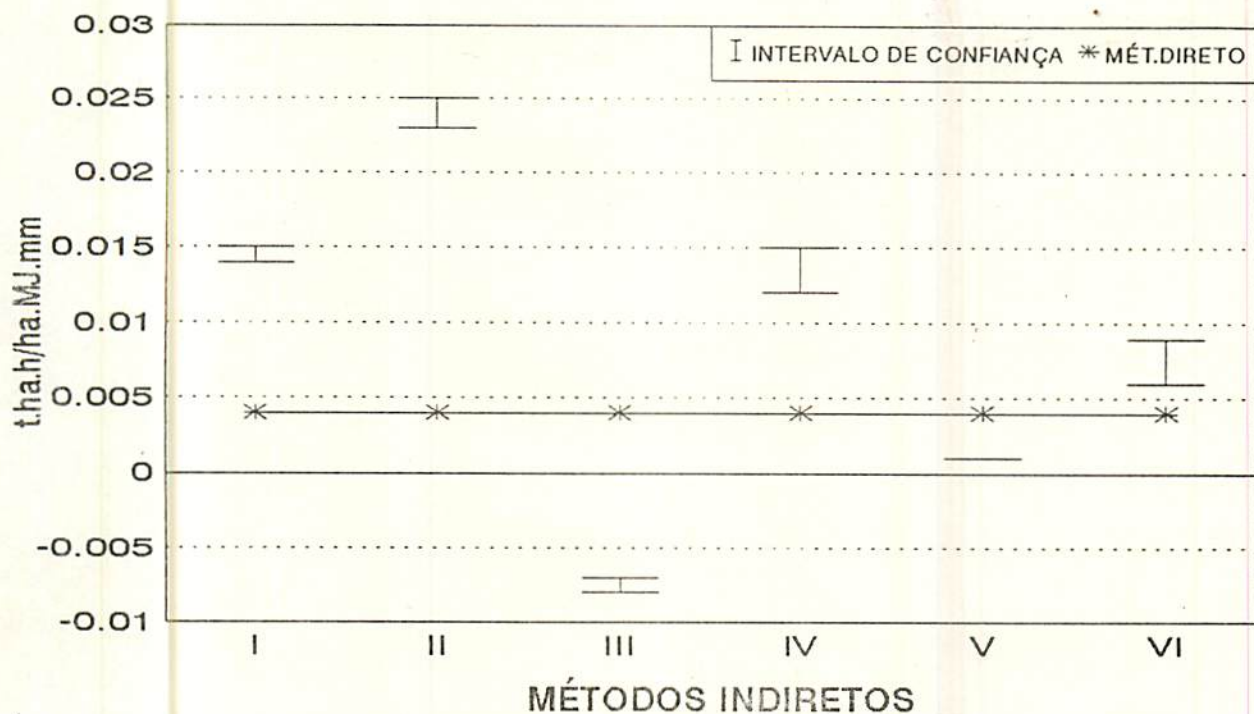


Figura 5. Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para o Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

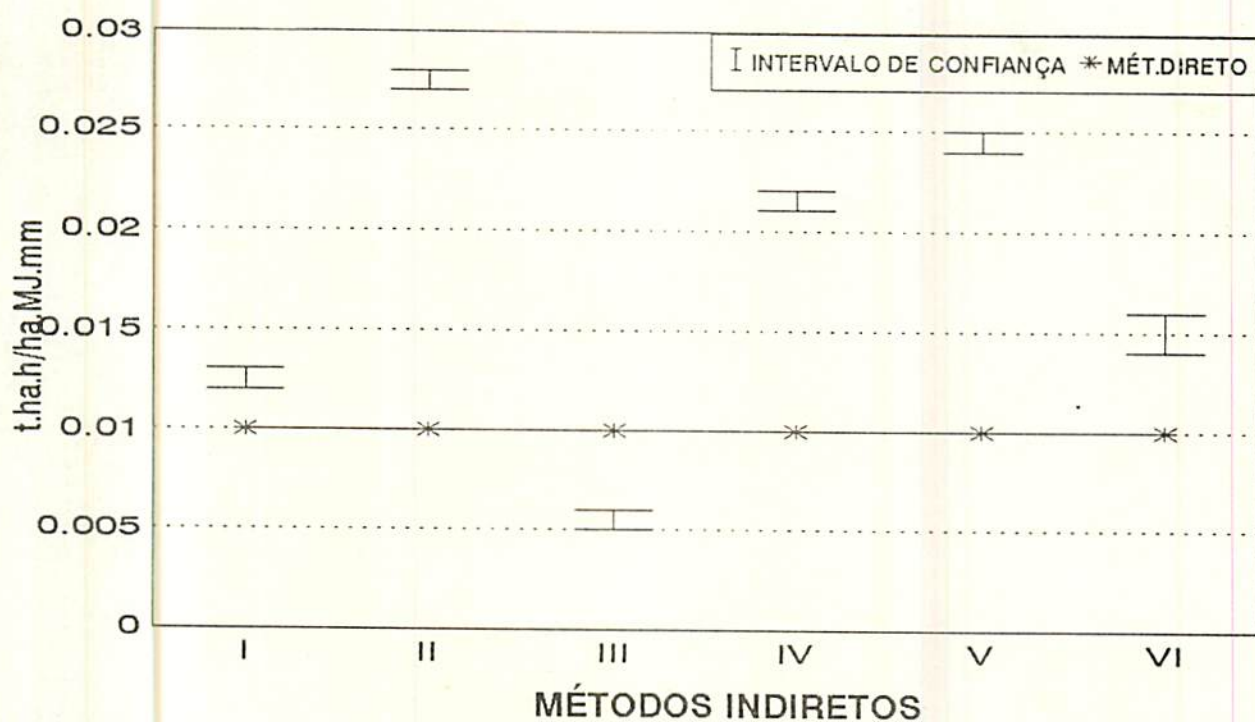


Figura 6. Teste de exatidão para comparação dos métodos indiretos com o direto para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

Entretanto, apesar dessa inexatidão estatística, o método VI (0,008 e 0,015 para LE e LV, respectivamente) é aquele que mais se aproxima do padrão (0,004 e 0,010 para LE e LV, respectivamente) em termos da proporção de erodibilidade para os latossolos estudados.

Todos os métodos indiretos utilizados se mostraram igualmente precisos para avaliação da erodibilidade dos dois solos pelo teste de Bartlett, sendo as variâncias consideradas iguais ao nível de 1% (Apêndice IV).

FREIRE & PESSOTTI (1974) propuseram cinco classes de erodibilidade; comparando os valores médios dos índices indiretos (Quadro 12) com as classes propostas, o Latossolo Vermelho-Escuro se enquadra na classe muito baixa (0,013) e o Latossolo Vermelho-Amarelo na classe baixa (0,013-0,033).

4.5. Avaliação do Impacto Direto das Gotas de Chuva Simulada Sobre a Superfície do Solo

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados as quantidades de solo salpicado em amostras indeformadas (i) e deformadas (d) para o Latossolo Vermelho-Escuro e para o Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente.

As maiores quantidades de solo salpicado foram observadas nas amostras indeformadas em comparação às deformadas, tanto no Latossolo Vermelho-Escuro (Figura 7) como no Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 8).

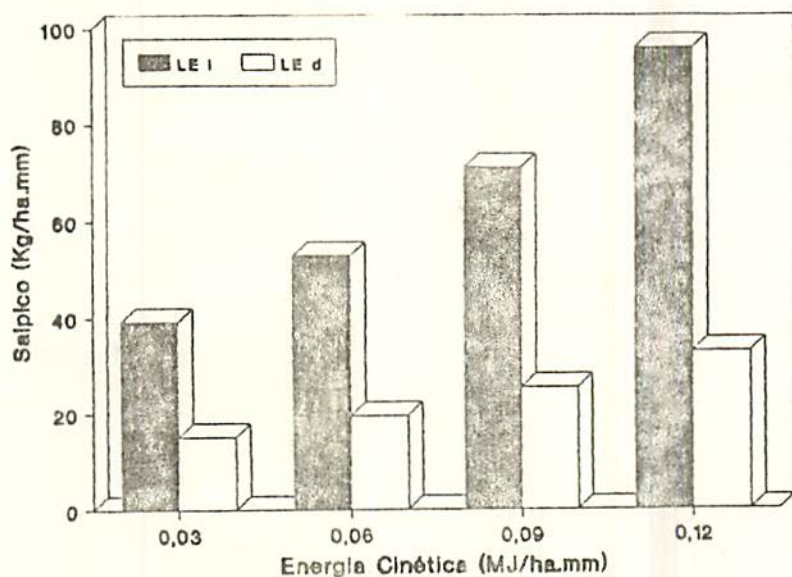


Figura 7. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética em amostras indeformadas (i) e deformadas (d) do Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

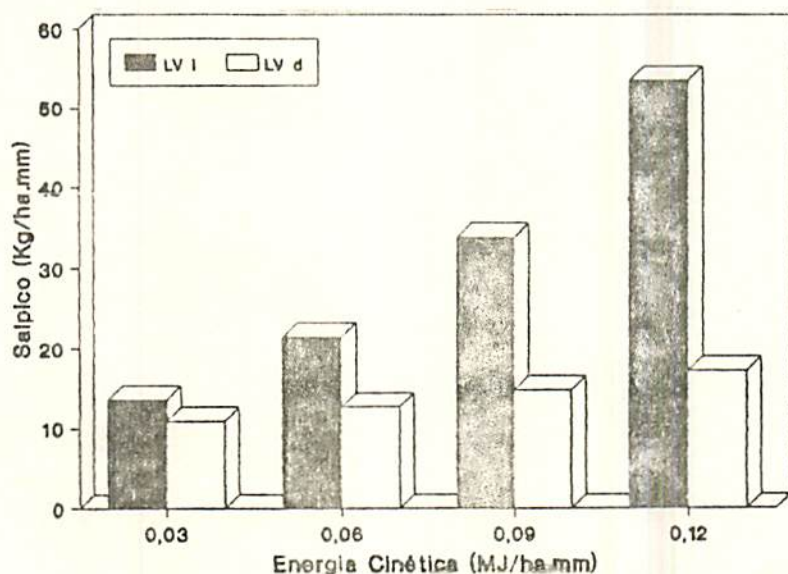


Figura 8. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética em amostras indeformadas (i) e deformadas (d) do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

Um aspecto importante a se notar é que o impacto das gotas de chuva promove uma desagregação das partículas na superfície do solo, obstruindo os poros. Devido a este fato, a amostra deformada apresentou uma menor quantidade de solo salpicado, tanto para o Latossolo Vermelho-Escuro como para o Latossolo Vermelho-Amarelo. ELLISON (1944) e McINTIRE (1958) afirmaram que a queda de deslocamento de partículas de solo por impacto de gotas de chuva é um resultado do selamento superficial. O acúmulo de água na superfície do solo forma um filme de água entre as partículas, aumentando a adesão entre as mesmas, dificultando o seu deslocamento. Este aspecto é mais intenso em amostras deformadas por apresentarem agregados menores que 2 mm, proporcionando maior "empacotamento" das partículas e, conseqüentemente, maior selamento superficial.

Segundo PALMER (1965), quando a espessura do filme de água está acima do diâmetro das gotas, a capacidade de deslocamento de partículas do solo pelas gotas diminui, mas proporciona condições para que as partículas possam ser suspensas e carregadas pela enxurrada. Este último aspecto foge do objetivo deste estudo, já que a amostra estava em nível e a área de teste era reduzida ($40,7 \text{ cm}^2$), não sendo possível estudar o efeito da enxurrada no processo.

Nas Figuras 9 e 10 observa-se que o Latossolo Vermelho-Escuro apresentou maior quantidade de solo salpicado em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo, tanto para amostras indeformadas como deformadas. Isto pode ser explicado, presumivelmente, devido às unidades estruturais do primeiro solo

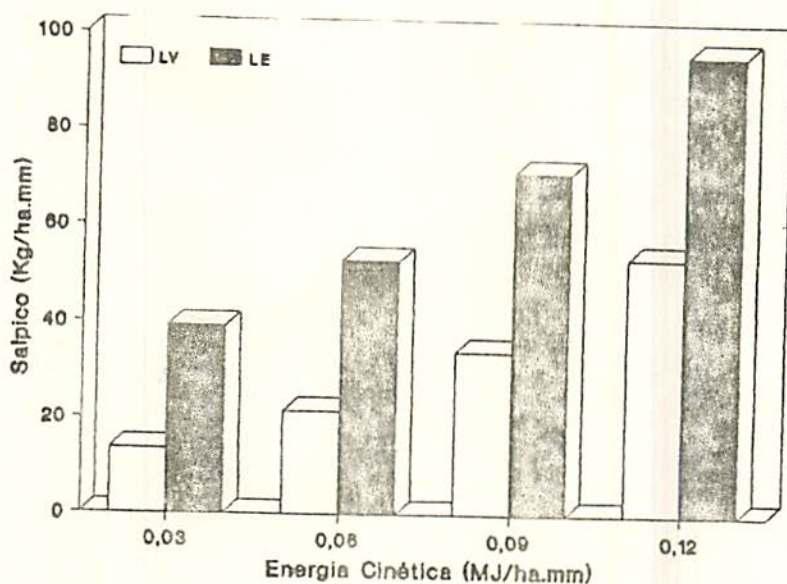


Figura 9. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostra indeformada.

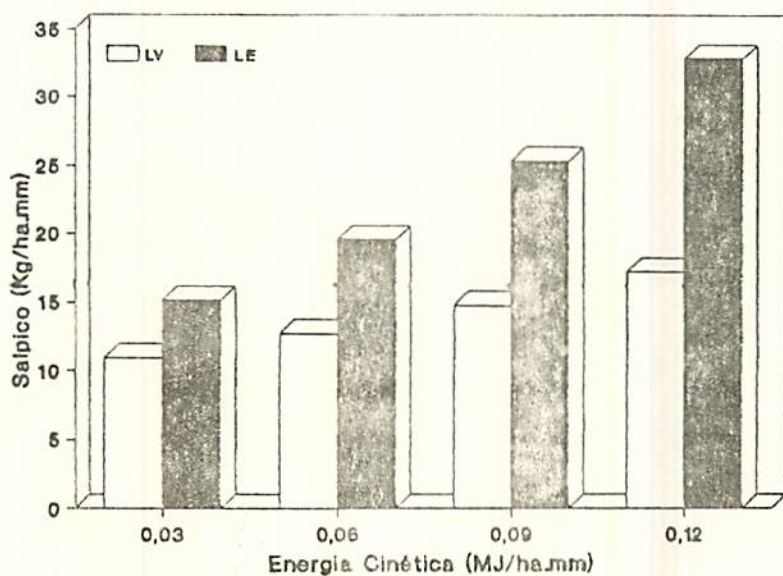


Figura 10. Quantidade de solo salpicado para 4 valores de energia cinética para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostra deformada.

serem de menor tamanho (Quadro 7) e haver menor coerência entre as mesmas partículas (mais arredondadas, conforme observações de campo), reflexos de suas características mineralógicas. Estes aspectos são consonantes com os trabalhos de EPSTEIN & GRANT (1967) REICHERT (1988) e, respectivamente.

Diante do exposto, a idéia que se tem, à primeira vista, é que o Latossolo Vermelho-Escuro é mais susceptível à erosão que o Latossolo Vermelho-Amarelo, mas estes resultados são, até certo ponto, incompletos, porque o salpico é apenas a primeira fase do processo erosivo. Os índices de erodibilidade obtidos de maneira direta e indireta (Quadro 12) mostraram resultados inversos que se relacionam à resistência destes solos à erosão.

O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou uma maior quantidade de solo salpicado (movimentação de partículas suscetíveis de serem transportadas pela enxurrada), mas em contra-partida, ele tem uma bem maior permeabilidade (Quadro 7), refletindo num menor deflúvio, conforme constatou PAULA LIMA (1987) estudando os mesmos solos, em que a taxa de deflúvio no Latossolo Vermelho-Amarelo foi 88% maior em relação ao Latossolo Vermelho-Escuro, fazendo com que o transporte de sedimentos seja menor no Latossolo Vermelho-Escuro em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo.

4.6. Perdas de Solo

Na Figura 11 podem ser observadas as perdas médias de solo para as várias estações do ano, considerando o solo descoberto e preparado no sentido do declive. As perdas de solo variaram de 9,8 a 0,58 t/ha. estação e 29,4 a 1,7 t/ha. estação para Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente. As menores perdas de solo ocorreram no inverno, e as maiores ocorreram no verão. O preparo de solo e plantio na região se concentram na primavera e verão. Nestes períodos, os riscos de erosão são críticos porque o solo geralmente se encontra completamente descoberto e revolvido. Segundo COGO (1988), a perda média anual de solo das terras cultivadas para as condições brasileiras pode ser referida como sendo em torno de 25,0 a 30,0 t/ha.ano ou, aproximadamente, 1,8 a 2,3 mm de solo superficial por ano.

Visando a obtenção de um referencial, foi estimada a tolerância de perdas por erosão admissíveis para os solos estudados. No Latossolo Vermelho-Escuro as perdas de solo não atingiram o limite máximo tolerável (19,2 t/ha. ano). O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou perdas (29,4 t/ha. estação) bem acima do limite máximo tolerável (4,2 t/ha.ano) no período do verão, indicando a necessidade de práticas adequadas de conservação do solo para redução destas perdas.

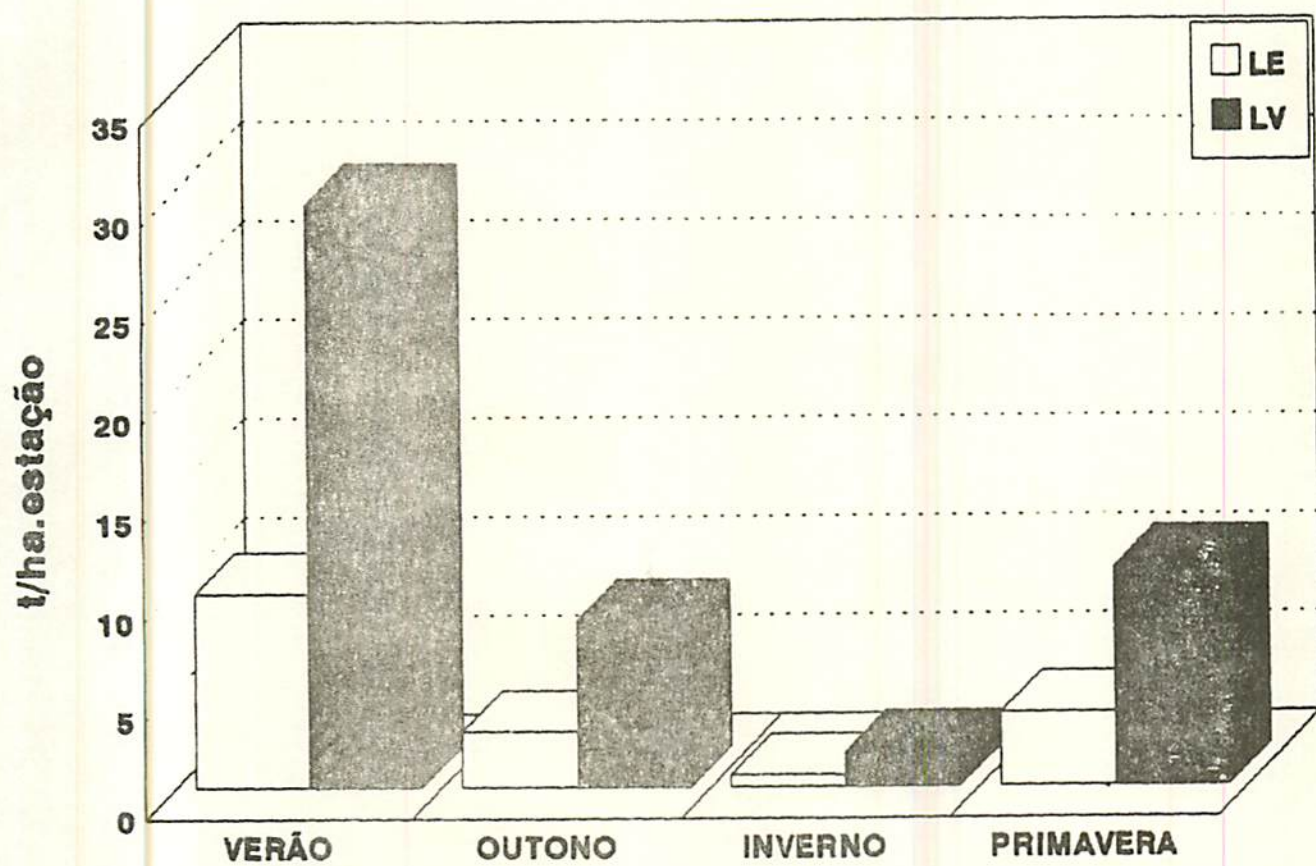


Figura 11. Estimativa de perdas de solo para as várias estações.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se, com o presente trabalho, comparar valores de erodibilidade obtidos de maneira indireta com aquele obtido de maneira direta, além de estudar o efeito do impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície do solo, para diferentes níveis de energia cinética, em amostras indeformadas e deformadas, onde mediu-se a quantidade de solo salpicado. Os solos utilizados foram Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), ambos com textura muito argilosa, sob cerrado, da região de Lavras (MG). A amostragem dos solos foi efetuada no horizonte A (0-20 cm), no próprio local onde se realizou o teste com chuva simulada para obtenção direta da erodibilidade. Efetuaram-se as seguintes caracterizações: (a) mineralógicas: na fração argila desferrificada quantificou-se caulinita e gibbsita através da análise térmica diferencial e na fração areia quantificou-se a taxa de minerais leves/pesados; (b) químicas: complexo sortivo, pH em água e em KCl, ponto de efeito

salino nulo, ataque sulfúrico, carbono orgânico e óxidos de ferro extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e pelo oxalato de amônio; (c) físicas: granulometria do solo disperso com água e com hidróxido de sódio, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, distribuição do tamanho dos poros, superfície específica, curva característica de retenção de umidade, umidade equivalente, permeabilidade e estabilidade de agregados em água. Foram utilizados 6 índices de erodibilidade, a saber : (I) índice de LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a), com base em MIDDLETON (1930); (II) índice de LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a), modificado por LIMA et al. (1990); (III) nomograma de WISCHMEIER et al. (1971); (IV) nomograma de WISCHMEIER et al. (1971), modificado por LIMA et al. (1990); (V) equação de DENARDIN (1990) para solos do Brasil; e (VI) equação de DENARDIN (1990) para solos do Brasil e EUA. Os resultados mostraram que: (1) nenhum dos métodos indiretos foi estatisticamente exato em relação ao método direto para estimar um valor absoluto para o fator erodibilidade; (2) apesar dessa inexatidão estatística, o método VI, baseado em solos do Brasil e EUA, é o que mais se aproxima da proporção de erodibilidade quando comparado ao método direto para os latossolos estudados; (3) os índices de erodibilidade obtidos enquadraram o Latossolo Vermelho-Escuro na classe muito baixa (0,013) e o Latossolo Vermelho-Amarelo na classe baixa (0,013-0,033); (4) o salpicamento dos latossolos estudados apresentou dependência da energia cinética das gotas de

chuva, sendo que os danos causados à superfície do solo aumentaram exponencialmente com acréscimos na energia cinética; (5) o Latossolo Vermelho-Escuro apresentou os menores valores de erodibilidade devido principalmente à sua maior permeabilidade e o Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou as menores taxas de salpicamento devido basicamente à sua maior coerência entre partículas, condições reflexas da mineralogia mais gibbsítica e mais caulínica, respectivamente; e (6) as maiores perdas de solo estimadas foram observadas para o Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo crítica no período do verão, onde ocorrem perdas estimadas acima dos níveis de tolerância admissíveis, indicando a necessidade de práticas de conservação para a redução destas perdas.

6. SUMMARY AND CONCLUSIONS

ERODIBILITY AND DIRECT IMPACT OF SIMULATED RAINDROPS OVER THE SURFACE OF LATOSOLS UNDER CERRADO VEGETATION

The present study aimed to compare erodibility values obtained of indirect manner with that directly obtained, beyond to evaluate the effect of direct impact of simulated raindrops over soil surface, for different kinectics energy levels, in undisturbed and disturbed samples, where it was measured the amount of splash. The utilized soils were Dark Red Latosol (LE) and Red-Yellow Latosol (LV), both with very clayey texture, under cerrado vegetation, from Lavras region, Minas Gerais State, Brasil. The soils sampling was performed in the A horizon (0-20 cm), in the same place where it was performed the simulated rain test for direct obtaining of erodibility. The following characterizations were made: (a) mineralogical: kaolinite and gibbsite quantification through differential thermal analysis in

the deferrated clay fraction, and light/heavy minerals ratio in the sand fraction; (b) chemical : sorption complex, pH in water and in 1N KCl, zero point of charge, sulphuric attack, organic carbon and iron oxides extracted by sodium dithionite-citrate-bicarbonate and ammonium oxalate; (c) physical: particle-size-distribution using water and sodium hydroxide as dispersers, particle density, bulk density, pores size distribution, specific surface area, moisture retention curve, moisture equivalent, permeability and water aggregates stability. It were utilized 6 erodibility indices, as follows: (I) LOMBARDI NETO and BERTONI (1975a) index, based upon MIDDLETON (1930); (II) LOMBARDI NETO & BERTONI (1975a), modified by LIMA et al. (1990); (V) DENARDIN (1990) equation for soils of Brazil and USA. The results showed that: (1) none of the indirect methods was statistically exact in comparison with the direct one for estimating an absolute value for the erodibility factor; (2) despite this statistical inexactness, the VI method, based upon soils of Brazil and USA, is that one which is closest to the erodibility proportion for the studied latosols when compared to the direct method; (3) the obtained indirect erodibility indices place the Dark Red Latosol in the very low (0.013) and the Red-Yellow Latosol in the low class (0.013-0.033); (4) the splash of the studied latosols presented dependence upon kinectics energy of raindrops, being that the damages caused to soil surface exponentially increased with kinectics energy increments; (5) the Dark Red Latosol

presented lower erodibility values mainly due to its higher permeability and the Red-Yellow Latosol had smaller splash ratios mainly due to its higher inter-particles coherence, reflected conditions of a more gibbsitic and a more kaolinitic mineralogy, respectively; and (6) the higher estimated soil losses were observed for the Red-Yellow Latosol, being critical during summer period, where occur estimated losses beyond the admissible tolerance levels, indicating the need of conservation practices for such losses reduction.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ANGULO, R.J. Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros. Curitiba, UFPR, 1983. 128p (Dissertação de Mestrado).
02. _____; ROLOFF, G. & SOUZA, M. L. de P. Aplicabilidade do nomograma de WISCHMEIER et alii (1971) para a determinação da erodibilidade de solos brasileiros. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 7:145-53, 1985.
03. BARNETT, A. P.; ROGERS, J. S.; HOLLADAY, J. H. & DOOLEY, A.E. Soil erodibility factors for selected soils in Georgia and South Carolina. Transaction of the ASAE, Saint Joseph, 8(3):393-5, 1965.
04. BENNETT, H. H. Some comparisons of the properties of humid tropical and humid temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. Soil Science, Baltimore, 21:349-75, 1926.

05. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Icone, 1990. 355p.
06. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. & BENATTI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agronômico, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21).
07. BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. V.1, p.363-75.
08. _____ & _____. Particle density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. V.1, p.377-82.
09. BOUYOUCOS, G.J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. Journal of the American Society of Agronomy, Madison, 27:738-41, 1935.
10. BRUCE-OKINE, E. & LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. Soil Science, Baltimore, 119(2):149-57, 1975.
11. ^{xy} CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F. & GUERRA, M. Erodibilidade do solo "São Jerônimo" (LATERÍTICO BRUNO AVERMELHADO DISTRÓFICO) determinada com simulador de chuvas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife, 1980. Anais... Recife, UFRP, 1981. p.203-18.

12. CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 55(5):1407-13, Sept./Oct. 1991.
13. 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, 5(2):144-51, jul./dez. 1981.
14. CHAVES, L.H.G. & TRAJANO, M.D.M. Determinação do ponto de carga zero e das cargas elétricas do horizonte Ap de solos do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 16:415-8, 1992.
15. COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. & FREITAS, S.S. *A responsabilidade Social da ciência do Solo*. Campinas, SBCS, 1988. p.251-62.
16. COSTA, L.M. da; MORAIS, E.J.; RIBEIRO, A.C. & FONSECA S. da Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes coberturas vegetais. *Revista Ceres*, Viçosa, 31(177): 351-9, 1984.

17. DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. V.1, p.443-61.
18. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. V.1, p.545-66.
19. DENARDIN, J.^E_R. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, ESALQ, 1990. 106p. (Tese de Doutorado).
20. ELLISON, W.D. Studies of raindrop erosion. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, 25:131-6, 181-2, 1944.
21. EL-SWAIFY, S. A. & DANGLER, E. W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, West Lafayette, Indiana, 1976. Proceedings... Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1977. p.105-14. (SCSA Special Publication, 21).
22. _____ & TAMA, K. Charge, colloidal and structural stability interrelationships for oxidic soils. In: EMERSON, W. W. **Modification of Soil Structure**. Wiley Hinterscience, 1978. p.41-9.

23. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Definição e notação de horizontes e camadas do solo. 2.ed. rev. e atu. Rio de Janeiro, 1988. 54p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 3)
24. ⁰¹²_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1979. n.p.
25. EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, 31:547-49, 1967.
26. FARIAS, G.S. de. Manejo de latossolo no estado do Paraná. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, Rio de Janeiro, 1988. *Anais...* Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1988. p.141-3.
27. FERREIRA, L. Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia. Lavras, ESAL, 1992. 82p. (Dissertação de Mestrado).
28. _____; CURI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M. & RIBEIRO, M. A.V. Formas de dispersão de solos, com altos teores de ferro, e sua aplicação na avaliação indireta da erodibilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. *Resumos expandidos...* Goiânia, SBCS, 1993. 3v. p.161-2.

29. FERREIRA, M.M. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros. Viçosa, UFV, 1988. 79p. (Tese de Doutorado).
30. FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 36(6):355-9, Nov./Dec. 1981.
31. FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; RÖMKENS, M.J.M. & ONSTAD, C.A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., ed. *Soil Erosion and Crop Productivity*. Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1985. Cap.9, p.137-58.
32. FREIRE, O. & PESSOTTI, J.E.S. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. *Anais da Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, 31:333-50, 1974.
33. _____ & _____. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, 51(314):195-202, dez. 1976.
34. GABRIELS, D. & MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of soil texture. *Soil Science Society America Journal*, Madison, 42:954-58, 1978.

35. GALINDO, I.C. de L. & MARGOLIS, E. Relação entre erodibilidade e características de solos representativos do nordeste brasileiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 9, Jaboticabal, 1992. Resumos... Jaboticabal, SBCS/UNESP, 1992. p.73.
36. GALINDO, I.C. de L. & MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13(1):95-100, jan./abr. 1989.
37. GERDEL, R.W. Reciprocal relationships of texture, structure, and erosion on some residual soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 2:537-45, 1937.
38. GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 19(21):319-28, abr. 1960.
39. HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water movement crop root growth, and water uptake. *Advances in Agronomy*, Orlando, 38:95-158, 1985.
40. HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L. & GONZALES, C.L. The ethylene glycol monoethyl ether (EGMEG) technique for determining soil-surface area. *Soil Science*, Baltimore, 100:409-13, 1965.

41. HENKLAIN, J.C. Erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná: aplicabilidade do método nomográfico. Piracicaba, ESALQ, 1980. 83p. (Tese de Mestrado).
42. _____ & FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7(2):191-5, maio/ago. 1983.
43. HILLS, D. Advanced sprinkler irrigation. Davis, University of Califórnia, 1988. (Course Notes).
44. HUDSON, N.W. Soil Conservation. 2.ed. Ithaca, Cornell University, 1971. 320p.
45. KANDIAH, A. Influence of soil properties and crop cover on the erodibility of soils. In: LAL, R. & GREENLAND, D. J., ed. Soil physical properties and crop production in the tropics. New York, J. Wiley, 1979. cap.84, p.475-87.
46. KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.499-509. (Agronomy, 9)
47. _____ & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. V.1, p.425-42.

48. KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: _____. ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. V.1, p.635-62.
49. KRISHNA MURTI, G.S.R.; VOLK, V.V. & JACKSON, M.L. Colorimetric determination of iron of mixed valency by orthophenantroline. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30(5):663-4, Sept./Oct. 1966.
50. KRUMBEIN, W.C. & PETTIJOHN, F.J. *Manual of sedimentary petrography*. New York, Appleton Century-Crofts, 1938. 549p.
51. LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. Cap.7, p.141-60.
52. ^{x sit} LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1982. 45p.
53. LIMA, J.M. *Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)*. Lavras, ESAL, 1987. 86p. (Dissertação de Mestrado).
54. _____; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14(1):85-90, jan./abr. 1990.

55. LIMA, L.A.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & MARQUES, J.J.G.S.M.
O salpicamento de latossolos provocado por gotas de chuva.
In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia,
1993. Resumos expandidos... Goiânia, SBCS, 1993. v.3, p.
161-2
56. LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas, Instituto Agronômico, 1975a. 12p. (Boletim Técnico, 27).
57. _____ & _____. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1975b. 12p. (Boletim Técnico, 28).
58. LYLE, W.M. & SMERDON, E. T. Relation of compaction and other soil properties to erosion resistance of soils. *Transaction of the ASAE*, Saint Joseph, 8(3):419-22, 1965.
59. McINTYRE, D.S. Permeability measurements on soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, Baltimore, 85(4):185-9, 1958.
60. MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N. & LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 16: 235-40, 1992.

61. MARTINS FILHO, E.C. & SILVA, J.R.C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 9(2):175-7, maio/ago. 1985.
62. MEHRA, O.P. & JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clays Minerals*, Clarkson, 3:317-27, 1960.
63. MEYER, L.D. & McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering*, Saint Joseph, 39:644-8, 1958.
64. MIDDLETON, H.E. Properties of soils which influence soil erosion. Washington, USDA, 1930. 16p. (Technical Bulletin, 178).
65. MUTCHLER, C.K.; MURPHREE, C.E. & MCGREGOR, K.C. Laboratory and field plots for soil erosion studies In: LAL, R., ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p.9-36.
66. OLIVEIRA, V.H. & BAHIA, V.G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras-MG, usando o nomograma. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(9):1157-62, set. 1984.

67. PALMER, R.S. Waterdrop impact forces. *Transactions of the ASAE, Saint Joseph*, 8(1):69-70, 1965.
68. _____. Índices de erodibilidade diretos e indiretos para dois latossolos do município de Lavras-Minas Gerais. *Ciência e Prática, Lavras*, 15(2):186-93, abr./jun. 1991.
69. PAULA LIMA, P.M. de. Perdas de solo e água em dois Latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada. Lavras, ESAL, 1987. 88p. (Dissertação de Mestrado).
70. PEELE, T. C. The effect of lime and organic matter on the erodibility of Cecil Clay. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, 2:79-84, 1937.
71. PEREIRA, V. de P. Perda de solo em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argila, devido ao impacto de gotas de chuva simulada e a comprimento de rampa. Jaboticabal, UNESP, 1989. 106p. (Tese de Livre Docência).
72. POMBO, L.C.A.; GIANLUPPI, D. & KLAMT, E. Determinação do fator K de solos do Rio Grande do Sul através de características físicas, químicas e mineralógicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife, 1980. *Anais...* Recife, UFRP, 1981. p.220-35.

73. POMBO, L.C.A.; KLAMT, E.; KUNRATH, I. & GIANLUPPI, D. Identificação de óxidos de ferro na fração argila de Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(1):13-7, jan./abr. 1982.
74. PUNDEK, M. Utilização prática da equação de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 9, Jaboticabal, 1992. Resumos... Jaboticabal, SBCS/UNESP, 1992. p.85.
75. RAIJ, B.V. Determinação do ponto de carga zero em solos. *Bragantia*, Campinas, 32(18):337-47, dez. 1973.
76. _____ & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 36:587-93, 1972.
77. REICHERT, J.M. ^{x y z} Formação de selo superficial e infiltração de água sob chuva simulada em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS-Faculdade de Agronomia, 1988. 165p. (Dissertação de Mestrado).
78. _____ & CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 16:389-96, 1992.

79. RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 11 (128):3-18, ago. 1985.
80. _____. Pedologia. Viçosa, UFV, 1982. 100p.
81. _____; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo : interações e aplicações. Brasília, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.
82. RIBEIRO, A.C., COSTA, L.M. & OLIVEIRA, M. Algumas considerações acerca da determinação do ponto de carga zero em solos tropicais. Viçosa, UFV, s.d. n.p. (Roteiro de aula prática da disciplina Química do Solo).
83. RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B. & NELSON, D.W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil Science Society of America Journal, Madison, 41(5):954-60, Sept./Oct. 1977.
84. ROSE, C.W. Soil detachment caused by rainfall. Soil Science, Madison, 89:28-35, 1960.
85. ROTH, C.B.; NELSON, D.W. & RÖMKENS, M.J.M. Prediction of sub-soil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters. Washington, Environmental Protection Agency, 1974. 111p.

86. SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammonium-Oxalat-Lösung. *Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung*, Berlin, 105(3):194-202, 1964.
87. SILVA, A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 17(3):459-64, 1993.
88. SIQUEIRA, C; LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. & SANTOS, G.A. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: I. Influência da matéria orgânica no tempo de equilíbrio para determinação das curvas de titulação potenciométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14:7-11, 1990.
89. SMITH, D.D. & WISCHMEIER, W.H. Rainfall erosion. *Advances in Agronomy*, Orlando, 14:109-48, 1962.
90. SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, 1951. 503p. (Agricultural Handbook, 18).
91. SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. Biometry—the principles and practice of statistics in biological research. San Francisco, W.H. Freeman and G., 1969. p.370-1.
92. SPOSITO, G. Surface reactions in natural aqueous colloidal systems. *Chimia*, Brunner Verlag, 43(6):169-76, 1989.

93. STALLINGS, J.H. Soil conservation. New Jersey, Prentice-Hall, 1957. 575p.
94. SUAREZ DE CASTRO, F. Conservacion de suelos. 3.ed. San José, IICA, 1980. 315p.
95. SWANSON, N.P. Rotating - boom rainfall simulator. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, 8(1):71-2, 1965.
96. TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.R.C. & MOREIRA, E.G.S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 9:59-62, 1985.
97. TROEH, F.R.; HOBBS, J.A. & DANAHUE, R.L. Soil and water conservation for productivity and environmental protection, New Jersey, Prentice-Hall, 1980. 718p.
98. UEHARA, G. & GILLMAN, G.P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals. I. Theory. Soil Science Society America Journal, Madison, 44:250-2, 1980.
99. VAL, L.A.; BAHIA, V.G; FREIRE, J.C. & DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras - MG. Ciência e Prática, Lavras, 10(2):199-209, maio/ago. 1986.

100. VEIGA, M. da; CABEDA, M.S.V. & REICHERT, J.M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 17(1):121-8, 1993.
101. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
102. VILELA, E.A. & RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras-MG. *Ciência e Prática*, Lavras, 3(1):71-9, jan./jun. 1979.
103. WILLIAMS, M.A. Prediction of rainsplash erosion in the seasonally wet tropics. *Nature*, London, 222(5195):763-5, 1969.
104. WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Baltimore, 26(5):189-93, Sept./Oct. 1971.
105. _____ & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings*. Madison, 33(1):131-7, Jan./Feb. 1969.
106. _____ & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains; a guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, USDA, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

107. WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D.. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Hand-book, 537).
108. _____ & _____. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, 39(2):285-91, 1958.
110. YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. Journal of America Society Agronomy, Madison, 28(5):337-51, May 1936.

APPENDICE I

I A. DESCRIÇÃO DO PERFIL 1

DESCRIÇÃO GERAL

- Perfil nº 1: Experimento com simulador de chuvas.
- Classificação: LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO
A moderado textura muito argilosa fase cerrado relevo suave ondulado.
- Localização: Vila Pitangui, Município de Lavras - MG
(próximo ao campo de futebol).
- Situação e Declive: Trincheira situada no terço médio superior de encosta com 6 % de declive.
- Altitude: 910 m
- Material de Origem: Produto de alteração do gnaisse granítico mesocrático.
- Relevo: Suave ondulado.
- Erosão: Laminar ligeira.
- Drenagem: Acentuadamente drenado.
- Vegetação Primária: Cerrado.
- Uso Atual: Nenhum.
- Examinadores: Nilton Curi, José Maria de Lima e José Marques Júnior.
- Data: 26/07/85.

DESCRIBÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-35 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); muito argiloso; fraca muito pequena e pequena granular e alguns blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- AB 35-71 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); muito argiloso; fraca pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- BA 71-116 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw1 116-164 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bw2 164-200 cm+, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido);
muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ"
que se desfaz em forte muito pequena granular; li-
geiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso.

I B. DESCRIÇÃO DO PERFIL 2

DESCRIÇÃO GERAL

- Perfil nº2: Experimento com simulador de chuvas.
- Classificação: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO
A moderado textura muito argilosa fase cerrado relevo suave ondulado.
- Localização: Distrito Industrial, Município de Lavras
- MG.
- Situação e Declive: Corte de estrada situada no terço médio de encosta, com 7% de declive.
- Altitude: 935 m.
- Material de Origem: Produto de alteração do gnaisse granítico leucocrático.
- Relevo: Suave ondulado.
- Erosão: Laminar ligeira
- Drenagem: Bem drenado
- Vegetação Primária: Cerrado
- Uso atual: Nenhum
- Examinadores: Nilton Curi, José Maria de Lima e José Marques Júnior.
- Data: 01/08/86

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-15 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argila; moderada, média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- AB 15-41 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido); argila; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 41-62 cm, bruno-escuro (7,5YR 5/6, úmido); argila; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte pequena granular e alguns blocos subangulares; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1 62-88 cm, vermelho-amarelado (6YR 5/6, úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte pequena granular e alguns blocos macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

- Bw2 88-124 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); argila; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte pequena granular e alguns blocos subangulares; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw3 124-170 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte pequena granular e alguns blocos subangulares; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BC 170-200 cm⁺, vermelho-amarelado (5YR, úmido); argila; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em forte pequena granular e alguns blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso.



APENDICE II

II. CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA DA CHUVA SIMULADA PARA O TESTE DO SALPICO

1. Cálculo do coeficiente do atrito da gota com o ar para diâmetro da gota de 2,74 mm (HILLS, 1988):

$$C = (0,804 - 0,264.D + 0,066.D^2 - 0,004.D^3) / (1,109.D)$$

Onde: C é o coeficiente de atrito da gota com o ar;

D é o diâmetro da gota (mm).

$$C = (0,804 - 0,264.2,74 + 0,066.2,74^2 - 0,004.2,74^3) / (1,109.2,74)$$

$$C = 0,1625$$

2. Cálculo do tempo de queda da gota

$$T = \text{arccosh} . [\exp . (Z.C)] / (G.C)^{0,5}$$

Onde: T é tempo de queda (s);

Z é a altura da queda (m);

C é o coeficiente do atrito da gota com o ar;

G é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

$$T = \text{arccosh} . [\exp(0,5 . 0,1625)] / (9,81 . 0,1625)^{0,5}$$

$$T = 0,325 \text{ s}$$

3. Cálculo da velocidade de impacto da gota de chuva

$$V = (G/C)^{0,5} . [\tanh . (T . (G.C)^{0,5})]$$

Onde: V é a velocidade de impacto da gota (m/s);

C é a coeficiente de atrito da gota;

G é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

T é o tempo de queda da gota (s).

$$V = (9,81/0,1625)^{0,5} \cdot [\tanh.(0,324.(9,81.0,1625)^{0,5})^{0,5}$$

$$V = 3,0122 \text{ m/s}$$

4. Cálculo da Energia cinética da gota de chuva

$$EC = 0,5.M.V^2$$

Onde: EC é a energia cinética (J);

M é a massa da gota considerando a densidade da água 1t/m^3 ;

V é a velocidade de impacto da gota (m/s).

4.1. Cálculo do volume da gota

$$V_{\text{gota}} = (\pi \cdot D^3) / 6$$

Onde: V_{gota} é o volume da gota (m^3);

D é o diâmetro da gota (m).

$$V_{\text{gota}} = [\pi \cdot (2,74 \times 10^{-3})^3] / 6$$

$$V_{\text{gota}} = 1,077 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

4.2. Cálculo da Massa da Gota

$$M = D_{\text{água}} \cdot V_{\text{gota}}$$

Onde: $D_{\text{água}}$ é a densidade da água (1000 Kg/m^3);

V_{gota} é o volume da gota (m^3).

$$M = 1000 \cdot 1,077 \times 10^{-8}$$

$$M = 1,0771 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

4.3. Cálculo da Energia Cinética da Gota

$$EC = 0,5 \cdot 1,0771 \times 10^{-5} \cdot 3,0122^2$$

$$EC = 4,8864 \times 10^{-5} \text{ J/gota}$$

5. Cálculo da Energia Cinética Total

5.1. Cálculo do volume Total da Chuva Simulada

$$\text{Intensidade} = 61,5 \text{ mm/h;}$$

$$\text{Área do Teste (A)} = 4,5364 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Tempo Teste} = 0,5 \text{ h (30 min)}$$

$$\text{Lâmina aplicada (L)} = 30,75 \text{ mm (0,03075 m)}$$

$$V_{\text{total}} = A \cdot L$$

$$V_{\text{total}} = 4,5364 \times 10^{-3} \cdot 0,03075$$

$$V_{\text{total}} = 1,3950 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

5.2. Cálculo do Nº de Gotas

$$N = V_{\text{total}} / V_{\text{gota}}$$

$$N = 12951 \text{ gotas}$$

5.3. Cálculo da Energia Cinética Total

$$EC_{\text{total}} = \text{Nº gotas} \cdot EC \text{ 1 gota}$$

$$EC_{\text{total}} = 12951 \cdot 4,8864 \cdot 10^{-5}$$

$$EC_{\text{total}} = 0,63 \text{ J}$$

$$EC_{\text{total}} = 0,63 \text{ J} / (4,5364 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 30,75 \text{ mm})$$

$$EC_{\text{total}} = 4,55 \text{ J/m}^2 \cdot \text{mm}$$

$$EC_{\text{total}} = 45367 \text{ J/ha} \cdot \text{mm}$$

$$EC_{\text{total}} = 0,046 \text{ MJ/ha} \cdot \text{mm}$$

Quadro II A. Energias Cinéticas Utilizadas nos Testes de Salpico.

ALTURA DE QUEDA (Z)	ENERGIA CINÉTICA (EC)
-----m-----	-----MJ/ha/mm-----
0,5	0,046
1,5	0,116
3,0	0,188

Quadro II B. Equações de quantidade de solo movimentada por salpico, obtidas em função de 3 valores de energia cinética (EC).

SOLO	AMOSTRA	EQUAÇÕES	R ²
LE	Indeformada	SALPICO=29,1.21239,8 ^{EC}	0,82
	Deformada	SALPICO=11,7.5456,1 ^{EC}	0,94
LV	Indeformada	SALPICO=8,6.4305761,8 ^{EC}	0,97
	Deformada	SALPICO=9,39.156,0 ^{EC}	0,61

APÉNDICE III

III. EXEMPLO DE CÁLCULO DO TESTE t DE STUDENT PARA MÉDIA

Quadro IIIA. Desvio Padrão(s), Média(\bar{X}), Erro Padrão da Média(e) e Intervalo de Confiança dos Métodos Indiretos Para Estimativa da Erodibilidade.

Método	s	\bar{X}	e	Intervalo de Confiança
I	$4,4721 \times 10^{-4}$	$1,48 \times 10^{-2}$	$5,5519 \times 10^{-4}$	0,014 m 0,015
II	$8,3666 \times 10^{-4}$	$2,38 \times 10^{-2}$	$1,0386 \times 10^{-3}$	0,023 m 0,025
III	$4,4721 \times 10^{-4}$	$-7,8 \times 10^{-4}$	$5,5519 \times 10^{-4}$	0,008 m -0,007
IV	$13,0384 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-2}$	$1,6187 \times 10^{-3}$	0,012 m 0,015
V	0,0000	$1,0 \times 10^{-3}$	0,0000	0,001
VI	$13,0384 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-3}$	$1,6187 \times 10^{-3}$	0,006 m 0,009

Nota: Os dados que geraram os valores acima estão no Quadro IIIB

1. Cálculo do valor médio

$$\bar{X} = \sum x_i / n = (0,015 + 0,015 + \dots + 0,015) / 5 = 1,48 \times 10^{-2}$$

2. Cálculo do desvio padrão:

$$s^2 = \sum (x_i - \bar{X})^2 / (n-1) = [(0,015 - 1,48 \times 10^{-2})^2 + (0,015 - 1,48 \times 10^{-2})^2 + \dots + (0,015 - 1,48 \times 10^{-2})^2] / 4 = 2 \times 10^{-7}$$

$$s = (s^2)^{0,5} = (2 \times 10^{-7})^{0,5} = 4,4721 \times 10^{-4}$$

3. Cálculo do erro padrão da média:

$$e = t_{\alpha/2} \cdot s/n^{0,5}$$

O t da tabela de student, ao nível de 5%, com 4 graus de liberdade é 2,776.

$$e = 2.776 \times 4,4721 \times 10^{-4} / 5^{0,5} = 5,5519 \times 10^{-4}$$

4. Cálculo do intervalo de confiança:

$$\bar{X} - e \leq m \leq \bar{X} + e$$

$$0,014 \leq m \leq 0,015$$

Podemos afirmar, com 95% de probabilidade, que o intervalo [0,014 ; 0,015] cobre o valor médio.

Nota: Os dados utilizados no exemplo pertencem ao Latossolo Vermelho-Escuro.

Quadro IIIB. Repetições dos índices de erodibilidade determinados por seis métodos indiretos.

Repetições	Métodos indiretos					
	I	II	III	IV	V	VI
1	0,015(0,013)	0,023(0,028)	-0,007(0,005)	0,012(0,022)	0,001(0,025)	0,010(0,014)
2	0,015(0,013)	0,025(0,027)	-0,008(0,006)	0,015(0,021)	0,001(0,025)	0,007(0,016)
3	0,015(0,013)	0,024(0,027)	-0,008(0,006)	0,013(0,021)	0,001(0,021)	0,007(0,015)
4	0,014(0,013)	0,024(0,028)	-0,008(0,006)	0,015(0,022)	0,001(0,024)	0,007(0,015)
5	0,015(0,014)	0,023(0,028)	-0,008(0,006)	0,014(0,021)	0,001(0,024)	0,008(0,015)
média	0,015(0,013)	0,024(0,028)	-0,008(0,006)	0,014(0,021)	0,001(0,025)	0,008(0,015)

Nota: Valores sem parênteses correspondem ao Latossolo Vermelho-Escuro e os valores entre parênteses ao Latossolo Vermelho-Amarelo.

APÉNDICE IV

IV. TESTE DE BARTLETT PARA HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS SEGUNDO SOKAL & ROHLF (1969):

QUADRO IV. Graus de Liberdade e Variâncias dos Índices de Erodibilidade Determinados por Seis Métodos Indiretos:

Amostras				
(a = 6)	GL=(n-1)	s^2_i	$10^7 s^2_i$	$\log(10^7 s^2_i)$

I	4	$2,0 \times 10^{-7}$	2,0	0,3010
II	4	$7,0 \times 10^{-7}$	7,0	0,8451
III	4	$2,0 \times 10^{-7}$	2,0	0,3010
IV	4	$1,7 \times 10^{-6}$	17,0	1,2304
V	4	0,0	0,0	-
VI	4	$1,7 \times 10^{-6}$	17,0	1,2304

Total	24			

Nota: Os dados que geraram os valores acima estão no Quadro IIIB.

Teste de Bartlett:

1. Cálculo do logaritmo para as 6 variâncias. Antes de calcular o logaritmo é necessário multiplicar por um fator para que não tenhamos valores negativos. No nosso caso as variâncias foram multiplicadas por 10^7 . Este valor não tem efeito sobre o teste.

2. Cálculos das somas dos graus de liberdade.

$$\sum (n_i - 1) = 24$$

3. Cálculo da variância média:

$$s^2 = [\sum (n_i - 1) s^2_i] / [\sum (n_i - 1)] = [4(2,0) + 4(7,0) + \dots + 4(17,0)] / 24 = 7,5$$

Cálculo do logarítmo:

$$\log 7,5 = 0,8751$$

4. Cálculo:

$$\begin{aligned} \sum (n_i - 1) \log_{10}^2 s_i^2 &= 4(0,3010) + 4(0,8451) + \dots + 4(1,2304) = \\ &= 14,4276 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. X^2 &= 2,3026([\sum (n_i - 1)] \log s^2 - \sum (n_i - 1) \log s_i^2) = \\ &= 2,3026[(\text{somatória 2} \times \text{somatória 3}) - \text{somatória 4}] = \\ &= 2,3026[24(0,8751) - 14,4276] = 6,5748 \end{aligned}$$

A constante 2,3026 transforma o logarítmo comum em logarítmo natural.

O valor de X^2 é corrigido por um fator de correção C.

6. Cálculo do fator de correção C:

$$\begin{aligned} C &= 1 + (1/[3(a-1)]) (\sum 1/(n_i - 1) - 1/\sum (n_i - 1)) = \\ &= 1 + [1/3(6-1)] [1/4 + \dots + 1/4 - 1/24] = 1 + 1/15 [6/4 - 1/24] = \\ &= 1,5555. \end{aligned}$$

$$\text{Ajuste do } X^2 = X^2/C = 6,5748/1,5555 = 4,2268$$

Como $X^2_{0,01(5)} = 15,086$; concluimos que as variâncias das 6 amostras são homogêneas, ou seja não há diferenças significativas entre elas para o nível de significância de 1 %.

Nota: Os dados utilizados no exemplo pertencem ao Latossolo Vermelho-Escuro.