

GERSON ANTONIO JACOBS

**ERODIBILIDADE DE DOIS LATOSSOLOS VERMELHO-ESCURO  
(Textura argilosa e média) EM RELAÇÃO A EROSIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em "Ciência do Solo" da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientador:  
Prof. Ph.D. Glaucio Roloff

CURITIBA

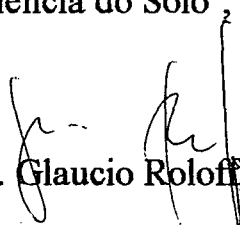
1995

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO**  
**"MESTRADO"**

**P A R E C E R**

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **GERSON ANTONIO JACOBS**, com o título: "**Erodibilidade de dois Latossolos Vermelho-Escuro (Textura Argilosa e Média) em Relação à Erosividade**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com o conceito "A" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 10 de agosto de 1995.

  
Prof. Ph.D. Glaucio Roloff, Presidente.

  
Engo. Agro. M.Sc. Rui Carlos Maranhão Biscaia, I<sup>o</sup> Examinador.

  
Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, II<sup>o</sup> Examinador.

## AOS TRABALHADORES!

Um dia o operário viu  
que ele construía as casas,  
mas não tinha onde morar.

Ele construía as escolas, no entanto  
nunca viu um filho se formar.  
Ele construía os hospitais  
e neles não podia entrar.

Ele fazia os remédios,  
mas não podia comprá-los.

A mesa, os móveis e até o facão,  
tudo era feito pela sua mão.  
Enfim, a cidade, a nação,  
tudo era ele quem fazia.

Até o carro do patrão e  
o colchão que ele dormia  
era ele quem fazia.

Viu o operário que ele construía jardins,  
construía ataúdes, construía túmulos.

Mas, quando morria, não tinha flores  
e era enterrado no chão.

O operário viu que tudo tinha  
a marca de sua mão.

E vendo tudo isso  
o operário começou a dizer NÃO.  
Combatendo a política de exploração.

O operário, então, sofreu  
a sua primeira agressão.

Teve seu rosto cuspidos,  
teve seu braço quebrado.

Foi preso, surrado, mas quando  
perguntado, o operário disse NÃO.

Não dando certo a agressão,  
tentou o patrão mudar a situação,  
usando a corrupção.

Oferecendo ao operário riquezas,  
mulheres e lazer.  
Mas o operário também disse NÃO.

- Loucura! Gritou o patrão!  
Não vêes o que te dou eu?  
- Mentira! disse o operário.  
Não podes dar-me o que é meu.

E por isso eu digo NÃO!

VINÍCIUS DE MORAES

A Otto, meu Pai “in memoriam”

À Lucia, minha Mãe

A Norberto, Nilce, Noeli, Ana e Alceu, meus irmãos

Dedico

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Ph.D. Glaucio Roloff, Universidade Federal do Paraná, pela amizade, paciência e competente orientação na realização do trabalho.
- Ao Eng. Agrº. M. Sc. Rui Carlos Maranhão Biscaia, Instituto Agrônômico do Paraná, pela sua contribuição no desenvolvimento do trabalho.
- Ao Eng. Agrº. M.Sc. Gustavo Henrique Merten, Instituto Agrônômico do Paraná, pela amizade, colaboração e sugestões para o desenvolvimento do trabalho.
- Aos Prof. Ph.D. Henrique Marinho Leite Chaves, Universidade de Brasília e Prof. Dr. Celso Luiz Prevedello, Universidade Federal do Paraná, pelo apoio e ensinamentos que em muito contribuíram para a minha formação.
- Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade concedida para a realização do Curso.
- Às funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio e colaboração durante todo o decorrer do Curso.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.
- Ao Ex-ITCF (Instituto de Terras, Cartografia e Florestas) atual Instituto Ambiental do Paraná por oportunizar a participação no Curso, em especial à Advogada Ednéia R. Alkamin
- Às colegas do Instituto Ambiental do Paraná, Gracie Abad Maximiano e Rossana Baldanzi Fowler, pela amizade e apoio no desenvolver deste trabalho.
- Ao Instituto Italo-Latino Americano, por oportunizar à participação no Curso de Pós-Graduação “Desarrollo e Gestión de Cuencas Hidrográficas”, Monselice e Trento (Itália) e Táchira e Mérida (Venezuela) - 1994
- Ao Dr. Donato Nardin, Azienda Speciale di Sistemazione Montana - Trento (Itália), pela amizade e ensinamentos de amor à Natureza e ao Trabalho.

## SUMÁRIO

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                              | <b>1</b>  |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>                   | <b>4</b>  |
| 2.1 Mecânica da erosão do solo                    | 4         |
| 2.2 Equação Universal de Perdas de Solo           | 9         |
| 2.3 Fator erosividade da chuva e enxurrada        | 13        |
| 2.3.1 O Índice $EI_{30}$ na Região Tropical       | 17        |
| 2.3.2 O índice $EI_{30}$ no Brasil                | 21        |
| 2.4 Fator erodibilidade do solo                   | 25        |
| 2.5 Sazonalidade do fator erodibilidade do solo   | 27        |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>                      | <b>31</b> |
| 3.1 Caracterização das regiões estudadas          | 31        |
| 3.2 Unidade experimental                          | 32        |
| 3.3 Determinação das perdas de solo e água        | 35        |
| 3.4 Determinação da energia da chuva              | 37        |
| 3.4.1 Pluviógrafo e pluviogramas utilizados       | 38        |
| 3.4.2 Registro e obtenção dos dados               | 38        |
| 3.5 Análise estatística                           | 41        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                  | <b>43</b> |
| 4.1 Fator erosividade da chuva e Enxurrada        | 43        |
| 4.2 Perdas de água e solo                         | 47        |
| 4.3 Fator erodibilidade dos solos                 | 50        |
| 4.3.1 Sazonalidade do Fator Erodibilidade do Solo | 55        |
| <b>5. CONCLUSÕES</b>                              | <b>62</b> |
| 5.1 Sugestões                                     | 64        |
| <b>6. LITERATURA CITADA</b>                       | <b>76</b> |

## **LISTA DE QUADROS DO ANEXO**

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>A1 - Valores mensais, anuais e médios de Erosividade para Ponta Grossa</b>    | <b>65</b> |
| <b>A2 - Valores mensais, anuais e médios de Erosividade para Paranavaí</b>       | <b>66</b> |
| <b>A3 - Valores mensais, anuais e médios de Enxurrada para Ponta Grossa</b>      | <b>67</b> |
| <b>A4 - Valores mensais, anuais e médios de Enxurrada para Paranavaí</b>         | <b>68</b> |
| <b>A5 - Valores mensais, anuais e médios de Perdas de Solo para Ponta Grossa</b> | <b>69</b> |
| <b>A6 - Valores mensais, anuais e médios de Perdas de Solo para Paranavaí</b>    | <b>70</b> |
| <b>A7 - Resultados das análises Físicas e Químicas do solo de Ponta Grossa</b>   | <b>71</b> |
| <b>A8 - Resultados das análises Físicas e Químicas do solo de Paranavaí</b>      | <b>72</b> |

## RESUMO

A erosividade da chuva foi calculada através do índice  $EI_{30}$ , utilizando-se de registros pluviográficos e de perdas de solo e água obtidos junto à parcelas de escoamento superficial do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) localizadas no Pólo Regional de Pesquisas de Ponta Grossa (PR), em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa e na Estação Experimental de Paranavaí (PR), em Latossolo Vermelho-Escuro, textura média. A energia cinética da chuva foi obtida através das equações de Wischmeier & Smith, Hudson, Kinnell, Wagner & Massambani e Castro Filho et al. A intensidade máxima em 30 minutos foi obtida de duas maneiras: a tradicional de Wischmeier & Smith (1965,1978), e da forma padronizada de Brown & Foster (1987). Quando foi adotada a forma tradicional de obtenção do  $I_{30}$ , não foi verificada diferença estatística entre as equações. Para a cidade de Paranavaí a equação de Castro Filho et al [ $R^2=0,523$ ] foi estatisticamente a que forneceu menor coeficiente, a que menos se ajustou. Quando foi adotada a forma padronizada de obtenção do  $I_{30}$ , o melhor estimador da erosividade da chuva verificado foi o de Wischmeier & Smith [ $R^2=0,553$ ] para Ponta Grossa e de Hudson [ $R^2=0,672$ ] para Paranavaí. Os valores da erodibilidade do solo obtidos foram, 0,0087 e 0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm., respectivamente para os solos de Ponta Grossa e Paranavaí. Quando os eventos foram individualizados em estações do ano, apresentaram variações sazonais com limites que variaram de 177 % [Outono] e 49 % [Verão], em relação ao valor anual de 0,0087 t.ha.h./ha.MJ.mm, para Ponta Grossa e de 112 % [Primavera] e 55 % [Inverno], em relação ao valor anual de 0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm. para Paranavaí.



## ABSTRACT

The rain erosivity was calculated through of the EI30 indice, using pluviographics registers and the loss soil and water, obtained close by the parcels of runoff of Parana Agronomics Institute (IAPAR), localized on the Regional Pole of Researchs of Ponta Grossa (PR), in Darkness-red Latosoil, clay texture an at Paranavai Experimental Station, in Darkness-red Latosoil, medium texture. The cinetic rain energy, was obained through the equations of Wischmeier & Smith, Hudson, Kinnell, Wagner & Massambani and Castro Filho et al. The maximum intensity at 30 minutes was obtained by two forms: the traditional of Wischmeier & Smith, and the standartized of Brown & Foster. When was adopted the traditional form for obtained the I30, no statistic difference between the equations was verificated. For Paranavai City the equation of Castro Filho et al. was the less statistically ajusted. When the standartized form of the obtainment I30 was adopted, the best rain erosivity estimation verificated was the Wischmeier & Smith for Ponta Grossa and the Hudson for Paranavai. The soils erodibility values obtained were, 0,0087 and 0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm., respectively for soils of Ponta Grossa and Paranavai. When the events were individualized, by seasons of the year, they presented sazonal variations with limits, that variated of 177 % (Autumm) and 49 % (Summer), in relation to the yealy value of 0,0087 t.ha.h./ha.MJ.mm., for Ponta Grossa and 112 % (Spring) and 55 % (Winter), in relation of the yearly value of 0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm. for Paranavai.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão representa um sério problema para os solos, especialmente quando cultivados, muitas vezes com usos e manejos inadequados que normalmente provocam danos ao meio ambiente, e conseqüentemente prejuízos econômicos e sociais.

A erosão hídrica dos solos ocorre com a desagregação, transporte das partículas de sua camada superficial, e posterior deposição do material desagregado. A desagregação se dá pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo e pela água de escoamento superficial, os quais fornecem energia para o processo. A maior parte desta energia é proveniente da energia cinética das gotas de chuva.

Esta relação energia/desagregação é importante para as equações empíricas, para previsão da erosão do solo, para a comparação entre métodos de controle da erosão, ou para determinar o impacto de medidas de conservação do solo, ou sua falta, em áreas agrícolas.

A utilização de modelos matemáticos para estimar perdas de solo e água por erosão nos permite quantificar e melhor entender os fatores envolvidos, bem como o grau de influência que exercem, utilizando-os como apoio e orientação nos planejamentos conservacionistas, selecionando técnicas de conservação, sistemas de cultivo e manejos. Neste sentido, aproxima-se de três décadas de larga difusão do uso da Equação Universal de Perdas de Solo, modelo empírico matemático desenvolvido para quantificar e

estimar a erosão hídrica em áreas agrícolas, conhecida pela sua sigla inglesa USLE.

A utilização de modelos matemáticos para estimar perdas de solo e água por erosão nos permite quantificar e melhor entender os fatores envolvidos, bem como o grau de influência que exercem, utilizando-os como apoio e orientação nos planejamentos conservacionistas, selecionando técnicas de conservação, sistemas de cultivo e manejos.

O uso de modelos matemáticos para estimar perdas de solo por erosão e, assim, permitir a seleção de técnicas de conservação do solo, em áreas cultivadas, vem se tornando prática relevante para o planejamento conservacionista. Nas últimas décadas, essa tendência tem levado pesquisadores de vários países à determinação dos fatores da USLE, por ser um modelo reconhecidamente prático e eficiente (DENARDIN, 1990). Selecionam-se as combinações de cultivo e manejo que permitam um controle adequado da erosão, entre as quais se pode escolher as mais desejáveis e convenientes, sejam do ponto de vista para proteção ao meio ambiente, ou do ponto de vista sócio-econômico. Desta maneira a USLE permite que se leve aos agricultores na prática os resultados obtidos em campos experimentais pela pesquisa, obtendo-se assim os benefícios do esforço aplicado em pesquisas relacionadas à conservação dos solos.

O potencial das chuvas em provocar erosão, denominado de erosividade, constitui um dos parâmetros do modelo USLE. O melhor estimador da erosividade da chuva de um determinado local é originado do estudo da correlação entre as características da chuva e a respectiva perda de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1958, 1965, 1978; WISCHMEIER, 1959, 1972).

Esse método é o mais racional e lógico para a estimativa, tanto da erosividade da chuva como da erodibilidade do solo, uma vez que expressa, dentro de um processo de causa e efeito, a realidade de uma região.

O conhecimento da erosividade das chuvas é um parâmetro importante nos estudos de conservação do solo, pois, com o conhecimento de longas séries de precipitações e correlações de índices de erosividade com respectivas perdas de solo, pode-se estimar com bom grau de confiabilidade o potencial erosivo da chuva para determinado local, escolher épocas mais adequadas para o cultivo da terra, principalmente no que se refere às operações de preparo do solo e plantio, mantendo-se o solo com cobertura vegetal nos períodos de máxima erosividade.

A inerente susceptibilidade dos solos em serem erodidos é chamada de erodibilidade do solo, fator K do modelo USLE. Esta é relatada como consequência dos efeitos integrados da erosividade da chuva e enxurrada e da taxa de infiltração de água no solo.

O presente trabalho teve como objetivos:

- 1 - Avaliar e quantificar o melhor estimador da energia cinética da chuva para as cidades de Paranaíba (PR) e Ponta Grossa (PR);
- 2 - Determinar a erosividade das chuvas e enxurrada para as cidades de Paranaíba e Ponta Grossa, utilizando diferentes equações de energia cinética das chuvas e enxurrada e dois métodos de determinação da intensidade máxima em trinta minutos ( $I_{30}$ );
- 3 - Obtenção direta do fator erodibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura argilosa de Ponta Grossa (PR) e do Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura média de Paranaíba (PR);

4 - Identificar possíveis variações, provocadas pôr influências sazonais, na erodibilidade dos solos estudados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

A revisão de literatura deste trabalho será conduzida em três partes. A primeira parte é fundamentada nos fenômenos que desencadeiam ao processo erosivo provocado pela ação das águas da chuva e do escoamento superficial. Na segunda constam os aspectos históricos que resultaram no desenvolvimento da USLE. A terceira parte aborda dois dos parâmetros da USLE, objetos de estudo de nosso trabalho, que são a erosividade das chuvas e a erodibilidade dos solos. Deste último parâmetro, incluímos um sub-item relativo às variações sazonais do fator erodibilidade do solo.

### **2.1 Mecânica da erosão do solo**

O processo de erosão-sedimentação do solo envolve a desagregação, transporte e deposição de suas partículas. O impacto da gota é o primeiro agente desagregador e transportador das partículas do solo. Sobre um solo saturado, na ausência de vegetação e da lâmina d'água, a desagregação é originada da dissipação da energia deste impacto. A gota, inicialmente provê uma força consolidando, compactando o solo e a seguir produz uma força disruptiva (MORGAN, 1986). A ação da gota de chuva provoca, em particular sobre terreno nú, uma rápida deterioração da estrutura superficial do solo, com ruptura dos agregados menos estáveis, favorecendo o deslocamento de

materiais mais finos que podem provocar a oclusão de poros. Isto determina uma redução da infiltração e também um aumento no volume de escoamento superficial (ZANCHI, 1983 e SCHULTZ, JARRET & HOOVER, 1985). O poder explosivo do impacto da gota é altamente desagregador das partículas contidas na massa do solo, que são salpicadas em todas as direções. Contudo, a massa salpicada segue, via de regra, o movimento dos líquidos, no sentido do declive (MEYER et al., 1975).

A energia responsável pela erosão possui duas formas: potencial e cinética. A energia potencial (EP) pode ser expressa por:

$$EP = m \cdot h \cdot g \dots\dots\dots [1]$$

onde **m** é a massa em (kg), **h** é a variação da altura do corpo em (m) e **g** é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ), sendo a energia potencial em Joules. A energia potencial (PE) é convertida em energia cinética (EC), ou energia do movimento:

$$EC = 1/2 \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots [2]$$

onde **m** é a massa (kg) e **v** é a velocidade de queda da gota de chuva em (m/s), com a energia cinética expressa em Joules. Esta energia é dissipada na fricção com a superfície onde os agentes erosivos se movimentam sendo que somente 3 a 4 % da energia de escoamento da água e 0,2 % da energia de impacto das gotas é revertido em erosão (PEARCE, 1976).

MEYER et al. (1975) dividiram o processo de erosão do solo em erosão entressulcos e em sulcos, de acordo com a origem do sedimento erodido. FOSTER & MEYER (1975) mostraram que tal divisão foi muito útil na simulação matemática do processo. Além disso, possibilitou uma distinta separação da origem do solo erodido, oriundo da parte mais superficial do entressulco ou da parte mais profunda do sulco.

A capacidade da chuva em transportar solo pelo salpico é uma função da declividade, quantidade de chuva, propriedades do solo, microtopografia, e velocidade do vento (MEYER & WISCHMEIER, 1969). O salpico da gota normalmente é responsável por uma pequena parte do solo transportado (YOUNG & WIERSMA, 1973; MUTCHLER & YOUNG, 1975; MEYER et al., 1975). MEYER et al. (1975) estabeleceram que, nas áreas onde o sulcamento é moderado ou escasso, a porcentagem do total da erosão entressulco, que é salpicada diretamente aos sulcos, é proporcional a área sulcada. Por outro lado, quando o solo estiver densamente vegetado o movimento de partículas devido ao salpico é insignificante.

A erosão entressulcos ocorre primeiramente devido a desagregação das partículas do solo pelo impacto da gota de chuva e, posteriormente, pelo transporte da massa desagregada através do escoamento laminar entressulcos (YOUNG & WIERSMA, 1973; MEYER et al., 1975; FOSTER et al., 1977). A perda de solo através de um sulco é determinada em primeira instância, pelas partículas oriundas do impacto da gota. Em seguida, pelo transporte destes aos pequenos sulcos. Contudo, o primeiro meio de transporte para tais locais é o finíssimo escoamento superficial, que é acelerado pela velocidade de impacto da gota. A importância relativa dos

sulcos e entressulcos, como fonte de sedimentos, obviamente depende do tamanho e número de sulcos presentes. A enxurrada e o sedimento possuem o mesmo caminho, das áreas não sulcadas para as sulcadas, por conseguinte, concentrando a água do escoamento superficial.

Na erosão entressulcos, os inúmeros efeitos do impacto da gota são fatores dominantes da desagregação e, portanto, da taxa de erosão do solo. A delgada película de escoamento formada nessa área possui baixa capacidade de desagregar e transportar sedimentos na ausência do impacto da gota. Contudo, na presença de tal impacto, a capacidade de transporte do escoamento entressulco é aumentada. Consequentemente, a maior parte das partículas desagregadas são transportadas, pelo escoamento entressulco, em comparação com o salpico (MEYER et al., 1975).

A severidade da erosão depende da quantidade de material disponível para desagregação e a capacidade dos agentes erosivos para transportá-los. Onde os agentes tem a capacidade para transportar mais material do que é disponível pela desagregação, a erosão é limitada pela desagregação. Onde o material é disponível em maior quantidade do que pode ser transportado, a erosão é limitada pelo transporte (MORGAN, 1986).

Em solos coesos, a capacidade de transporte do escoamento em sulcos é muito maior do que a capacidade de desagregação. Assim, a taxa de erosão será limitada pela taxa de desagregação. Porém, em solos não coesos ou em locais onde a capacidade de transporte diminui consideravelmente, o sedimento transportado pode se aproximar da capacidade de transporte. Quando isto ocorrer, a capacidade de desagregação do escoamento será reduzida. Se a concentração de sedimento excede a capacidade de transporte,



ocorre deposição (erosão negativa). A taxa de deposição dependerá - na relação entre capacidade de transporte e sedimento transportado - do local em que o fenômeno esteja ocorrendo. Portanto, ocorre decréscimo da capacidade de transporte quando a declividade tender ao plano, ocorrer empoçamento, ou quando o escoamento for retardado pela presença de resteva ou vegetação (MEYER et al., 1975).

Conceitualmente, a água da chuva se infiltra até quando a capacidade de infiltração do solo é superada pela intensidade da mesma (MEYER et al., 1975). Assim, logo que a intensidade supera a capacidade de infiltração, o excesso de água começa a empoçar, devido às pequenas depressões do terreno. Aumentando ainda mais a intensidade é desencadeado o escoamento da enxurrada, que no início flui, normalmente, por uma curta distância de rasa profundidade, e que é chamado de escoamento entressulco. Como o escoamento move-se no sentido do declive, ele tende a se concentrar em partes da superfície, devido às marcas de cultivo, pequenas depressões no terreno ou as marcas da erosão anterior. Portanto, tal concentração define a formação do sulco, assim como, a sua enxurrada é chamada de escoamento em sulco. Estudos das características do fluxo, realizados por MERRIT (1984), mostram que a mudança de fluxo superficial para fluxo concentrado em sulco passa por quatro estágios: fluxo superficial não concentrado; fluxo superficial concentrado nos caminhos do fluxo; microcanais sem cabeceiras e microcanais com cabeceiras. A grande diferença existente entre o primeiro e segundo estágios sugerem a que concentrações do fluxo superficial devem ser tratados como parte do sistema sulco.

As características da enxurrada são dominantes e, portanto, determinam a velocidade de ocorrência da erosão em sulcos. Esta erosão é iniciada quando, em um local qualquer do declive, o potencial erosivo do escoamento exceder a capacidade de resistência dos agregados do solo (MEYER et al., 1975). Uma vez iniciado o sulcamento, o escoamento concentrado tende a aumentar o potencial de desagregação nas suas adjacências, prosseguindo o processo. O desenvolvimento dos sulcos progride, no sentido do afoveado, devido ao elevado poder erosivo que o turbilhonamento possui. Sucessivos pontos de turbilhonamento se formam ao longo do sulco, sendo elevada a erosão de cada um, desencadeando, portanto, um processo de encachoeiramento, isto é a formação de pequenas quedas de água em função do desnível do sulco. Assim, quando existir turbilhonamento, tal fato contribui para uma maior porção de perda de solo no sulco. Contudo, a erosão em sulcos pode ocorrer na ausência de turbilhonamento, através do alongamento do sulco, que é proporcional ao comprimento do declive. Assim, a extensão e o tipo dos sulcos desenvolvidos dependem das propriedades do solo, declive e suas variáveis, taxa de enxurrada e cultivo do solo.

## **2.2 Equação Universal de Perdas de Solo**

A base para descrever as relações matemáticas da erosão do solo provavelmente iniciaram com empenho pessoal como de H.L.Cook para identificar as maiores variáveis envolvidas. Cook listou três fatores: (i) a susceptibilidade do solo em ser erodido, incluindo a necessidade de testes para avaliar um índice de erodibilidade; (ii) o potencial erosivo da chuva e

escorrimento, incluindo a influência do grau de declividade e comprimento do declive; e (iii) o grau de proteção oferecido pela cobertura vegetal (COOK, 1936<sup>1</sup> citado por MEYER, 1984).

O desenvolvimento de equações para se calcular perdas de solo à nível de campo se iniciou na região do Corn Belt, EUA, no início da década de 1940. As perdas de solo obtidas naquela região entre 1940 e 1956 foram relacionadas à um modelo prático utilizando-se apenas o fator declividade. ZINGG (1940<sup>2</sup> citado por MEYER & WISCHMEIER, 1969) publicou uma equação empírica relacionando as perdas de solo em função dos fatores comprimento e porcentagem de declive. No ano seguinte, SMITH (1941<sup>3</sup> citado por WISCHMEIER & SMITH, 1978) adicionou os fatores tipo de cultura e prática mecânica de conservação e anos mais tarde BROWNING et al. (1947) adicionou os fatores solo e manejo. Um pouco tempo antes, na Estação Experimental de LaCrosse, Wisconsin (EUA) O.E. Hays descobriu uma boa relação entre a máxima quantidade de chuva dentro de um período de 30 minutos e o total de erosão do solo durante toda a chuva. Esta descoberta (MUSGRAVE, 1947), colaborou com estudos de outras estações experimentais, sendo crucial na separação dos efeitos da chuva daqueles efeitos relacionados ao tipo de solo. Em 1946, um comitê nacional se reuniu em Ohio para adaptar a equação do Corn Belt para outras regiões dos EUA. Este comitê reavaliou seus fatores e adicionou um fator relacionado à chuva, o

---

<sup>1</sup> COOK, H.L. 1936. The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1:60-64

<sup>2</sup> ZINGG, A.W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, 21(2):59-64

<sup>3</sup> SMITH, D.D. 1941. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering*, 22:173-175

que resultou na conhecida equação de Musgrave (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Em 1954, no "Runoff and Soil-Loss Data Center" sediado na Universidade de Purdue - EUA, foram iniciados os trabalhos para a elaboração de uma equação que pudesse ser utilizada em todo o território norte-americano. Projetos de pesquisa relativos a 49 locais dos EUA, contribuíram com mais de 10.000 anos-parcela de dados básicos de perdas de solo que foram reunidos e analisados estatisticamente (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Utilizando-se dos dados reunidos neste Centro, bem como de deliberações e conclusões das conferências de Fevereiro e Julho de 1956, realizadas em Purdue - EUA, e subseqüentes análises Wischmeier, Smith e outros, desenvolveram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). Esta equação quantifica a erosão do solo como o produto de seis fatores, apresentada em unidades do Sistema Internacional de Unidades conforme FOSTER et al. (1981), sendo expressa da seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots[3]$$

onde:

A, é a perda de solo, em t/ha.ano;

R, fator erosividade das chuvas, é o potencial erosivo médio anual das chuvas, em MJ.mm/ha.h.ano;

K, fator erodibilidade do solo, é a 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, em uma parcela de 22,1 m. de comprimento e 9 % de declividade, em t.ha.h./ha.MJ.mm.;

L, fator comprimento do declive, é a razão entre as perdas de solo de uma área com um comprimento de declive qualquer e aquela com 22,1 m. de comprimento, para o mesmo tipo de solo e mesma declividade (adimensional);

S, fator grau de declive, é a razão entre as perdas de solo de uma área com uma declividade qualquer e aquela com 9 % de declividade, para o mesmo tipo de solo e mesmo comprimento de declive (adimensional);

C, fator uso do solo e manejo da cultura, é a razão entre as perdas de solo de uma área com uma cultura e manejo específicos e aquela mantida, permanentemente, descoberta e com preparo do solo no sentido do declive (adimensional);

P, fator prática de controle da erosão, é a razão entre as perdas de solo de uma área com práticas conservacionistas e aquela mantida, permanentemente, descoberta e com preparo do solo no sentido do declive (adimensional).

Sob essas condições da parcela-padrão, os fatores L, S, C e P assumem valores unitários e o fator K iguala-se a relação  $A/R$ , ou seja, passa a ser o coeficiente angular da curva de regressão de perdas de solo em função do fator erosividade da chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O fator erodibilidade do solo (K) constitui-se no parâmetro de maior custo e morosidade para ser determinado a campo (WISCHMEIER & SMITH, 1965).

Esta equação é munida de uma estrutura adequada devido a combinação de fatores essenciais que afetam a erosão do solo em uma prática equação matemática (LAL, 1978). A USLE supera muitas das deficiências de suas predecessoras (MEYER, 1984). Sua forma é similar a equação com os fatores declive + prática de manejo e equação de Musgrave, mas os conceitos, relações, e procedimentos implícitos e definições e avaliações dos fatores de erosão são distintos. Maiores mudanças incluem (WISCHMEIER, 1972): (i) completa separação dos fatores que afetam a erosão, obtendo assim resultados de uma mudança no nível de um ou de vários fatores pode ser estimado mais acertadamente; (ii) um índice de erosão que providencia uma melhora na estimativa local do potencial erosivo da chuva e escoamento associados; (iii) um fator quantitativo da erodibilidade do solo que é avaliado diretamente por dados de pesquisa sem referência a nenhum banco de dados específico; (iv) uma equação e um nomograma capazes de calcular o fator erodibilidade pelos dados de levantamento de solos; (v) um método que inclui os efeitos de interações entre culturas e práticas de manejo; e (vi) um método de incorporar os efeitos do padrão de chuvas locais através do ano e condições culturais específicas de cultivos no fator cobertura e manejo.

### **2.3 Fator Erosividade da Chuva e Enxurrada**

Chuva e erosão sempre tem sido relatadas como causa e efeito. O primeiro mecanismo de explicação desta relação, foi elaborado por LAWS, (1940, 1941), que mediu o tamanho e a velocidade de queda das gotas de chuva, relacionando o diâmetro da gota com a sua energia cinética.

A massa e velocidade de queda de cada gota de chuva determinam a energia cinética da chuva (EKERN, 1950) e a forma da gota determina o tamanho da área de solo que deve sofrer a energia de impacto da gota. Portanto a mesma massa de água pode ter sua capacidade erosiva mudada pela alteração de algum dos três fatores envolvidos na unidade de energia: a massa, a velocidade, ou seção horizontal da gota.

LAWS & PARSONS (1943), relacionaram o tamanho das gotas de chuva com a intensidade da chuva, com o objetivo de providenciar dados básicos para simulação de chuvas e compreensão dos processos erosivos. O tamanho das gotas e a intensidade da chuva foram medidos pelo método da farinha em Washington, D.C. - EUA e os resultados mostraram que: (i) o diâmetro médio das gotas ( $D_{50}$ , em mm.) aumenta exponencialmente com o aumento da intensidade ( $I$ , em polegadas/hora) segundo a relação:

$$D_{50} = 2,23 \cdot I^{0,182} \dots\dots\dots [4]$$

e (ii) para as altas intensidades a distribuição do tamanho das gotas de chuva são mais dispersas do  $D_{50}$ , enquanto para as baixas intensidades, a distribuição do tamanho das gotas de chuva são mais concentradas ao redor do  $D_{50}$ .

Baseando-se no trabalho de LAWS & PARSONS (1943), WISCHMEIER & SMITH, (1958), relacionaram a energia cinética da chuva (EC) com a intensidade da chuva ( $I$ ) obtendo a equação:

$$EC = 916 + 332 \log_{10} I \dots I < 3 \text{ pol./h.} \dots [5a]$$

$$EC = 1074 \dots I > 3 \text{ pol./h.} \dots [5b]$$

sendo **EC** a energia cinética em (pés.tons/acre.polegadas) e **I** a intensidade em (polegadas/hora).

O limite de 3 polegadas por hora foi imposto sobre a **I** pela constatação de que o tamanho médio das gotas de chuva não continua a aumentar quando a intensidade excede as 3 pol./h. (CARTER et al. 1974<sup>4</sup>, citado por WISCHMEIER & SMITH, 1978), neste sentido a energia permanece constante para chuvas com intensidades maiores do que 3 pol./h.

FOSTER et al., (1981) transformou as equações (5a e 5b) para o Sistema Internacional de Unidades, obtendo as seguintes relações:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \dots I \leq 76 \text{ mm/h.} \dots [6a]$$

$$EC = 0,283 \dots I > 76 \text{ mm/h.} \dots [6b]$$

onde **EC** é a energia cinética em (MJ/ha.mm.) e **I** é a intensidade da chuva em (mm./h).

Diante da necessidade de se buscar um parâmetro derivado de características físicas da chuva, capaz de prever o potencial erosivo de uma

<sup>4</sup>CARTER, C.E., GREER, J.D, BRAUD, H.J. & FLOYD, J.M. 1974. Raindrop characteristics in South Central United States. *American Society of Agricultural Engineers Transactions*, 17:1033-1037.



chuva individual, WISCHMEIER & SMITH (1958) realizaram numerosas combinações com as características da precipitação pluviométrica, efeitos de interações de índices de umidade e compactação, e umidade antecedente, tendo verificado que o produto da energia cinética (E) pela sua intensidade máxima a 30 minutos ( $I_{30}$ ) como uma das melhores combinações para explicar a perda de solo, para um período longo de tempo, quando os demais fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) foram considerados constantes, matematicamente o índice é expresso por:

$$EI_{30} = EC \cdot I_{30} \dots\dots\dots [7]$$

onde  $I_{30}$  é a intensidade máxima em trinta minutos em (mm./h) e  $EI_{30}$  é o índice de erosividade da chuva em (MJ.mm./ha.h).

De acordo com WISCHMEIER, SMITH & UHLAND (1958) e WISCHMEIER (1959), este índice avalia bem as três fases da erosão do solo, ou seja: o impacto das gotas de chuva, o salpicamento das partículas e a turbulência do fluxo, combinados com a enxurrada que transporta as partículas desagregadas do solo. A energia cinética se relaciona com os volumes de precipitações e enxurrada, enquanto que a intensidade máxima em 30 minutos designa prolongados picos de desagregação e enxurrada, esclarecendo assim a combinação das partículas desprendidas do solo com o transporte da enxurrada (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A forte relação entre o índice de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) e as perdas de solo indicaram que o fator erosividade da USLE caracteriza a ação erosiva da chuva e a sua validade para prognosticar para períodos longos de tempo (SALEHI et al., 1991).

### 2.3.1 O Índice EI<sub>30</sub> na Região Tropical

O índice EI<sub>30</sub> é abertamente criticado por MORGAN (1986). Primeiro, por que é baseado na estimativa da energia cinética, usando a equação [5a], isto é, de validade suspeita para chuvas tropicais de alta intensidade; segundo, por que assume que ocorre erosão com baixas intensidades de chuva, ao passo que HUDSON (1973), mostrou que a erosão é quase inteiramente causada por chuvas de intensidade maiores do que 25 mm/h. Por outro lado seu uso pode subestimar a energia cinética de chuvas tropicais (LAL, 1976). Para LAL (1976) e LAL et al., (1980) as fontes de erro podem ser a velocidade dos ventos, a distribuição do tamanho das gotas de chuva e as elevadas intensidades das chuvas tropicais. WISCHMEIER & SMITH, (1958), já citavam que uma importante parte da variação das perdas de solo não explicadas pela USLE foram provavelmente o resultado dos efeitos do vento.

A carga individual de energia da chuva nas regiões tropicais é muito maior do que nas regiões temperadas e subtropicais (KOWAL & KASSAM, 1976). Isto é consistentemente refletido na natureza concentrada da precipitação nos trópicos que é de alta intensidade (HUDSON, 1973). Esta alta intensidade é devido ao grande número e tamanho de gotas caindo por unidade de tempo. Como o tamanho predominante das gotas de chuva tropical é grande, a carga de energia da chuva é alta (KOWAL & KASSAM, 1976). Para LAL et al., (1980) a alta erosividade das chuvas tropicais é gerada por sua intensidade, tamanho de gota, e pela velocidade do vento que aumenta a carga de energia. A maioria das chuvas tropicais são chuvas erosivas,

enquanto somente 5 a 10 por cento das chuvas temperadas são erosivas (LAL, 1977). Este autor salienta que as chuvas tropicais são geralmente acompanhadas por ventos de alta intensidade que promovem aumento em sua energia.

O índice EI<sub>30</sub> (WISCHMEIER, 1959), fator R da USLE (Equação Universal de Perdas de Solo) foi desenvolvido segundo as condições pluviográficas dos EUA e não proporcionou resultados satisfatórios, quando correlacionado com perdas de solo em alguns países de clima tropical e subtropical, originando o desenvolvimento de índices alternativos (HUDSON, 1973; KINNELL, 1973; KOWAL & KASSAM, 1976; LAL, 1976; ELWELL, 1978). Seu uso, entretanto, tem permitido uma comparação entre o potencial erosivo de diferentes regiões, o que, somado à determinação de sua distribuição relativa mensal, tem contribuído para o planejamento do uso e manejo do solo e de culturas e para a adoção de práticas de conservação dos solos (MORAIS et al., 1991).

No Zimbabwe, HUDSON (1963<sup>5</sup> citado por STOCKING & ELWELL, 1973), usou a equação abaixo para calcular a energia cinética (EC) em J/m<sup>2</sup>.mm, usando a intensidade da chuva (I) em mm/h:

$$EC = 29,82 - (127,51/I) \dots\dots\dots [8]$$

KINNELL, (1981), cita que várias equações matemáticas, semelhantes à equação [5a], tem sido usadas para descrever a relação entre Intensidade (I) e

---

<sup>5</sup>HUDSON, N.W. 1963. Raindrop size distribution in high intensity storms. *Rhod. J. Agric. Res.*, 1:5-16.

energia cinética (E), sendo que outras equações seguem a forma da equação [8]. Apesar destas equações terem sido largamente utilizadas para estimar a energia cinética da chuva nos países onde elas foram desenvolvidas, elas possuem certas inadequações. As equações semelhantes à equação [5a], tendem a superestimar energia cinética da chuva para altas intensidades de chuva, enquanto as equações semelhantes à equação [8] tendem a prover uma melhor estimativa para altos níveis de intensidade, fornecendo valores negativos de energia cinética da chuva para baixas intensidades (KINNEL, 1981). No interesse de obter mais corretamente a estimativa da energia cinética da chuva para o propósito de prever as perdas de solo, é necessário descrever a relação de Intensidade-Energia por uma equação que combine as respectivas habilidades anteriormente descritas das equações [5a] e [8], para descrever relações EC-I para níveis baixos e altos de intensidade da chuva. Uma equação que reúne este requisito foi proposta por MCGREGOR & MUTCHLER, (1977<sup>6</sup> citado por KINNEL, 1981). Esta equação:

$$E_{RA} = z (1 - p \cdot e^{-h \cdot i} + q \cdot e^{-j \cdot i}) \dots \dots \dots [9]$$

onde  $e$  é o logaritmo de base natural,  $i$  é a intensidade da chuva (mm/h) e  $z$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $h$  e  $j$  são constantes empíricas. Esta equação foi derivada de dados de tamanho de gota medidos em Holly Springs, Mississippi (EUA). Esta equação demonstra uma boa estimativa da relação EC-I para Holly Springs, o que não se evidenciou para outras localizações geográficas, neste caso KINNEL,

<sup>6</sup>MCGREGOR, K.C. & MUTCHLER, C.K. 1977. Status of the R factor in North Mississippi. p.135-142. In.: G.R.Foster (ed.) *Soil erosion: Prediction and control*. Proc. Nat. Soil Erosion Conf., Purdue Univ., May 24-26, 1976, SCSA. Ankeny, Iowa.

(1981) trabalhou com dados de Miami, Flórida<sup>7</sup> e Zimbabwe (Rhodesia)<sup>8</sup>, obtendo a seguinte relação:

$$e = e_m [ 1 - a \exp (-b \cdot i ) ] \dots \dots \dots [10]$$

onde  $e$  é a energia cinética da chuva (MJ/ha.mm),  $e_m$  é a energia cinética máxima cuja intensidade se aproxima do infinito,  $i$  é a intensidade da chuva em (mm/h) e  $a$  e  $b$  são constantes que variam com a localização geográfica.

BROWN & FOSTER (1987), em suas análises a partir da equação [10] estabeleceram a seguinte relação:

$$e = 0,29 [ 1 - 0,72 \exp (-0,05 \cdot i ) ] \dots \dots \dots [11]$$

Eles, determinaram que a equação [11] é uma forma de análise superior às demais estudadas por que apresenta um valor positivo e finito para intensidade nula e aproxima-se de uma assíntota para as altas intensidades, como uma função contínua. Já a Equação [6a] apresenta valores negativo e infinito para intensidade nula e é forçada para um nível assintótico com uma descontinuidade para a intensidade de 76 mm/h. No trabalho de revisão da USLE, RENARD et al. (1991), recomendam o uso da equação [11] em detrimento da equação [6a].

<sup>7</sup>Dados utilizados por KINNELL, (1973), ver Literatura Citada

<sup>8</sup> Dados utilizados por N.W.HUDSON. 1965. *The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion, with particular reference to Southern Rhodesia*. M.S.Thesis, Univ. of Cape Town, South Africa.

### 2.3.2 O Índice $EI_{30}$ no Brasil

No Brasil, o índice  $EI_{30}$  vem sendo amplamente utilizado por pesquisadores, objetivando identificá-lo em relação às diferentes regiões fisiográficas, bem como auxiliar na delimitação das linhas erosivas nacionais (LOMBARDI NETO, 1977, PEREIRA, 1977, VAL et al., 1986; FERNANDEZ MEDINA & OLIVEIRA JR, 1987; MORAIS et al., 1988; CARVALHO et al., 1989 e CANTALICE, 1991).

VAL et al. (1986), avaliou a erosividade das chuvas através dos índices  $EI_{30}$  e  $KE > 25$  não verificando diferença estatística entre os valores encontrados, concluindo que os índices foram semelhantes para representar a erosividade das chuvas no município de Lavras (MG). Já FERNANDEZ MEDINA & OLIVEIRA JR, (1987), trabalhando com vários índices erosivos, em um período de três anos, concluíram que os índices  $AI_{7,5}$  (chuva total versus sua intensidade máxima em 7,5 minutos) forneceu um fator de determinação de 0,49, enquanto que o índice  $EI_{30}$  forneceu um fator de determinação ligeiramente menor, de 0,41, quando foram correlacionados com perdas de solo. Também, MORAIS et al., (1988) correlacionaram as características da chuva com perdas de solo para as cidades de Guaibá, Ijuí e Santa Maria, no Rio Grande do Sul, na tentativa de obter um índice único que refletisse as condições médias de erosividade das três localidades, não tendo encontrado diferenças estatisticamente significativas entre os índices  $EI_{30}$  e  $EI_{25}$ . O índice  $EI_{30}$ , por ser o que melhor atendeu às conveniências de ordem prática e aos interesses do desenvolvimento da Conservação do Solo, deve ser empregado

como avaliador da erosividade da chuva para Mococa (SP), segundo CARVALHO, (1987). Também CANTALICE (1991) trabalhando com correlações entre a perda de solo e os índices  $EI_{30}$  e  $KE > 25$ , concluiu que aquele é o parâmetro mais adequado para expressar a erosividade das chuvas para os municípios de Caruaru (PE) e Glória de Goiatá (PE).

O índice  $EI_{30}$ , quando se pensa no desenvolvimento e uso da equação universal de perda de solo para o Brasil, é um parâmetro da erosividade da chuva bastante representativo e conveniente (CARVALHO, 1992), o que esta de acordo com recomendações para locais específicos do território nacional anteriormente realizadas por CARVALHO, (1987); MORAIS et al, (1988); e CANTALICE, (1991).

WAGNER & MASSAMBANI, (1988), através da análise de registros disdrométricos de distribuição do tamanho da gota em Bauru (SP), propuseram o seguinte modelo:

$$EC = 0,153 + 0,0645 \log_{10} I \dots\dots\dots [12]$$

onde: EC é a energia cinética da chuva (MJ/ha.mm.) e I é a intensidade da chuva (mm/h). Esta equação, apesar de ter sido baseada em dados obtidos no Brasil, apresenta os mesmos defeitos citados para a equação [5a].

A morosidade nos cálculos e a necessidade de pluviogramas para a estimativa do  $EI_{30}$  pode ser minorada através de equações que o relacionem estatisticamente à parâmetros das chuvas mais facilmente obtidos (WILKINSON, 1975). Este autor trabalhando com dados de Ifê, região Oeste

da Nigéria, propôs uma equação para cálculo da energia cinética total de uma chuva, através da modificação da equação [5a], dada por:

$$EC = [(12,142 + 8,877) \log I_{30}] \cdot P \dots\dots\dots [13]$$

onde: **EC** é a energia cinética total da chuva (t.m/ha.mm), **I<sub>30</sub>** é a intensidade máxima em 30 minutos (mm/h) e **P** é a precipitação total (mm). A equação acima resultante da correlação entre os dois métodos, de Wischmeier e outros e de Wilkinson, resultou em coeficiente de correlação (R) de 0,996.

No Estado do Paraná CASTRO FILHO et al. (1982) correlacionaram as energias cinéticas obtidas pelas equações [6a e 13], obtendo uma equação geral ajustada para o cálculo da energia cinética total da chuva, com coeficiente de correlação (.R.) de 0.989:

$$EC = 28,814 + 0,8895 \cdot EC1 \dots\dots\dots [14]$$

onde: **EC** é a energia cinética obtida pela equação [6a] e **EC1**, é a energia obtida pela equação [13], apresentada no Sistema Internacional de Unidades como:

$$EC = 28,814 + (10,800 + (7,896 \log_{10} I_{30}) \cdot P(0,001)) \cdot 9,81 \dots\dots\dots [15]$$

onde: **EC** é a erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h); **P** é a precipitação (mm) e **I<sub>30</sub>** é a intensidade máxima em 30 minutos (mm/h.).



No passado, pesquisadores se concentraram nos estudos do impacto da gota como o mecanismo principal para transportar material sólido em áreas com erosão laminar e entre sulcos (KINNELL & WOOD, 1992). Mais recentemente, maior atenção foi dada pela capacidade de transporte pelo fluxo superficial, isto é pelo escoamento. Para LAL (1976), em pequenas áreas o escoamento é provavelmente mais influenciado pelas características físicas do solo (encrostamento, taxa de infiltração, permeabilidade dos horizontes superficiais e sub-superficiais e perfil de umidade do solo). Em grandes áreas, entretanto, o escoamento é determinado pela intensidade da chuva e conseqüentemente pela sua energia cinética.

LOMBARDI NETO (1979), baseando-se no trabalho de MEYER & WISCHMEIER (1969), propôs um fator erosividade da chuva e enxurrada, dado pela seguinte expressão:

$$EIA = I_{30} \cdot (V_u \cdot V_r)^{0,5} \dots\dots\dots [16]$$

onde: **EIA** é o fator erosividade da chuva para o tempo da enxurrada [ $\text{mm}^2/\text{h}$ ];  **$I_{30}$**  é a intensidade máxima em 30 minutos [ $\text{mm}/\text{h}$ ];  **$V_u$**  é o volume da enxurrada [ $\text{mm}$ ], e  **$V_r$**  é o volume da chuva [ $\text{mm}$ ].

Em termos absolutos, o melhor índice de erosividade para estimar a perda de solo de Campinas (SP) foi dado pelo volume de enxurrada  **$V_{uu}$** , que apresentou não somente o maior valor de coeficiente de correlação como, também, foi estatisticamente significativo em relação a todos os outros índices de erosividade trabalhados (CARVALHO, 1992).

O fator erosividade da enxurrada mais simples (CARVALHO, 1992) é o seu volume ( $V_u$ ), representado pela equação:

$$R_u = a + b \cdot V_u \dots \dots \dots [17]$$

onde:  $R_u$  é um fator erosividade da enxurrada;  $a$  e  $b$  são coeficientes a serem ajustados, e  $V_u$  é o volume da enxurrada.

#### 2.4 Fator Erodibilidade do Solo

Segundo BRYAN (1968-69), BENNETT (1926<sup>9</sup>) foi o primeiro a reconhecer formalmente a propriedade e variabilidade de resistência à erosão dos solos, subseqüentemente chamada “erosividade do solo” por MIDDLETON (1930<sup>10</sup>) e “erodibilidade do solo” por COOK (1936<sup>11</sup>). Na USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978) erodibilidade do solo é relatada como os efeitos integrados da chuva, escoamento e infiltração nas perdas de um solo não protegido por resíduos culturais, fragmentos de rocha ou dossel de culturas.

Então, a erodibilidade do solo é a medida de efeitos totais de uma particular combinação das propriedades do solo. Algumas destas propriedades influenciam a capacidade dos solos de infiltrarem água da chuva, e também ajudam a determinar a quantidade e taxa de escoamento; outras influenciam

---

<sup>9</sup>BENNETT, H.H. 1926. 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 Sci.*, 21:349-375

<sup>10</sup>MIDDLETON, H.E. 1930. Properties of soils which influence soil erosion. U.S. Dept. Agr., *Tech. Bull.*, 178:16pp.

<sup>11</sup>Idem citação nº 1.

na capacidade de resistência à desagregação e transporte por forças erosivas de impacto das gotas de chuva e fluxo de água, e desse modo determinam o conteúdo de solo do escoamento. As interrelações destas variáveis são altamente complexas (WISCHMEIER & MANNERING, 1969).

O fator erodibilidade do solo, aplicável à equação universal de perda de solo, pode ser determinado, basicamente, por três métodos:

(1) baseado na relação entre as perdas de solo e o fator erosividade das chuvas, avaliados sob condições naturais na parcela-padrão, durante um longo período de tempo de modo que englobe uma grande variedade de eventos pluviométricos e variadas condições antecedentes de umidade e de características da superfície do solo.

(2) o segundo método obedece à mesma técnica do primeiro, porém baseia-se na quantificação das perdas de solo e do fator erosividade sob condições de chuvas simuladas.

(3) o terceiro método, o mais simples, baseia-se na computação dos valores de erodibilidade através de equações matemáticas que contenham, como variáveis independentes, parâmetros de solo, altamente correlacionados com a erodibilidade. Essas equações são ajustadas por meio de análises de regressão dos valores de erodibilidade, determinados pelos métodos diretos, anteriormente descritos, em função de parâmetros físicos, químicos e mineralógicos do solo. Tais índices representam uma medida relativa da desagregabilidade de um solo e podem não refletir, em condições naturais, o seu comportamento em resposta aos agentes erosivos e ao manejo (BRYAN, 1968-69; LAL, 1988).

O fator erodibilidade do solo é determinado mais acertadamente quando são realizadas medições diretas em parcelas de escoamento superficial com chuva natural (LAL, 1988 e RÖMKENS, 1985). Esse método é o mais racional e lógico para a pesquisa, tanto da erosividade da chuva como da erodibilidade do solo, uma vez que expressa, dentro de um processo de causa e efeito, a realidade sobre tal fato (CARVALHO, 1987).

O primeiro requerimento para determinação do fator erodibilidade do solo em parcelas de escoamento superficial é ter-se uma grande e suficiente base de dados obtida sobre um período suficientemente longo (RÖMKENS et al., 1991). Para a região Leste dos EUA, supõem-se que este período seja de 20-22 anos (WISCHMEIER, 1976). O segundo requerimento para a determinação do fator erodibilidade do solo em parcelas de escoamento superficial é o pousio com preparo da superfície da parcela antes e durante o período de observação. E o terceiro requisito, é a uniformidade topográfica da parcela, bem como as dimensões idênticas à "parcela padrão".

WISCHMEIER & MANNERING, (1969), WISCHMEIER, (1972), indicaram que no modelo linear  $y = a + bx$ , onde  $y$  representa a perda de solo e  $x$  o índice de erosividade, o fator  $K$  é representado pelo coeficiente de regressão  $b$ , quando os dados são obtidos sob condições da parcela padrão.

## **2.5 Sazonalidade do Fator Erodibilidade do Solo**

A erodibilidade do solo é considerada uma propriedade do solo constante na USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Este conceito é satisfatório para a estimativa média da erosão do solo, entretanto, a

variabilidade da erodibilidade, especialmente devido a variações no teor de umidade do solo, não permitindo a estimativa correta das perdas de solo para períodos menores do que um ano. Estas variações são identicamente verificadas direta ou indiretamente em outros fatores que influenciam na erosão do solo (MUTCHLER & CARTER, 1983).

A capacidade do solo em ser desagregado é inversamente relacionado pela resistência dos agregados do solo, sendo que esta resistência geralmente é baixa para altos conteúdos de água e alta para baixos conteúdos de água (AL-DURRAH & BRADFORD, 1981). Na natureza, o solo constantemente apresenta variações no seu conteúdo de água, podendo apresentar variações drásticas deste conteúdo no decorrer de um evento chuvoso, ou mesmo apresentar determinados períodos ou estações do ano caracterizadas como um período chuvoso ou seco, isto logicamente influencia no volume de água armazenada no solo.

A erodibilidade do solo é o efeito integrado dos processos que regulam a precipitação e a resistência do solo à desagregação e subsequente transporte (LAL, 1988). Estes processos são influenciados pelas propriedades do solo, tais como a distribuição do tamanho das partículas, estabilidade dos agregados, teor de matéria orgânica, etc. Alterações significantes na erodibilidade do solo ocorrem durante uma chuva por causa do selamento superficial ou mudanças desenvolvidas na orientação das partículas (LAL, 1988).

Os índices de erosividade anteriormente descritos fornecem valores da erodibilidade do solo constante no tempo. Eles ignoram mudanças no conteúdo de carbono orgânico, estrutura dos agregados, distribuição de

solutos e conteúdos de íons trocáveis, conteúdo de água e textura do solo, pode ser particularmente sobre curtos períodos de tempo. O conceito do fator erodibilidade do solo, K, como um parâmetro fixo do solo descrevendo uma energia erosiva da chuva responsável pela perda de solo não é satisfatória para predizer a erosão para eventos individuais (YOUNG et al., 1990).

A adoção de valor fixo para o fator K tem resultado em um componente da erodibilidade do solo escondido/dissimulado no fator C (ou perda de solo proporcional) usado para estágios culturais. Quando foi feita uma tentativa para separar o fator cobertura e manejo, C, em subfatores, foi necessário representar um componente escondido da erodibilidade, usando um coeficiente, Kc, a ser aplicado sobre o fator K, convencional (MUTCHLER et al., 1982). Então a USLE foi alterada para:

$$A = R \cdot K \cdot K_c \cdot L \cdot S \cdot C_s \cdot P \dots\dots\dots [18]$$

onde: Kc é um coeficiente, adimensional, que varia ao redor da unidade, e Cs, é um conjunto de subfatores adimensionais.

BAJRACHRYA & LAL, (1992) indicam que a comumente baixa correlação entre os valores da erosividade da chuva ( R ) e erodibilidade do solo ( K ) também sugere que diferenças sazonais na erodibilidade podem ser atribuídas mais a mudanças nas propriedades do solo e condições de superfície do que mudanças na erosividade da chuva, que é causada por correspondente sazonalidade do fator R.

A habilidade para prever mais corretamente o fator erodibilidade do solo sujeitos a ciclos de gelo-degelo, tem sido amparado no limitado entendimento dos processos e mudanças temporárias que ocorrem nas propriedades do solo durante períodos de gelo-degelo (RÖMKENS, et al., 1991).

Para YOUNG et al., (1990) variações na erodibilidade através das estações do ano parecem estar principalmente relacionadas com três fatores - temperaturas do solo (gelo e degelo), textura do solo e umidade antecedente do solo. Destes, o efeito das temperaturas do solo é provavelmente o mais difícil de se avaliar.

De fato, o parâmetro temperatura foi provado ser muito importante para explicar diferenças na distribuição das gotas de chuva em eventos com mesmas intensidades (ZANCHI & TORRI, 1980). Por isso, estes autores incluíram o efeito da temperatura na distribuição do tamanho das gotas na USLE fornecendo uma melhor estimativa da variabilidade da energia cinética de evento para evento, como também de uma estação para outra, quando realizaram estudos de sazonalidade do fator erodibilidade dos solos.

Uma parte significativa da incerteza no valor da erodibilidade do solo é causada pelas variações na umidade antecedente do solo e condições da superfície do solo e pelas variações sazonais nos valores da erosão por determinadas propriedades do solo. Em função disto, há uma expectativa de que valores sazonais da erodibilidade do solo, poderiam reduzir erros na estimativa de perdas de solo. Baseando-se nisto, MUTCHLER & CARTER, (1983) nos EUA e ZANCHI, (1983) na Itália, calcularam valores mensais do

fator erodibilidade do solo (K), e, independentemente, propuseram em seus trabalhos, funções do tipo:

$$K_r = 1 + a \cdot \cos (b \cdot t - c) \dots \dots \dots [19]$$

Onde  $K_r$  é a razão da média sazonal (igual a média mensal) valor de K sobre o valor médio anual de K; t é a temperatura média anual e a, b e c são constantes que dependem da localização.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização das regiões estudadas

Na realização deste trabalho foram utilizados dados pluviográficos e de perdas de solo, obtidos junto ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), de dois locais: (i) Pólo Regional de Ponta Grossa, localizado no município de Ponta Grossa (Figura 1), com altitude de 950 m., latitude 25°05'58" Sul e longitude 50°09'30" Oeste e precipitação média anual de 1422,8 mm (MAACK, 1968), sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura argilosa; (ii) Estação Experimental de Paranaíba, localizada no município de Paranaíba (Figura 1), com altitude de 503 m., latitude 23°05' Sul e longitude 52°27'32" Oeste e precipitação média anual de 1439,8 mm (MAACK, 1968), sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura média. O tipo climático segundo a classificação de Köppen (IAPAR, 1978) para Ponta Grossa é Cfb (clima subtropical úmido mesotérmico, de



verões frescos e com ocorrência de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C. e a dos meses mais frios é inferior a 18°C.) e para Paranavaí o tipo climático é Cfa (clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das

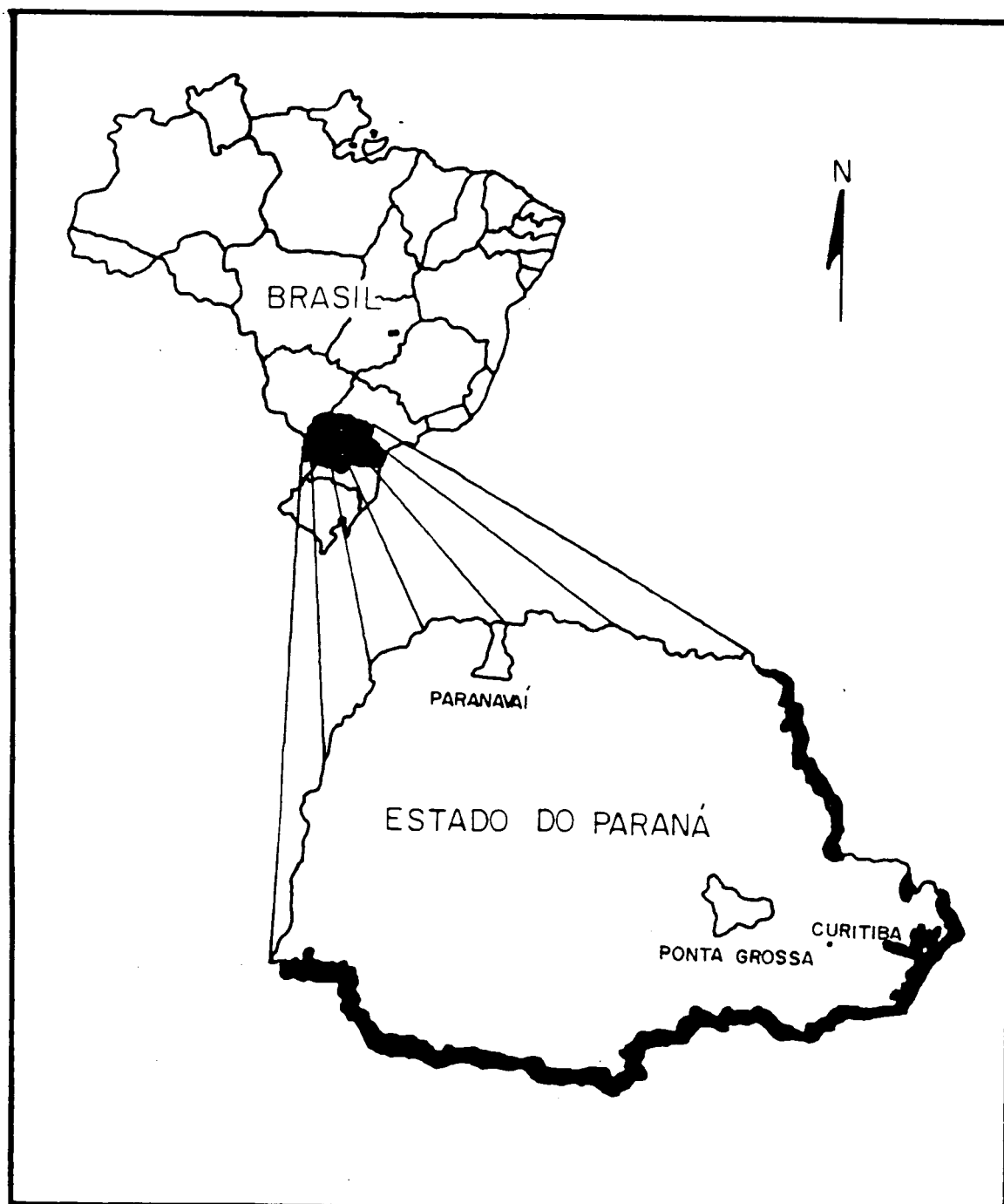


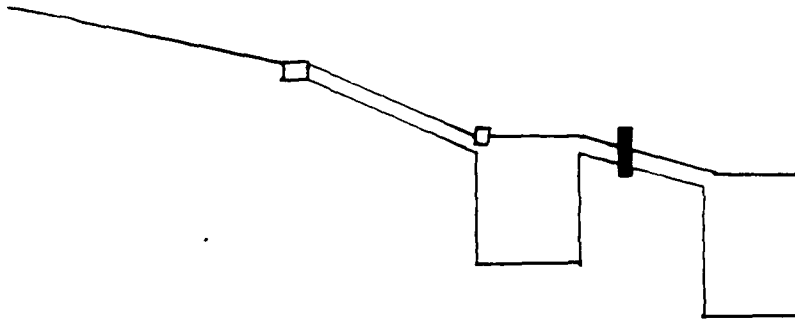
FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DAS REGIÕES DE ESTUDO.

temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C. e a dos meses mais frios é inferior a 18°C.)

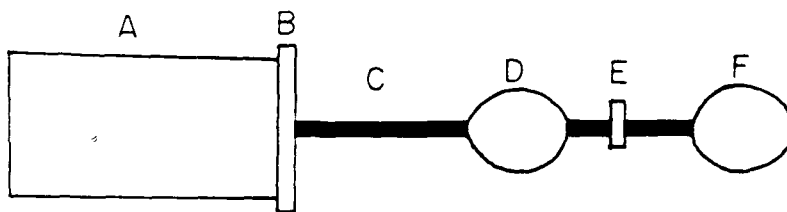
### **3.2 Unidade Experimental**

As parcelas de campo, estabelecidas segundo as especificações de WISCHMEIER & SMITH, (1965, 1978), possuem 22,1 metros de comprimento no sentido do declive, 3,5 metros de largura e declive uniforme (4 % de declive para a parcela da Estação Experimental de Paranavaí e 8 % de declive para a parcela do Pólo Regional de Ponta Grossa). A delimitação das parcelas foi realizada com chapas de metal galvanizadas com 25 centímetros de largura, com 15 centímetros enterrados no solo, sendo que na parte inferior das parcelas foi instalada uma calha de descarga que recebe a enxurrada e a conduz através de um cano de PVC até um sistema coletor (Figura 2). Esta delimitação tem como função de impedir o ingresso na parcela da água do escoamento formado na zona externa à parcela. O sistema coletor é composto de dois tanques, cobertos com tampas removíveis, sendo o primeiro de decantação, no qual a maior parte da terra que é arrastada se deposita. Quando cheio este primeiro tanque, a enxurrada, passa pelo divisor de janelas, no qual 14 frações são liberadas e uma é conduzida para o segundo tanque. O manejo da parcela de campo foi realizado de acordo com as recomendações descritas à "parcela padrão" por WISCHMEIER, (1972) completamente sem vegetação e continuamente cultivadas com enxada e preparo convencional de uma aração + duas gradagens leves (duas vezes por ano), sempre no sentido do declive.

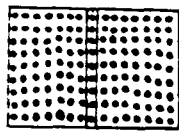
(i) Vista Lateral



(ii) Vista Superior



(iii) Detalhe do Fracionador



A = Parcela de Campo

D = Tanque de decantação

B = Calha Coletora

E = Fracionador de enxurrada

C = Cano Condutor de enxurrada

F = Tanque de armazenamento

Figura 2 : Sistema de coleta de solo e água da Unidade Experimental de Ponta Grossa (PR).

### **3.3 Determinação das Perdas de Solo e Água**

Os dados de perda de solo foram obtidos junto ao IAPAR do período de Janeiro de 1979 a Dezembro de 1993, com um total de 115 eventos que provocaram perdas de solo, para a parcela de campo instalada no Pólo Regional de Ponta Grossa. De 253 eventos com registro de perda de solo e/ou água ocorridos no período acima, 138 não foram utilizados neste trabalho: 43 por não haver pluviograma; 42 por apresentarem eventos acumulados; 38 com falhas no pluviógrafo e 15 por não se enquadrarem aos requisitos da metodologia de WISCHMEIER & SMITH, (1978). Para a parcela de campo instalada na Estação Experimental de Paranavaí, foram trabalhados um total de 129 eventos que provocaram perdas de solo, no período de Janeiro de 1981 a Dezembro de 1987. Conforme metodologia descrita em (WISCHMEIER & SMITH, 1978) os primeiros dois anos de registro dos dados, 1977 e 1978 para Ponta Grossa e 1979 e 1980 para Paranavaí, não foram utilizados na realização deste trabalho.

As determinações de perda de solo e água foram feitas por técnicos do IAPAR, toda vez que ocorreu uma chuva que proporcionou perda de solo e/ou enxurrada, seguindo-se a metodologia utilizada pelo IAPAR (Gustavo Merten, comunicação pessoal):

1. O total de perdas por erosão consistiu na medição da terra arrastada, que se deposita no fundo do tanque de decantação, por meio de baldes graduados, acrescida da quantidade de terra em suspensão da enxurrada, deduzidas de seus teores de umidade.

2. A tomada da amostra de enxurrada do tanque de decantação, para medir o teor de umidade, foi feita com a água em repouso e, nos tanques de armazenamento, depois de agitar bem a água, com auxílio de uma vara. Em todos os casos, a amostra foi tomada a uma profundidade média, mergulhando-se o vidro tampado com a mão até a metade da altura da água, onde o mesmo é aberto e, depois, novamente fechado.
3. Já o volume da enxurrada, foi calculado por meio de uma calibração prévia, lendo apenas a altura da água com uma régua.
4. Após a leitura e tomada de amostra da enxurrada, o tanque foi esgotado pela abertura do dreno, tomando-se a preocupação de evitar a turbulência na água e conseqüente arrastamento do material que ficou decantado no fundo.
5. O volume total da enxurrada foi obtido através do somatório do volume de água verificado no tanque de decantação (primeiro tanque) mais o volume encontrado no tanque de fracionamento (segundo tanque) multiplicado pelo número de janelas ou furos do fracionador.

Todas as determinações de perda de solo e enxurrada foram corrigidas para o fator declividade (S) da "parcela padrão", isto é, para 9 %, de acordo com a equação (20), desenvolvida por McCOOL et al., (1987).

$$S = 10.8 \cdot \text{sen } \theta + 0.03 \dots \dots \dots [20]$$

onde  $\theta$  é o ângulo do declive.

### 3.4 Determinação da Energia da Chuva

O cálculo da energia cinética da chuva, como um dos componentes do fator EI, requer uma definição exata de chuva individual. O tempo mínimo necessário para definir o intervalo entre chuvas é em função da mudança na taxa de infiltração após o término da chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1958). Em geral, a melhor correlação da quantidade de perda de solo e valores de EI foram obtidos quando chuvas separadas por mais de 6 horas foram tratadas como chuvas individuais, SMITH & WISCHMEIER, (1962<sup>12</sup> citado por COGO, 1977). Considerou-se um período livre de chuva, ou uma quebra entre chuvas, todo aquele período de 6 horas consecutivas com menos de 0,05 polegadas (1,27 mm) de chuva. WISCHMEIER & SMITH (1978) definem como chuva individual, toda aquela separada de outra (anterior ou posterior) por um período livre de chuva ou por uma quebra entre chuvas e também indicam que volumes de 1/2 polegada (12,7 mm) ou mais precipitados dentro de um mesmo período de 6 horas definem uma chuva individual, a menos que haja uma precipitação de 6,3 mm ou mais em 15 minutos.

O período de 30 minutos com máxima intensidade de chuva é aquele período consecutivo de 30 minutos, dentro de uma chuva individual erosiva, que apresenta a maior quantidade de precipitação (SMITH & WISCHMEIER, 1962 citado por COGO, 1977).

---

<sup>12</sup>SMITH, D.D. & WISCHMEIER, W.H. 1962 Rainfall erosion. *Advances in Agronomy.*, New York, 14:10-48

### **3.4.1 Pluviógrafo e Pluviogramas Utilizados**

O pluviógrafo utilizado registra incrementos sucessivos de chuva, assim como o total acumulado. Tal aparelho possui autonomia para registrar chuvas ocorridas num intervalo de 24 horas, sendo acionado a corda através de um mecanismo de relógio. As chuvas individuais erosivas foram obtidas de acordo com WISCHMEIER & SMITH, (1978) através de pluviogramas que registraram a quantidade de chuva na ordenada com o registro da chuva variando de zero a 10 mm, com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante as 24 horas, com unidade de 10 em 10 minutos. Os aparelhos foram instalados a 50 metros de distância das parcelas de campo, bem como pluviômetros para que fossem feitas constantes verificações de seu perfeito funcionamento. Os pluviogramas eram trocados diariamente às 9:00 hs, em horários relativamente indefinidos, condicionados à ocorrência de novas chuvas.

### **3.4.2 Registro e obtenção dos dados**

Após selecionar e separar os pluviogramas com todas as chuvas individuais erosivas, em cada pluviograma foram separados os segmentos de mesma intensidade, foi efetuada a leitura e anotação das respectivas hora, com precisão de minuto, e da quantidade de chuva com precisão de décimos de milímetros, para cada segmento uniforme.

Tendo-se em mãos os dados de todas as chuvas individuais erosivas, obtidos manualmente sem o auxílio computacional, procedeu-se a digitação e o processamento em microcomputador AT 486 DX/2 50 Mhz, através do

software Excel for Windows. A equação [8] teve seus valores divididos por 100 para serem transformados de J/ha.mm para MJ/ha.mm.

As características obtidas das chuvas individuais erosivas foram a energia cinética, através das equações [6a], [8], [11], [12] e [15] e a intensidade máxima em trinta minutos ( $I_{30}$ ), determinada pela maior quantidade de chuva em qualquer período consecutivo de trinta minutos, expressa em mm/h. Caso a chuva tenha durado menos de trinta minutos, a intensidade máxima em 30 minutos era computada como se a chuva tivesse durado 30 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1978; MORGAN, 1986). BROWN & FOSTER (1987), obtiveram melhores correlações quando a intensidade máxima em trinta minutos utilizada foi obtida de forma padronizada, isto é baseando-se numa distribuição idealizada da intensidade da chuva onde as intensidades foram ordenadas em ordem decrescente, organizando os intervalos de máxima intensidade em trinta minutos não necessariamente consecutivos. Neste sentido, no presente trabalho foram utilizados a forma padronizada utilizada pelos autores acima citados e a forma original proposta por WISCHMEIER & SMITH, (1978), para a obtenção da intensidade máxima em 30 minutos ( $I_{30}$ ). Para os cálculos do  $EI_{30}$  com a equação [6a] utilizou-se o limite de 63,5 mm/h para o componente  $I_{30}$  (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Para o cálculo da energia cinética por intensidade, referente ao segmento de intensidade constante, sendo  $I$  a intensidade do respectivo segmento, foi imposto um valor máximo de energia cinética por intensidade, igual a 0,2832 MJ/ha.mm para as intensidades iguais ou superiores a 76,0 mm/h, equação [6b] de acordo com WISCHMEIER & SMITH, 1978).



A ordem de intensidade em um evento não afeta no cálculo da energia do evento ( $E$ ) e não afeta na intensidade máxima em trinta minutos ( $I_{30}$ ) quando o evento é unimodal ou quando a intensidade de um grande pico é mais larga do que outros picos (BROWN & FOSTER, 1987). Como foi definido pela USLE,  $I_{30}$  é a intensidade média para contínuos 30 minutos tendo a maior intensidade durante um evento. Em um evento de múltiplos picos,  $I_{30}$  é usualmente centrado ao redor de um pico mais largo. Entretanto, quando  $I_{30}$  é computado por intensidade ordenadas em ordem descendente, a chuva máxima em 30 minutos é obtida sem considerar a continuidade do período de 30 minutos. Nesse sentido  $I_{30}$  pode incluir intensidades verificadas em vários picos. Portanto,  $I_{30}$  estimado por um reordenamento das intensidades em um evento de múltiplos picos pode ser maior do que aqueles computados pela forma definida pela USLE.

Também foram obtidos as erosividades da chuva e enxurrada através das equações [16] e [17], de maneira a verificar a sua possível aplicabilidade e correlação com as perdas dos solos.

Os valores da energia cinética da chuva calculados para cada segmento uniforme (MORGAN, 1986 e WISCHMEIER & SMITH, 1978) multiplicados pelos valores de  $I_{30}$ , somados forneceram o  $E_i$  para cada chuva erosiva (Figura 4). Diferentemente das demais equações utilizadas, que calculam a energia cinética para cada segmento uniforme de chuva, a equação [15], calcula a energia cinética total de forma simplificada, utilizando-se do volume total precipitado ( $P$ ) e da intensidade máxima em 30 minutos ( $I_{30}$ ). A soma dos valores de  $E_i$  das chuvas erosivas de um certo período (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990) proporciona uma avaliação numérica da chuva

dentro daquele período. Portanto, foram obtidos os valores da erosividade da chuva e/ou enxurrada, calculadas pelas equações [6a], [8], [11], [12], [15], [16] e [17], de cada chuva erosiva que foram agrupados mensalmente, por estação do ano e anualmente. Em seguida, foram estabelecidas correlações entre as erosividades e as respectivas perdas de solo, através de regressões, com o objetivo de definir o melhor estimador da erosividade para as regiões de Ponta Grossa e Paranavaí, seguindo-se a metodologia de WISCHMEIER & SMITH (1958) e WISCHMEIER (1959), obtendo-se a estimativa do fator erodibilidade do solo (K), para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa de Ponta Grossa e para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura média de Paranavaí, através da correlação entre o índice de erosividade da chuva escolhido e a perda de solo (WISCHMEIER, 1972).

Para a verificação preliminar da variabilidade da erodibilidade do solo no decorrer do ano, os dados de perda de solo (A) e erosividade da chuva e/ou enxurrada (.R) foram agrupados pelos respectivos períodos das estações do ano, Primavera (22 de Setembro a 21 de Dezembro), Verão (21 de Dezembro a 20 de Março), Outono (20 de Março a 21 de Junho) e Inverno (21 de Junho a 22 de Setembro). Além disso os dados relativos a cada período foram correlacionados entre si, obtendo-se assim os valores sazonais da erodibilidade do solo.

### **3.5 Análise Estatística**

Realizaram-se as correlações entre a erosividade da chuva, obtidas pelas equações [6a]; [8]; [11]; [12] e [15] e erosividade da chuva-enxurrada,

obtida pelas equações [16] e [17] e as respectivas perdas de solo provocadas por chuvas individuais, através de regressões lineares simples do tipo  $Y = a + bX$ , onde  $a$  assume valor nulo pois a equação passa pelo centro dos eixos  $X$  e  $Y$ , utilizando-se do software estatístico SYSTAT for Windows. De acordo com WISCHMEIER, (1972), em relação ao modelo linear  $Y = a + bx$ , onde  $y$  representa a estimativa da perda de solo e  $x$ , o índice de erosividade escolhido; o fator erodibilidade é representado pelo coeficiente de regressão  $b$  e  $a$  é uma constante, quando os dados são obtidos nas condições da parcela-padrão. Uma análise prévia de resíduos de Student foi realizada a fim de eliminar os dados da variável independente ( $EI_{30}$ ) que não estavam de acordo com a distribuição normal destes dados. Foi aplicado o teste de Tukey para comparação entre os valores da erodibilidade para se observar a significância estatística dos resultados (HOFFMAN & VIEIRA, 1977).

Também, foi aplicado um teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação ( $R$ ), de acordo com o exposto em GRAYBILL (1976). Foram testados os coeficientes de correlação dois a dois, sendo que neste caso a estatística ( $\Psi$ ) do teste, a qual se apresenta como uma distribuição de "qui-quadrado", com um grau de liberdade, é dada pela seguinte expressão:

$$\Psi = \sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \cdot z_i^2 - (Z)^2 \cdot \sum_{i=1}^2 (n_i - 3).$$

com :

$$z_i = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \right]$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^2 (n_i - 3)}$$

onde:  $n_i$  é o tamanho da amostra que originou o coeficiente de correlação  $r_i$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados de forma a abordar os aspectos relativos às diferentes equações de erosividade da chuva e enxurrada, discutindo os aspectos relativos às perdas de solo e água e o fator erodibilidade dos solos com as suas respectivas variações sazonais.

##### 4.1 Fator Erosividade da Chuva e Enxurrada

A erosividade de um determinado período de tempo é a soma das erosividades verificadas dentro deste período de tempo. Neste sentido são apresentados no Apêndice (Quadros A1 e A2) os valores de erosividade individualizados mês a mês, ano a ano. Para a utilização no modelo USLE, a erosividade é a média dos valores anuais.

Foram observados dois períodos distintos da erosividade da chuva para Ponta Grossa (Figura 3): o primeiro compreendido entre os meses de Novembro e Maio, com um total de 76,5 % da erosividade anual e outro período, compreendido entre os meses de Junho à Outubro, com os menores

índices de erosividade, perfazendo um total de 23,5 %. Estes dados confirmam a informação de PARANÁ (1994), de que na região de Ponta Grossa a erosividade da chuva pode ser alta tanto no período de preparo do solo para cultivos de verão, quanto para cultivos de inverno.

Para o município de Paranavaí, (Figura 4), observa-se que estes períodos, de maior e menor concentração da erosividade, são mais claramente visualizados, com o primeiro período de erosividade mais concentrada, compreendido entre os meses de Outubro a Março com 77,8 % da erosividade e um segundo período, com 22,2 % da erosividade anual compreendido entre os meses de Abril e Setembro, confirmando a informação de PARANÁ (1994)

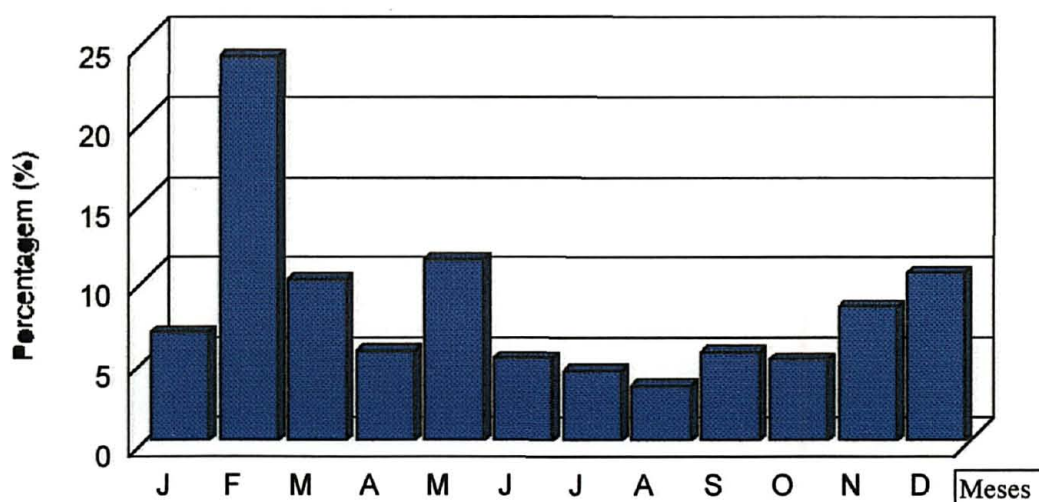


Figura 03. Distribuição percentual da erosividade da chuva, obtida com a equação de Wischmeier & Smith, para Ponta Grossa.

de que esta região possui um período crítico bem característico e definido, sendo este coincidente ao período de preparo do solo para plantio/semeadura de verão.

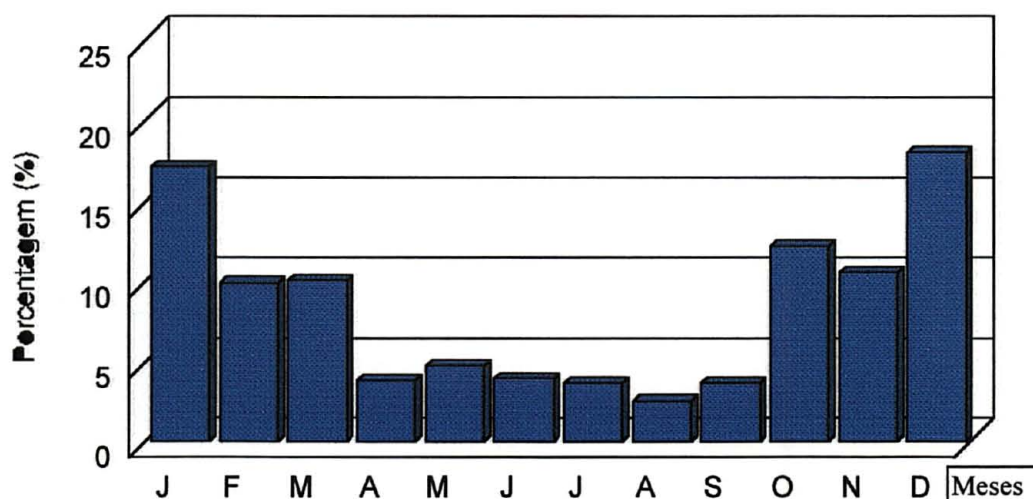


Figura 04. Distribuição percentual da erosividade da chuva obtida com a equação de Hudson, para Paranavaí.

O fator erosividade da chuva (R), média de 15 anos, para Ponta Grossa, determinado através de índice  $EI_{30}$  (WISCHMEIER & SMITH, 1978), para chuvas erosivas que causaram perda de solo é de 1.999 MJ.mm./ha.h.ano (Quadro A1). Com valores extremos anuais de erosividade variando de 153 a 3.986 MJ.mm./ha.h.ano, respectivamente nos anos de 1979 e 1989, assim como os valores extremos dos índices de erosividade mensais foram de 1026 e 7.208 MJ.mm./ha.h respectivamente nos meses de Agosto e Fevereiro.

O fator erosividade da chuva (R), média de 7 anos, para Paranavaí (PR) para chuvas erosivas que provocaram perda de solo, determinado através do índice  $EI_{30}$  utilizando-se da equação de Hudson, é de 4291 MJ.mm./ha.h.ano (Quadro A2). Com valores extremos anuais de erosividade variando de 1752 a 5500 MJ.mm./ha.h.ano, respectivamente nos anos de 1985 e 1986, assim como os valores extremos mensais são de 752 e 5409 MJ.mm./ha.h., respectivamente nos meses de Agosto e Dezembro.

RUFINO et al. (1993) trabalharam com dados pluviométricos de Ponta Grossa e Paranavaí, obtiveram através da equação [15], respectivamente 6.406 e 7.956 MJ.mm/ha.h.ano. Estes valores são diferenciados daqueles obtidos por nós neste trabalho, pelos seguintes aspectos: (i) Os valores descritos neste item da erosividade para Ponta Grossa e Paranavaí, foram obtidos com as equações [6a e 6b] e [8], enquanto Rufino e outros trabalharam com a equação [15]; (ii) Em nosso trabalho, consideramos como chuva erosiva o limite preconizado por WISCHMEIER & SMITH (1978) que é de 12,7 mm, enquanto Rufino e outros, consideraram o limite de 10,0 mm., portanto envolvendo um número maior de chuvas; (iii) Em nosso estudo, apenas as chuvas que provocaram perdas de solo e enxurrada, foram incluídas, no Rufino e outros, foram incluídas todas as chuvas, sem análise das perdas de solo e enxurrada, portanto o trabalho de Rufino e outros, nos 15 anos de dados utilizados abrangeu um maior número de eventos por ano e conseqüentemente uma maior erosividade anual.

Em valores absolutos, em ambos os locais de estudo, o índice EIA, da erosividade da enxurrada, forneceu valores de correlação maiores do que àqueles obtidos com o índice EI<sub>30</sub>, quando o I<sub>30</sub> foi obtido de forma tradicional (Figura A3), isto é com a intensidade máxima em 30 minutos sendo obtida em trinta minutos corridos (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). Quando o I<sub>30</sub> foi obtido de forma padronizada (Figura A3), com a intensidade máxima em 30 minutos sendo obtida de forma ordenada, contendo os trinta minutos de maior intensidade de cada evento, (BROWN & FOSTER, 1987) o mesmo também foi verificado para Paranavaí. Para Ponta Grossa, algumas equações forneceram

valores de correlação maior do que o apresentado pelo índice EIA, similar aos dados de FOSTER et al., (1982), que ao pesquisarem um fator erosividade da chuva-enxurrada para as chuvas individuais ocorridas em dez locais nos EUA, obtiveram em seis destes locais valores de correlação obtidos para o índice  $EI_{30}$  maiores do que os fornecidos pelo volume de enxurrada ( $V_U$ ).

#### **4.2 Perdas de Água e Solo**

A comparação da distribuição de perda de água no decorrer do ano para Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Grossa (Figura 5) com a distribuição da erosividade das chuvas e da precipitação, aliada aos dados dos (Quadros A1, A3 e A5) indica que: (i) valores baixos de erosividade nem sempre correspondem a baixos valores de perda de água e/ou solo, à exemplo dos valores observados nos meses de Maio, com 11,3 % da erosividade anual, corresponde à 13,3 % da perda de água e a 24,9 % da perda de solo e mês de Junho com 5,1 % da erosividade anual, correspondendo a 13 % da água e 8,5 % da perda de solo. O inverso também é verdadeiro, isto é, altos valores de erosividade, como no mês de Março com 10,1 %, representaram 7,6 % da perda de água e 8,5 % da perda de solo. Estas variações podem estar relacionadas às alterações existentes na própria parcela padrão (aração, etc.), como também pelas propriedades intrínsecas do solo, entre estas a erodibilidade.



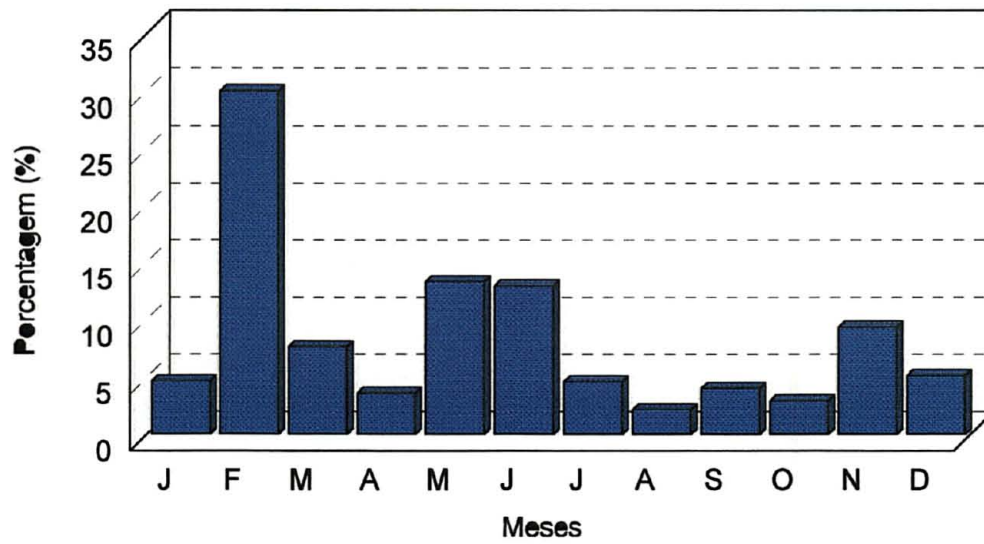


Figura 05. Distribuição percentual da perda de água de Ponta Grossa.

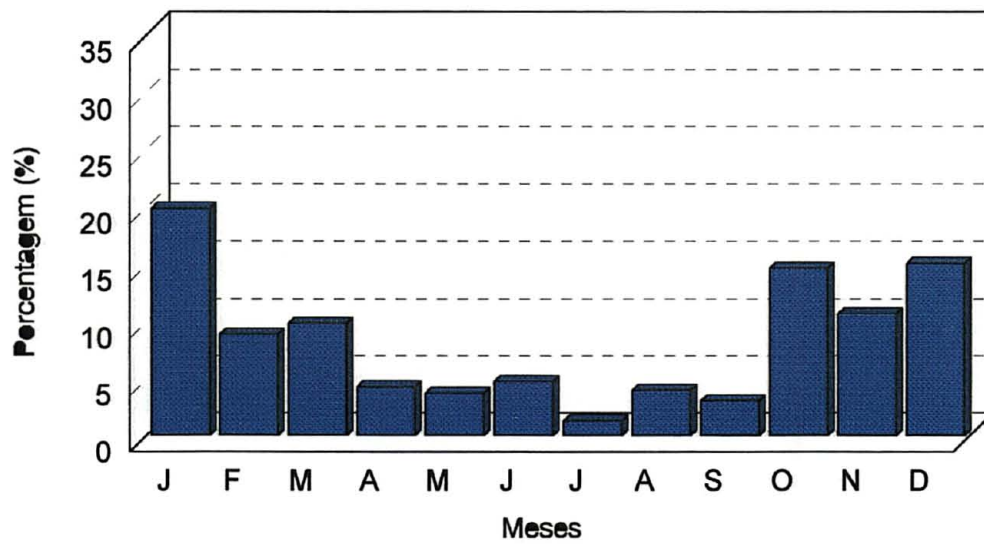


Figura 06. Distribuição percentual da perda de água de Paranavaí.

As considerações feitas para Ponta Grossa não foram verificadas para a unidade localizada no município de Paranaíba, (Figuras 4 e 6 e Quadro A4), no qual a distribuição percentual da perda de água acompanhou as distribuições percentuais de erosividade e de perda de solo.

A distribuição percentual da perda de solo para Ponta Grossa (Figura 7), assemelha-se à distribuição percentual da erosividade da chuva (Figura 3), à exceção dos meses de Janeiro e Maio. O mês de Janeiro, apesar de ter apresentado vários eventos, estes são de baixa erosividade, portanto com baixa capacidade de provocar erosão. No mês de Maio, verificou-se que são poucos eventos mas de elevada erosividade, portanto com alta capacidade de provocar maiores perdas de solo.

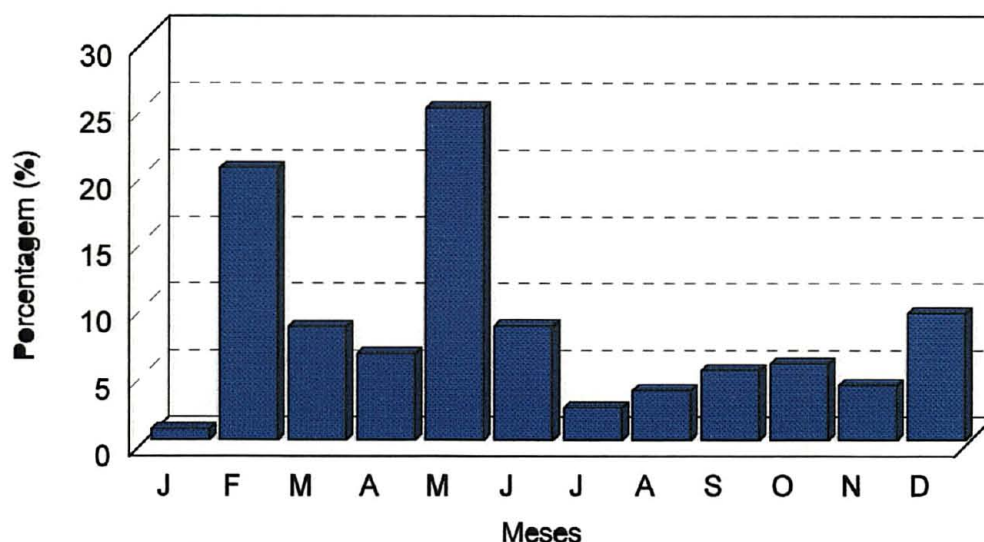


Figura 07. Distribuição percentual da perda de solo de Ponta Grossa.

A distribuição percentual da perda de solo para Paranaíba (Figura 8) também assemelha-se à distribuição percentual da erosividade da chuva (Figura 4), à exceção dos meses de Março e Novembro, que apresentaram

maior porcentagem de perda de solo em relação à de erosividade, conforme os dados do Quadro A6. Isto tem explicação quando verificamos que nestes meses são poucos os eventos, mas com erosividade elevada. Podendo-se concluir que ao termos uma mesma erosividade em dois períodos distintos, um com erosividade concentrada em poucos eventos e outro com a erosividade distribuída em vários eventos, pode-se verificar perdas bastante distintas entre os dois períodos.

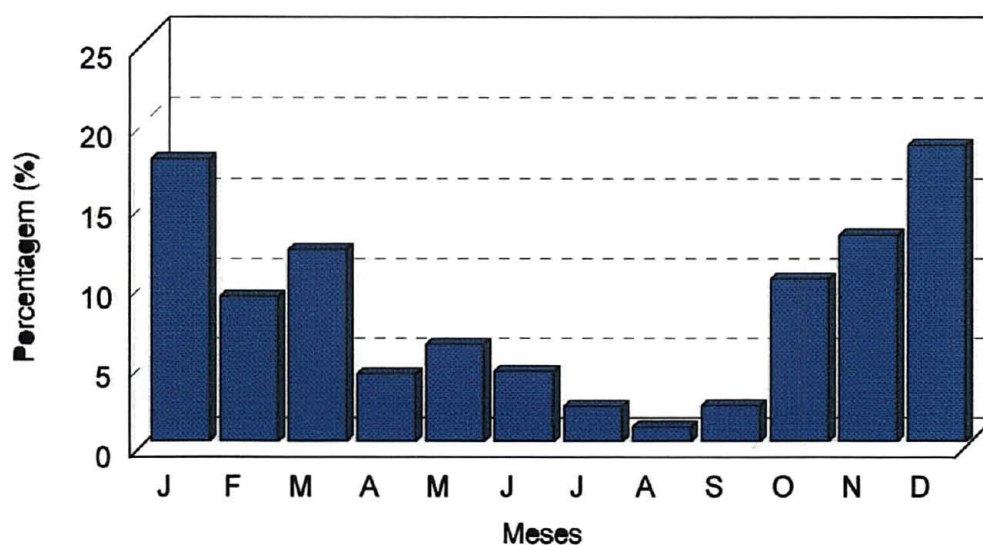


Figura 08. Distribuição percentual da perda de solo de Paranavaí.

#### 4.3. FATOR ERODIBILIDADE DOS SOLOS

A relação perda de solo-erodibilidade apresenta grande dispersão de pontos em relação à linha (reta), (Figuras 9a, 9b, 10a e 10b) ocorrendo uma concentração próxima à origem dos eixos cartesianos. Esta distribuição é bastante semelhante à apresentada por WISCHMEIER & SMITH, (1958). A distribuição dos pontos mostra

que há maior variação de perdas de solo quando se verifica eventos com valores elevados de erosividade, eventos estes que ocorrem em menor frequência tanto para Ponta Grossa quanto para Paranavaí.

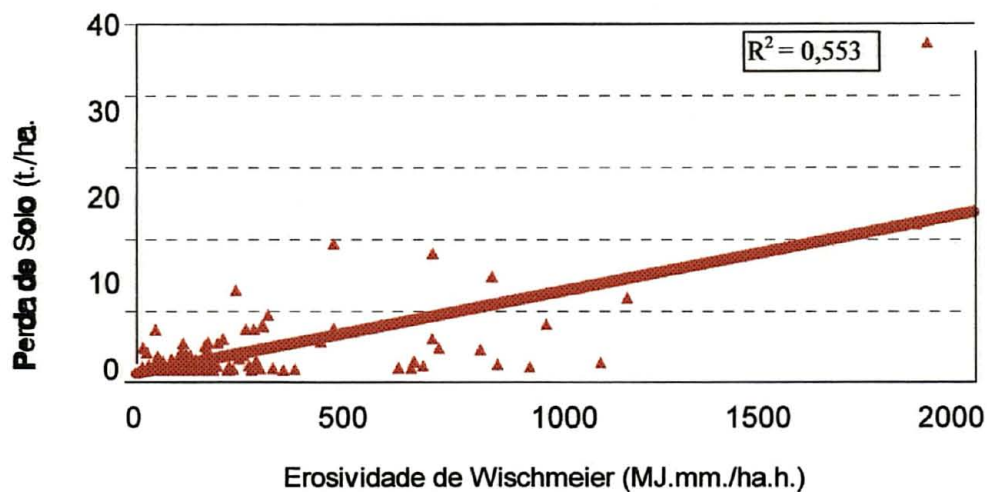


Figura 9a. Perda de solo correlacionada com índice de erosividade obtido pelo método de Wischmeier & Smith (1978) para Ponta Grossa.

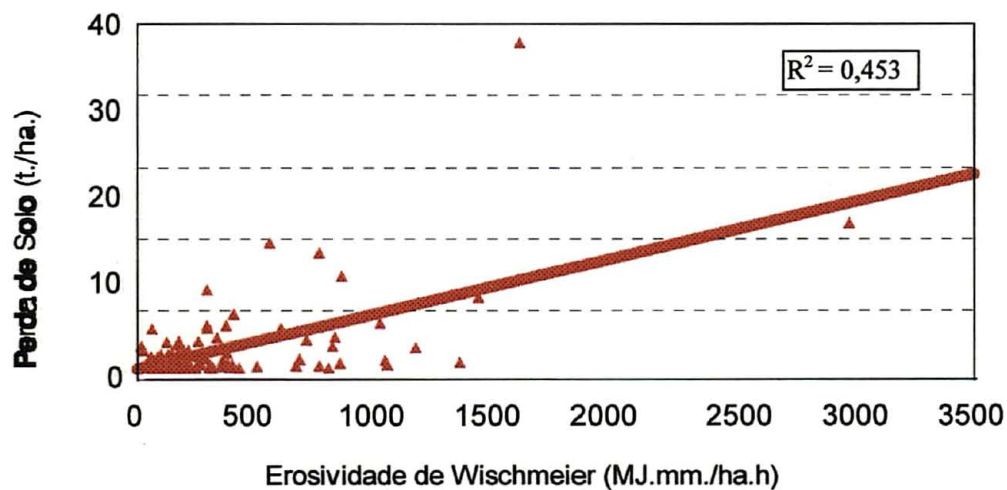


Figura 9b. Perda de solo correlacionada com índice de erosividade padronizado para o índice  $I_{30}$  para Ponta Grossa.

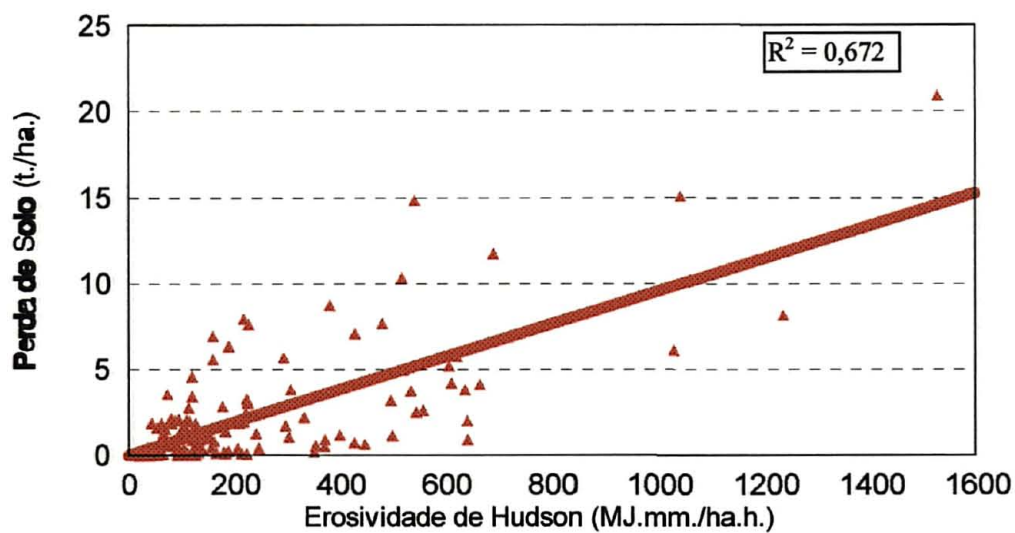


Figura 10a. Perda de solo correlacionada com índice de erosividade obtido pelo método de Wischmeier & Smith (1978) para Paranavaí.

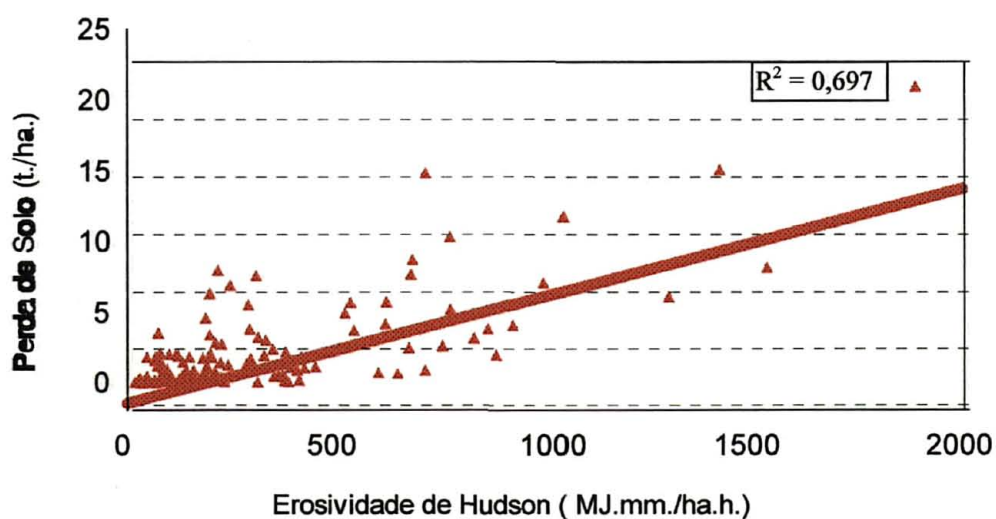


Figura 10b. Perda de solo correlacionada com índice de erosividade padronizada para o índice  $I_{30}$  para Paranavaí.



Quadro 1. Valores de erodibilidade do solo (K) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) fornecidos pela correlação entre a perda de solo e os índices de erosividade da chuva e enxurrada para os municípios de Ponta Grossa.

| Equações de Energia   | Ponta Grossa |                |
|-----------------------|--------------|----------------|
|                       | K            | R <sup>2</sup> |
| EIA                   | 0,00367      | 0,586a         |
| Wagner & Massambani * | 0,00866      | 0,558ab        |
| Wischmeier & Smith    | 0,00869      | 0,553ab        |
| Wagner & Massambani   | 0,00792      | 0,545ab        |
| Kinnell*              | 0,00904      | 0,540ab        |
| EIA*                  | 0,00329      | 0,537ab        |
| Hudson*               | 0,00940      | 0,529ab        |
| Kinnell               | 0,00821      | 0,525ab        |
| Hudson                | 0,00852      | 0,514ab        |
| Enxurrada             | 0,26182      | 0,453ab        |
| Enxurrada*            | 0,26182      | 0,453ab        |
| Wischmeier & Smith*   | 0,00633      | 0,453ab        |
| Castro Filho et al.   | 0,00654      | 0,407ab        |
| Castro Filho et al*   | 0,00669      | 0,396b         |

1. O modelo matemático utilizado foi  $y = a + b.x$ , onde  $y$  = perda de solo (t/ha);  $a$  = constante com valor nulo (não significativa ao nível de 1 %);  $b$  = erodibilidade do solo (K) em (t.ha.h./ha.MJ.mm.);  $x$  =  $E_{30}$  (índice de erosividade da chuva em (MJ.mm./ha.h.)).

2. A unidade do fator K para Enxurrada e EIA é t/ha.mm.

3. Equações de energia seguidas de \* utilizaram o  $I_{30}$  obtidos de forma padronizada.

4. Valores de R<sup>2</sup> seguidos da mesma letra, não diferiram estatisticamente, a nível de 5 % , segundo o teste de Graybill (1976).

Quadro 2. Valores de erodibilidade do solo (K) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) fornecidos pela correlação entre a perda de solo e os índices de erosividade da chuva e enxurrada para os municípios de Paranavaí.

| Equações de Energia   | Paranavaí |                |
|-----------------------|-----------|----------------|
|                       | K         | R <sup>2</sup> |
| EIA*                  | 0,00301   | 0,752a         |
| EIA                   | 0,00380   | 0,714a         |
| Hudson *              | 0,00744   | 0,697a         |
| Hudson                | 0,00958   | 0,672ab        |
| Kinnell *             | 0,00913   | 0,671ab        |
| Kinnell               | 0,00904   | 0,668ab        |
| Wischmeier & Smith *  | 0,00867   | 0,664ab        |
| Wischmeier & Smith    | 0,00859   | 0,660ab        |
| Wagner & Massambani * | 0,00845   | 0,660ab        |
| Wagner & Massambani   | 0,00836   | 0,656ab        |
| Enxurrada             | 0,28370   | 0,653ab        |
| Enxurrada*            | 0,28370   | 0,653ab        |
| Castro Filho et al.   | 0,00647   | 0,523b         |
| Castro Filho et al *  | 0,00649   | 0,523b         |

1. O modelo matemático utilizado foi  $y = a + b.x$ , onde  $y$  = perda de solo (t/ha);  $a$  = constante com valor nulo (não significativa ao nível de 1 %);  $b$  = erodibilidade do solo (K) em (t.ha.h./ha.MJ.mm.);  $x$  =  $E_{30}$  (índice de erosividade da chuva em (MJ.mm./ha.h.)).

2. A unidade do fator K para Enxurrada e EIA é t/ha.mm.

3. Equações de energia seguidas de \* utilizaram o  $I_{30}$  obtidos de forma padronizada.

4. Valores de R<sup>2</sup> seguidos da mesma letra, não diferiram estatisticamente, a nível de 5 % , segundo o teste de Graybill (1976).

Na maioria dos casos não houve diferenças estatísticas a nível de 5 % de probabilidade (GRAYBILL, 1976) entre as diferentes equações de energia (Quadro 1), à exceção da equação de Castro Filho et al. [ $R^2=0,396$ ] e o índice EIA [ $R^2=0,586$ ], para o município de Ponta Grossa. Já para Paranavaí (Quadro 2) houveram diferenças estatísticas entre as equações de Castro Filho et al. [ $R^2=0,523$ ] e Castro Filho et al.\* [ $R^2=0,523$ ] e as equações EIA\* [ $R^2=0,752$ ], EIA [ $R^2=0,714$ ] e Hudson [ $R^2=0,697$ ].

Quadro 03. Valores de erodibilidade do solo do Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Grossa e Paranavaí, verificados na Literatura.

| Fonte                        | Ponta Grossa | Paranavaí |
|------------------------------|--------------|-----------|
| IAPAR, 1979 (Chuva simulada) | 0,0093       | 0,0073    |
| IAPAR, 1979 (Chuva Natural)  | 0,0075       | 0,0088    |
| BISCAIA et al., 1981         | 0,022        |           |

\* K em t.ha.h./ha.MJ.mm.

BISCAIA et al. (1981), trabalhando com dados de 1978 a 1980 da mesma parcela de campo, localizada no município de Ponta Grossa (PR) utilizada neste trabalho, obteve valor de 0,022 t.ha.h/ha.MJ.mm. Valor este, bastante diferente daqueles constantes nos Quadros 1 e 2. Neste sentido, levantamos algumas hipóteses para que os valores tenham sido diferentes: (i) Segundo WISCHMEIER & SMITH (1958, 1978), os primeiros dois anos de dados da parcela padrão devem ser descartados no cálculo da erodibilidade do solo, no trabalho de BISCAIA et al. (1981), apenas o primeiro ano foi descartado, (ii) O número de anos trabalhados, incluindo o segundo ano de dados, foi de apenas 3 anos, quando WISCHMEIER & SMITH, (1958, 1978),

estabeleceram para EUA, 22 anos para se determinar o valor da erodibilidade do solo com parcela de escoamento superficial;

As equações que forneceram os melhores coeficientes de correlação entre o índice  $EI_{30}$  e as perdas de solo, foram as de Wischmeier & Smith [6a], para Ponta Grossa ( $R^2=0,553$ ) e Hudson [8], para Paranavaí ( $R^2=0,672$ ). Os coeficientes de correlação obtidos são menores do que os obtidos por WISCHMEIER (1959) para os EUA (0,705 a 0,960); porém o coeficiente obtido para Paranavaí é o de maior magnitude que se obteve no Brasil, sendo semelhante ao obtido por CARVALHO et al., (1987) para Mocóca, SP (0,639) e superior aos obtidos por BISCAIA et al., (1981) para o Paraná (0,518 a 0,593); ao obtido por Lombardi Neto (1977) para Campinas, SP (0,452); e ao obtido por MORAIS et al. (1988) para o Rio Grande do Sul (0,561).

#### **4.3.1 Sazonalidade do Fator Erodibilidade do Solo**

Na distribuição da erosividade no decorrer do ano (Figuras 12 a 15), existe um certo vazio de eventos após os 200 dias do ano, entre os meses de Julho e Agosto. Este vazio representa a não ocorrência ou ocorrência em pequeno número de eventos erosivos, para Ponta Grossa. Isto veio a confirmar a baixa porcentagem da erosividade para ambos os locais estudados ocorrida no mês de Agosto. Mesmo tendo verificado para o município de Ponta Grossa, a ocorrência de eventos com erodibilidades acima de 0,008 t.ha.h./ha.MJ.mm., observa-se que a quase totalidade dos eventos são encontrados abaixo de 0,004 t.ha.h./ha.MJ.mm.



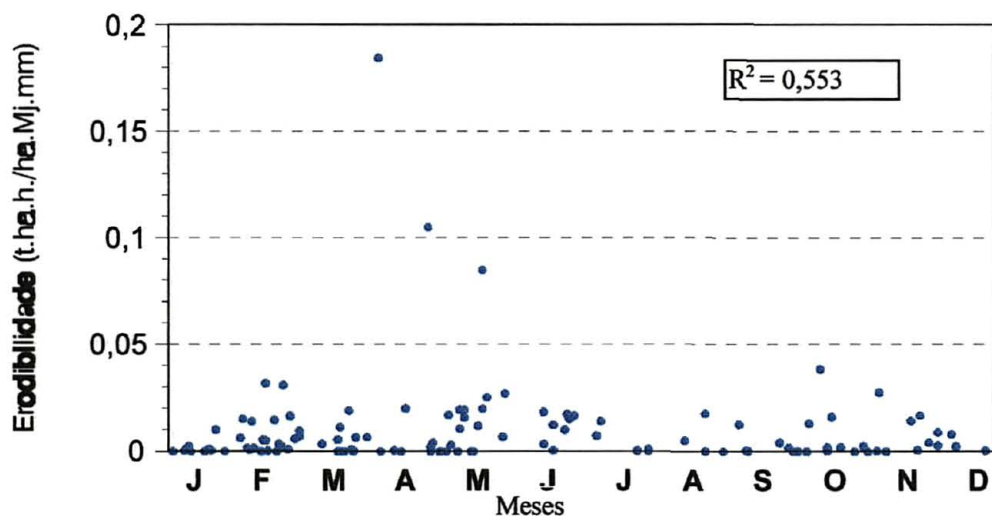


Figura 11. Distribuição sazonal da erodibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa de Ponta Grossa obtida pelo método de Wischmeier & Smith (1978)

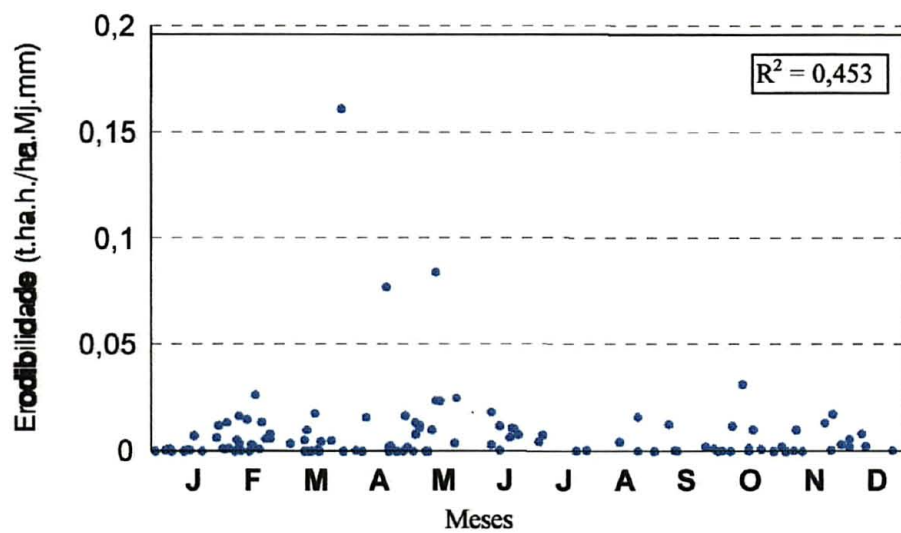


Figura 12. Distribuição sazonal da erodibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa de Ponta Grossa obtida com o método de Brown & Foster (1987)

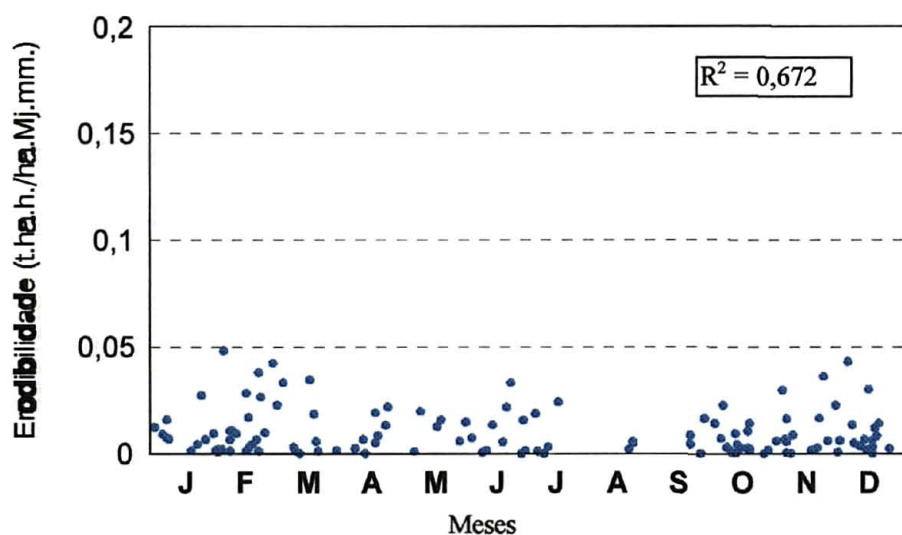


Figura 13. Distribuição sazonal da erodibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro, textura média de Paranaíba, obtida pelo método de Wischmeier & Smith (1978)

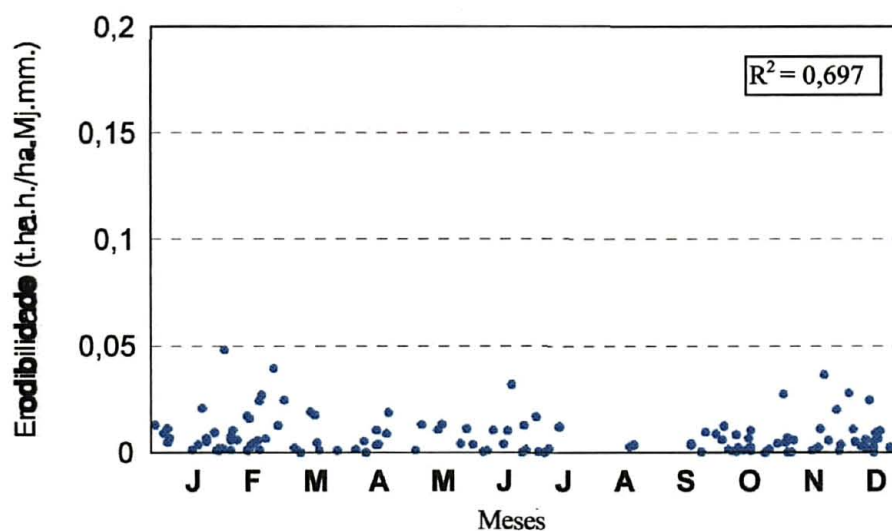


Figura 14. Distribuição sazonal da erodibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro, textura média de Paranaíba, obtida pelo método de Brown & Foster (1987)

Ao separarmos os eventos pelas distintas estações do ano e realizarmos as correlações entre as perdas de solo e erosividade da chuva, obtivemos as correlações realizadas pelos valores obtidos nas estações

(Quadro 4). Os coeficientes obtidos nestas correlações indicam a existência de variações sazonais na erodibilidade do solo, para ambos os locais utilizados neste estudo. Para Ponta Grossa constata-se que tanto no Inverno quanto no Outono os coeficientes de Correlação foram superiores àqueles verificados no Verão e Primavera. Para Paranavaí os maiores coeficientes de correlação foram obtidos com os dados da Primavera e do Outono, e os menores com o Inverno.

Variações sazonais e temporais em várias propriedades do solo (conteúdo de carbono orgânico, resistência do solo, estabilidade de agregados, etc.) são largamente reconhecidas (COOTE et al., 1988; KOK & McCOOL, 1990) e, sendo a erodibilidade claramente relacionada a estas propriedades dinâmicas do solo (YOUNG, RÖMKENS & McCOOL, 1990; BAJRACHARYA & LAL, 1992), era de se esperar que a erodibilidade do solo também variasse durante as estações do ano (BAJRACHARYA & LAL, 1992). Inclusive, com alguns autores (MUTCHLER & CARTER, 1983; ZANCHI, 1983; LAL, 1988) sugerindo que a erodibilidade também pode apresentar variação no transcorrer de um evento.

A variação sazonal da erodibilidade do solo, verificada para Ponta Grossa (Quadro 4 e Figura 15) apresentou um limite com valores de até 177 % maiores (Outono) e de 49 % menores (Verão), do que o valor da erodibilidade do solo [0,0087 t.ha.h./ha.MJ.mm.], obtida pela correlação com todos os dados, sem individualizar as estações do ano. Já para Paranavaí (Quadro 4 e Figura 16) a variação verificada foi de menor magnitude pois apresentou limites de 112 % maiores (Primavera) e de 55 % menores (Inverno), do que o

Quadro 04. Valores da Erodibilidade Sazonal obtida através da Correlação entre as perdas de solo e equações de energia e enxurrada.

| PONTA GROSSA        |                |         | PARANAÍ             |                |         |
|---------------------|----------------|---------|---------------------|----------------|---------|
| ESTAÇÃO/<br>EQUAÇÃO | R <sup>2</sup> | k       | ESTAÇÃO/<br>EQUAÇÃO | R <sup>2</sup> | k       |
| VerWischmeier       | 0,364c         | 0,00456 | VerWischmeier       | 0,541bcd       | 0,00856 |
| VerHudson           | 0,371c         | 0,00442 | VerHudson           | 0,532bcd       | 0,00902 |
| VerKinneI           | 0,374c         | 0,00430 | VerKinneI           | 0,535bcd       | 0,00876 |
| VerWagner           | 0,370c         | 0,00420 | VerWagner           | 0,543bcd       | 0,00845 |
| VerCastro Filho     | 0,325c         | 0,00372 | VerCastro Filho     | 0,523bcd       | 0,00662 |
| VerEnxurrada        | 0,306c         | 0,12129 | VerEnxurrada        | 0,720ab        | 0,25490 |
| OutWischmeier       | 0,787a         | 0,01570 | OutWischmeier       | 0,658bcd       | 0,00702 |
| OutHudson           | 0,775a         | 0,01734 | OutHudson           | 0,673bc        | 0,00820 |
| OutKinneI           | 0,782a         | 0,01663 | OutKinneI           | 0,664bcd       | 0,00759 |
| OutWagner           | 0,793a         | 0,01542 | OutWagner           | 0,657bcd       | 0,00678 |
| OutCastro Filho     | 0,472bc        | 0,01052 | OutCastro Filho     | 0,538bcd       | 0,00518 |
| OutEnxurrada        | 0,670bc        | 0,46117 | OutEnxurrada        | 0,700bc        | 0,30167 |
| InvWischmeier       | 0,742a         | 0,00874 | InvWischmeier       | 0,342e         | 0,00422 |
| InvHudson           | 0,740a         | 0,01108 | InvHudson           | 0,365e         | 0,00524 |
| InvKinneI           | 0,747a         | 0,00979 | InvKinneI           | 0,357e         | 0,00479 |
| InvWagner           | 0,740a         | 0,00843 | InvWagner           | 0,338e         | 0,00402 |
| InvCastro Filho     | 0,624bc        | 0,00644 | InvCastro Filho     | 0,454de        | 0,00349 |
| InvEnxurrada        | 0,675b         | 0,25252 | InvEnxurrada        | 0,438de        | 0,15626 |
| PriWischmeier       | 0,613bc        | 0,00651 | PriWischmeier       | 0,794a         | 0,00989 |
| PriHudson           | 0,642bc        | 0,00629 | PriHudson           | 0,798a         | 0,01075 |
| PriKinneI           | 0,658bc        | 0,00607 | PriKinneI           | 0,792a         | 0,01012 |
| PriWagner           | 0,672bc        | 0,00586 | PriWagner           | 0,779a         | 0,00945 |
| PriCastro Filho     | 0,540bc        | 0,00540 | PriCastro Filho     | 0,563bcd       | 0,00756 |
| PriEnxurrada        | 0,426bc        | 0,25337 | PriEnxurrada        | 0,770a         | 0,31732 |

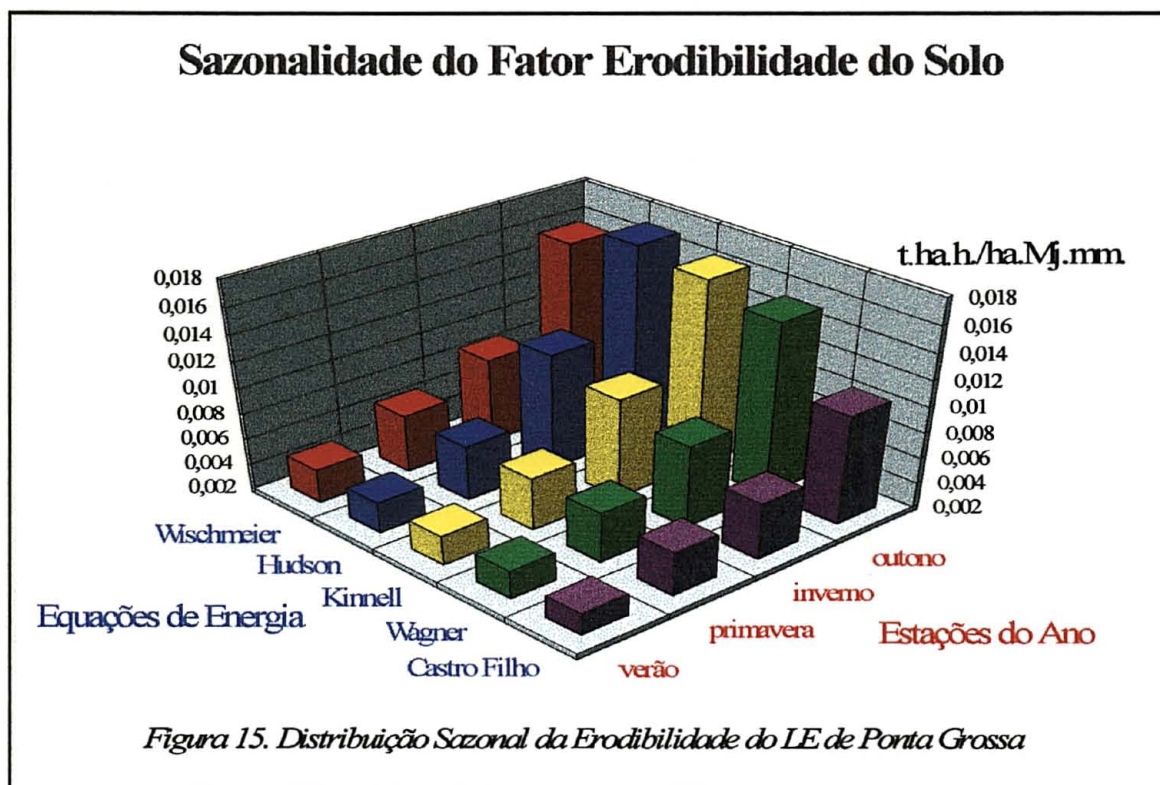
1. Valores de K obtidos pelas equações de erosividade expressos em t.ha.h./ha.MJ.mm e valores de K obtidos pela enxurrada, expressos em t./ha.mm.

2. Valores de R<sup>2</sup> seguidos da mesma letra e cor não diferiram ao nível de 5 % de probabilidade segundo o teste de Graybill (1976)

valor da erodibilidade do solo [0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm], obtida pela correlação com todos os dados, sem individualizar as estações do ano.

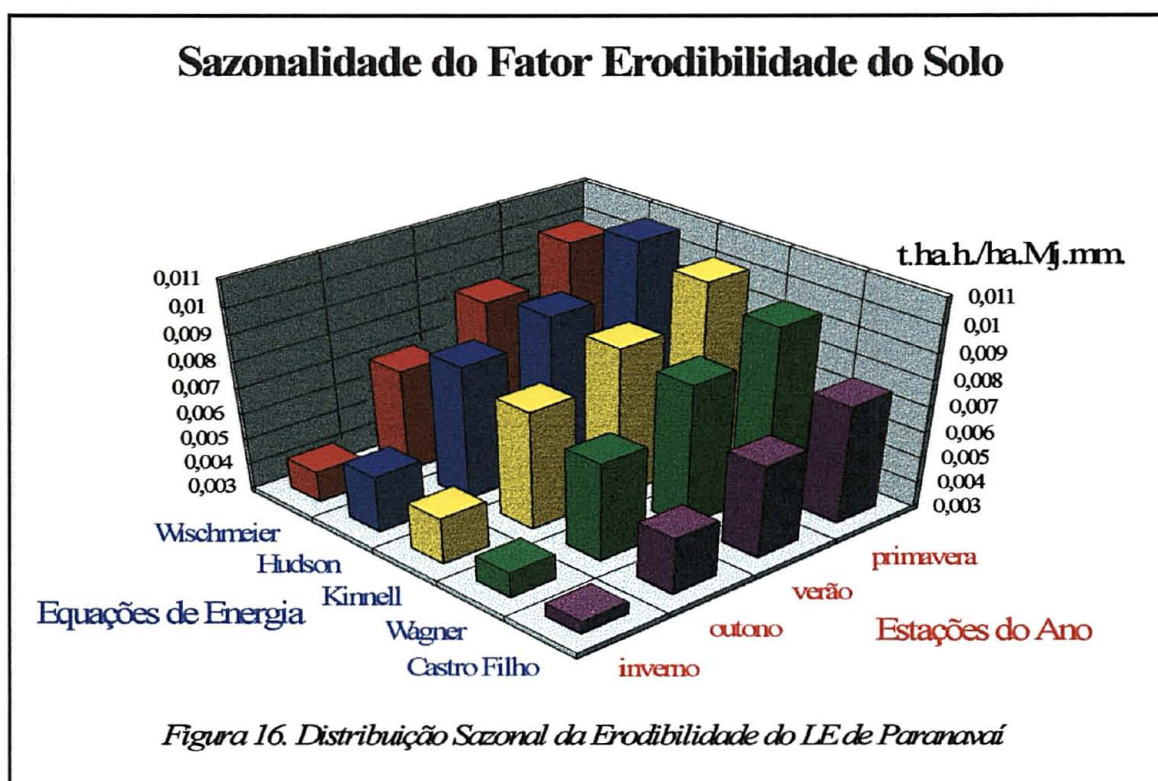
MUTCHLER & CARTER, (1983) usaram dados de parcelas localizadas em Holly Springs, Mississippi (EUA) para demonstrar que a erodibilidade varia através do ano. A variação periódica verificada apresentou um limite com





valores de até 169 % maiores (Fevereiro) do que a média anual e de até 31 % menores (Agosto) do que a média anual. BAJRACHARYA & LAL, (1992) informam que resultados de estudos em laboratórios corroboram os de parcelas de experimentos de campo, indicando que valores altos de K ocorreram durante inverno-primavera em condições de degelo (Março), e os valores baixos durante a estação do verão (Junho-Setembro). Esta magnitude da variação sazonal no K dependeu da textura do solo, sendo maior para solos siltosos do que arenosos e intermediário para solos argilosos e francos. A maior parte do solo erodido por evento, a despeito de baixas erodibilidades consideradas, ocorreram para eventos de verão, refletindo geralmente altas erosividades durante esta época do ano (BAJRACHARYA & LAL, 1992). Em nosso trabalho, o solo de textura argilosa (Ponta Grossa) apresentou maior variação da erodibilidade do solo do que o solo de textura média (Paranavaí).

Tanto as maiores quanto as menores erodibilidades foram verificadas em períodos diferenciados do ano (Quadro 04). Para Ponta Grossa as maiores erodibilidades foram verificadas no Outono e as menores no Verão, enquanto que para Paranaíba as maiores foram verificadas na Primavera e as menores no Inverno.



Algumas das diferenças podem ser atribuídas ao fato de que dados anuais contem relativamente maior quantidade de eventos de grande intensidade, que poderiam contribuir para uma maior quantidade de erros, e que muitos dos parâmetros da USLE são designados para prever valores médios anuais em longo-tempo e não valores anuais individualizados (RISSE et al., 1993)

## 5 CONCLUSÕES

- Para ambos os locais, o índice de erosividade da chuva e enxurrada, EIA foi o que melhor correlação forneceu,  $R^2=0,586$  para Ponta Grossa e  $R^2=0,714$  para Paranavaí, quando se utilizou a forma tradicional de obtenção do  $I_{30}$ , fornecendo um índice de erodibilidade de 0,0037 e 0,0038 t/ha·mm, respectivamente.
- Pelos resultados obtidos concluímos que a melhor equação em valores absolutos para representar a correlação entre as perdas de solo e a erosividade da chuva para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, de Ponta Grossa foi a equação [6a], de WISCHMEIER & SMITH (1958,1965, 1978) e para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, de Paranavaí foi a equação [8], de HUDSON (1963);
- Não foi verificada diferenças estatísticas a nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Graybill, entre as equações de erosividade da chuva utilizadas, à exceção da Equação de Hudson e as equações de Castro Filho et al. e Castro Filho et al.\*. Em valores absolutos, com exceção da equação de Wischmeier & Smith para Ponta Grossa, todas as demais equações para ambos os locais forneceram melhores coeficientes de correlação quando o  $I_{30}$  utilizado foi obtido de forma padronizada.
- O índice de erosividade médio para eventos que provocaram perdas de solo, calculado respectivamente de acordo com as equações acima foram,

para Ponta Grossa de 1.999 MJ.mm./ha.h.ano e para Paranavaí 4.291 MJ.mm./ha.h.ano;

- A probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis para o município de Ponta Grossa (PR), no período que vai de Novembro a Maio, com 76,5 % da erosividade média anual e 74,5 % da perda de solo anual;
- O fator erodibilidade dos solos (K), obtido pela correlação entre a perda de solo e o melhor estimador da erosividade da chuva ( $EI_{30}$  tradicional) é de 0,0087 t.ha.h./ha.MJ.mm. para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa de Ponta Grossa e de 0,0096 t.ha.h./ha.MJ.mm para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura média de Paranavaí. Utilizando-se o  $EI_{30}$  padronizado os valores resultantes são 0,0087 t.ha.h./ha.MJ.mm. para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa de Ponta Grossa e de 0,0074 t.ha.h./ha.MJ.mm para o Latossolo Vermelho-Escuro, textura média de Paranavaí;
- A utilização da equação de Castro Filho et al., (1982), apesar de facilitar nos trabalhos de obtenção do índice da erosividade das chuvas, foi a que forneceu os menores coeficientes de correlação; para ambos os locais de estudo, devendo-se levar em consideração ao fato de facilitar a obtenção da erosividade, mas perder em confiabilidade e reprodução dos fatos;
- O melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre os dados de perda de solo e as equações de erosividade da chuva para Ponta



Grossa foi de [0.558] o qual assemelha-se aos coeficientes obtidos por vários trabalhos realizados no Brasil; já o melhor coeficiente obtido para Paranaíba foi de [0.697], sendo este o coeficiente de maior magnitude verificado em estudos semelhantes realizados no Brasil.

## 5.1. SUGESTÕES

- Sugere-se que equações de erosividade mais bem associadas às perdas de solo possam ser obtidas, utilizando-se relação energia-intensidade a ser desenvolvida para os padrões locais e/ou regionais de precipitação;
- Com o intuito de se isolar componentes dissimulados nos diversos fatores da USLE, principalmente em relação aos fatores climáticos, é necessário se fazer estudos de obtenção da erodibilidade dos solos, através de simulação de chuvas e conseqüentemente sua energia cinética em vários períodos do ano, com intuito de melhorar a quantificação da sazonalidade do fator K;
- Há necessidade de que sejam desenvolvidos trabalhos no Brasil, em várias localidades, com a finalidade de desenvolver uma relação com outros fatores que venham a melhorar a relação empírica de Wischmeier & Smith, o que vem a corroborar com o que pesquisadores de vários países vem recomendando para as condições tropicais.

## 6 ANEXOS

Quadro A1. Valores mensais, anuais e médios de Erosividade EI30 (Wischmeier) em Ponta Grossa (PR), obtidos em 1979-1993, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV    | MAR    | ABR    | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1979   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 13,60  | 139,44 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 153,04  |
| 1980   | 0,00   | 47,73  | 0,00   | 0,00   | 246,32 | 0,00   | 208,59 | 0,00   | 849,41 | 62,35  | 12,75  | 0,00   | 1427,1  |
| 1981   | 207,56 | 1123,0 | 0,00   | 107,70 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 237,71 | 939,98 | 962,73 | 3578,6  |
| 1982   | 0,00   | 473,87 | 892,68 | 0,00   | 0,00   | 1277,4 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 127,53 | 645,99 | 0,00   | 3417,5  |
| 1983   | 626,78 | 32,68  | 0,00   | 44,10  | 1988,8 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 64,36  | 0,00   | 0,00   | 2756,7  |
| 1984   | 0,00   | 663,64 | 0,00   | 0,00   | 129,33 | 259,02 | 0,00   | 0,00   | 183,91 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1235,9  |
| 1985   | 68,05  | 0,00   | 0,00   | 157,94 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 161,63 | 36,48  | 0,00   | 0,00   | 424,10  |
| 1986   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 314,57 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 261,45 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 576,02  |
| 1987   | 0,00   | 681,36 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 439,72 | 707,37 | 0,00   | 422,21 | 0,00   | 0,00   | 2250,6  |
| 1988   | 378,06 | 0,00   | 120,97 | 409,32 | 461,24 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1369,5  |
| 1989   | 0,00   | 1444,7 | 771,49 | 418,61 | 271,84 | 0,00   | 652,72 | 56,72  | 295,54 | 74,54  | 0,00   | 0,00   | 3986,2  |
| 1990   | 546,63 | 656,70 | 999,07 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 164,80 | 79,78  | 0,00   | 0,00   | 2446,9  |
| 1991   | 0,00   | 2083,8 | 0,00   | 0,00   | 161,88 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 122,12 | 174,75 | 2542,5  |
| 1992   | 192,02 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 182,77 | 85,33  | 136,61 | 596,73  |
| 1993   | 0,00   | 0,00   | 234,29 | 215,92 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 231,05 | 684,41 | 1860,7 | 3226,4  |
| MÉDIA  | 134,61 | 480,51 | 201,23 | 112,12 | 226,59 | 102,43 | 86,73  | 68,37  | 110,35 | 101,25 | 166,04 | 208,99 | 1999,2  |
| D.P.   | 207,75 | 621,35 | 351,41 | 150,22 | 489,55 | 320,57 | 191,5  | 182,91 | 218,06 | 117    | 303,11 | 502,2  | 1218,77 |
| C.V.   | 154,33 | 129,31 | 174,63 | 133,98 | 216,05 | 312,96 | 220,8  | 267,53 | 197,61 | 115,56 | 182,55 | 240,3  | 60,96   |
| E.P.M. | 53,64  | 160,43 | 90,73  | 38,79  | 126,4  | 82,77  | 49,45  | 47,23  | 56,3   | 30,21  | 78,26  | 129,67 | 314,69  |
| TOTAL  | 2019,1 | 7207,5 | 3018,5 | 1681,7 | 3398,9 | 1536,4 | 1301,0 | 1025,5 | 1655,3 | 1518,7 | 2490,6 | 3134,8 | 29988,  |
| %      | 6,73   | 24,03  | 10,07  | 5,61   | 11,33  | 5,12   | 4,34   | 3,42   | 5,52   | 5,06   | 8,31   | 10,45  | 100,00  |

D.P.= Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

Quadro A2. Valores mensais, anuais e médios de Erosividade EI30 (Hudson) em Paranavaí (PR), obtidos em 1981-1987, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV    | MAR    | ABR    | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1981   | 534,61 | 269,49 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 354,87 | 0,00   | 0,00   | 746,04 | 743,50 | 322,73 | 2971,2  |
| 1982   | 307,74 | 299,91 | 1030,4 | 0,00   | 0,00   | 783,90 | 344,96 | 0,00   | 0,00   | 411,97 | 645,32 | 1045,4 | 4869,6  |
| 1983   | 1102,1 | 80,33  | 834,98 | 701,80 | 637,30 | 151,51 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 830,46 | 324,64 | 4663,1  |
| 1984   | 520,62 | 98,24  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 89,43  | 662,94 | 788,42 | 519,97 | 2479,1 | 5158,7  |
| 1985   | 184,55 | 619,08 | 137,67 | 127,92 | 267,75 | 142,03 | 65,33  | 0,00   | 0,00   | 207,31 | 0,00   | 0,00   | 1751,6  |
| 1986   | 1332,2 | 236,11 | 1013,3 | 167,13 | 517,88 | 0,00   | 0,00   | 662,47 | 224,48 | 108,70 | 0,00   | 1237,5 | 5499,9  |
| 1987   | 1156,3 | 1367,8 | 0,00   | 150,08 | 0,00   | 95,10  | 322,42 | 0,00   | 209,28 | 1394,3 | 428,88 | 0,00   | 5124,2  |
| MÉDIA  | 734,04 | 424,42 | 430,93 | 163,84 | 203,28 | 167,51 | 155,37 | 107,41 | 156,67 | 522,40 | 452,59 | 772,78 | 4291,2  |
| D.P.   | 420,98 | 418,78 | 463,66 | 230,35 | 255,45 | 259,19 | 162,21 | 228,69 | 227,36 | 453,01 | 311,53 | 828,04 | 1285,75 |
| C.V.   | 57,35  | 98,67  | 107,6  | 140,59 | 125,66 | 154,73 | 104,4  | 212,91 | 145,12 | 86,72  | 145,28 | 107,15 | 29,96   |
| E.P.M. | 159,12 | 158,28 | 175,25 | 87,06  | 96,55  | 97,96  | 61,31  | 86,44  | 85,93  | 171,22 | 117,75 | 312,97 | 486,97  |
| TOTAL  | 5138,2 | 2970,9 | 3016,4 | 1146,9 | 1422,9 | 1172,5 | 1087,5 | 751,90 | 1096,7 | 3656,8 | 3168,1 | 5409,4 | 30038   |
| %      | 17,11  | 9,89   | 10,04  | 3,82   | 4,74   | 3,90   | 3,62   | 2,50   | 3,65   | 12,17  | 10,55  | 18,01  | 100,00  |

D.P. = Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

Quadro A3. Valores mensais, anuais e médios de enxurrada em Ponta Grossa (PR), obtidos em 1979-1993, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV    | MAR    | ABR   | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL  |
|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1979   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 3,38  | 6,81   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 10,19  |
| 1980   | 0,00   | 0,91   | 0,00   | 0,00  | 6,71   | 0,00   | 29,29  | 0,00   | 24,49  | 2,16   | 0,65   | 0,00   | 64,21  |
| 1981   | 7,84   | 49,57  | 0,00   | 3,26  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 4,23   | 11,64  | 16,83  | 91,08  |
| 1982   | 0,00   | 31,52  | 8,08   | 0,00  | 0,00   | 59,07  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 10,13  | 59,09  | 0,00   | 167,89 |
| 1983   | 26,62  | 11,30  | 0,00   | 4,16  | 49,49  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,95   | 0,00   | 0,00   | 93,52  |
| 1984   | 0,00   | 41,69  | 0,00   | 0,00  | 12,86  | 44,84  | 0,00   | 0,00   | 3,58   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 102,97 |
| 1985   | 1,69   | 0,00   | 0,00   | 0,65  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,33   | 0,33   | 0,00   | 0,00   | 3,00   |
| 1986   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 13,23 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 12,84  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 26,07  |
| 1987   | 0,00   | 8,85   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 2,74   | 4,23   | 0,00   | 3,66   | 0,00   | 0,00   | 19,48  |
| 1988   | 0,12   | 0,00   | 0,04   | 2,48  | 13,32  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 15,96  |
| 1989   | 0,00   | 43,76  | 33,13  | 1,54  | 17,47  | 0,00   | 4,70   | 0,12   | 3,25   | 0,06   | 0,00   | 0,00   | 104,03 |
| 1990   | 0,39   | 5,98   | 19,78  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,36   | 0,20   | 0,00   | 0,00   | 26,71  |
| 1991   | 0,00   | 47,05  | 0,00   | 0,00  | 0,14   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,34   | 3,29   | 50,82  |
| 1992   | 0,50   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,07   | 0,04   | 0,06   | 0,67   |
| 1993   | 0,00   | 0,00   | 0,10   | 0,03  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,61   | 3,16   | 20,73  | 24,63  |
| MÉDIA  | 2,48   | 16,04  | 4,08   | 1,92  | 7,12   | 6,93   | 2,45   | 1,15   | 2,13   | 1,56   | 4,99   | 2,73   | 53,42  |
| D.P.   | 6,74   | 19,49  | 9,33   | 3,35  | 12,72  | 17,85  | 7,29   | 3,3    | 6,08   | 2,66   | 14,75  | 6,39   | 47,12  |
| C.V.   | 271,77 | 121,51 | 228,68 | 82,11 | 178,65 | 257,58 | 297,55 | 286,96 | 285,45 | 170,51 | 295,59 | 234,07 | 88,21  |
| E.P.M. | 1,74   | 5,03   | 2,41   | 0,86  | 3,28   | 4,61   | 1,88   | 0,85   | 1,57   | 0,69   | 3,81   | 1,65   | 12,17  |
| TOTAL  | 37,16  | 240,63 | 61,13  | 28,73 | 106,8  | 103,91 | 36,73  | 17,19  | 32,01  | 23,4   | 74,92  | 40,91  | 801,23 |
| %      | 4,64   | 30,03  | 7,63   | 3,59  | 13,33  | 12,97  | 4,58   | 2,15   | 4,00   | 2,92   | 9,35   | 5,11   | 100,00 |

D.P.= Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

Quadro A4. Valores mensais, anuais e médios de enxurrada em Paranavaí (PR), obtidos em 1981-1987, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV   | MAR    | ABR   | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL  |
|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1981   | 30,41  | 5,14  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,06   | 0,00   | 0,00   | 49,34  | 22,30  | 4,35   | 111,60 |
| 1982   | 12,55  | 11,57 | 20,35  | 0,00  | 0,00   | 30,66  | 5,68   | 0,00   | 0,00   | 13,33  | 19,15  | 47,85  | 161,14 |
| 1983   | 30,37  | 1,37  | 34,63  | 19,56 | 10,41  | 4,09   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 29,01  | 3,25   | 132,69 |
| 1984   | 26,87  | 2,23  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,90   | 17,38  | 22,58  | 12,85  | 60,85  | 144,66 |
| 1985   | 9,35   | 18,01 | 1,29   | 2,23  | 5,09   | 2,65   | 2,23   | 0,00   | 0,00   | 2,79   | 0,00   | 0,00   | 43,64  |
| 1986   | 53,04  | 11,57 | 38,94  | 16,15 | 20,35  | 0,00   | 0,00   | 36,28  | 6,13   | 0,90   | 0,00   | 29,61  | 212,97 |
| 1987   | 29,69  | 36,15 | 0,00   | 3,28  | 0,00   | 8,66   | 4,46   | 0,00   | 6,32   | 52,97  | 20,35  | 0,00   | 161,88 |
| MÉDIA  | 27,47  | 12,29 | 13,60  | 5,89  | 5,12   | 6,58   | 1,78   | 5,45   | 4,26   | 20,27  | 14,81  | 20,84  | 138,37 |
| C.V.   | 13,24  | 11,18 | 16,2   | 7,71  | 7,22   | 10,25  | 2,24   | 12,6   | 6,01   | 20,91  | 10,35  | 23,47  | 48,4   |
| D.P.   | 48,2   | 90,97 | 119,12 | 130,9 | 141,02 | 155,78 | 125,84 | 231,19 | 141,08 | 103,16 | 69,89  | 112,62 | 34,98  |
| E.P.M. | 5      | 4,23  | 6,12   | 2,91  | 2,73   | 3,87   | 0,85   | 4,76   | 2,27   | 7,9    | 3,91   | 8,87   | 18,29  |
| TOTAL  | 192,28 | 86,04 | 95,21  | 41,22 | 35,85  | 46,06  | 12,43  | 38,18  | 29,83  | 141,91 | 103,66 | 145,91 | 968,58 |
| %      | 19,85  | 8,88  | 9,83   | 4,26  | 3,70   | 4,76   | 1,28   | 3,94   | 3,08   | 14,65  | 10,70  | 15,06  | 100,00 |

D.P. = Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

Quadro A5. Valores mensais, anuais e médios de perdas de solo em Ponta Grossa (PR), obtidos em 1979-1993, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV    | MAR    | ABR    | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1979   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 2,515  | 3,593  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 6,108  |
| 1980   | 0,000  | 0,460  | 0,000  | 0,000  | 4,438  | 0,000  | 1,778  | 0,000  | 10,820 | 1,011  | 0,355  | 0,000  | 18,862 |
| 1981   | 1,044  | 6,055  | 0,000  | 0,430  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 9,213  | 0,348  | 2,742  | 19,833 |
| 1982   | 0,000  | 8,090  | 4,944  | 0,000  | 0,000  | 16,067 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 1,685  | 8,011  | 0,000  | 38,798 |
| 1983   | 0,247  | 0,034  | 0,000  | 4,640  | 38,618 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,022  | 0,000  | 0,000  | 43,562 |
| 1984   | 0,000  | 1,000  | 0,000  | 0,000  | 4,112  | 3,230  | 0,000  | 0,000  | 0,780  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 9,122  |
| 1985   | 0,025  | 0,000  | 0,000  | 0,070  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,074  | 0,000  | 0,000  | 0,170  |
| 1986   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 6,382  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 4,707  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 11,089 |
| 1987   | 0,000  | 15,827 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 3,313  | 3,693  | 0,000  | 0,791  | 0,000  | 0,000  | 23,625 |
| 1988   | 0,019  | 0,000  | 0,001  | 0,002  | 2,112  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 2,135  |
| 1989   | 0,000  | 10,764 | 13,519 | 0,526  | 3,501  | 0,000  | 0,304  | 0,009  | 0,161  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 28,787 |
| 1990   | 0,007  | 0,182  | 0,669  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,036  | 0,006  | 0,000  | 0,000  | 0,899  |
| 1991   | 0,000  | 3,761  | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,009  | 1,172  | 4,946  |
| 1992   | 0,445  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,003  | 0,588  | 1,037  |
| 1993   | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,046  | 0,496  | 16,944 | 17,490 |
| MÉDIA  | 0,119  | 3,078  | 1,276  | 0,971  | 3,759  | 1,287  | 0,360  | 0,561  | 0,787  | 0,857  | 0,615  | 1,430  | 15,097 |
| D.P.   | 0,275  | 4,773  | 3,495  | 1,913  | 9,472  | 4,031  | 0,905  | 1,439  | 2,689  | 2,286  | 1,983  | 4,209  | 13,417 |
| C.V.   | 231,09 | 155,07 | 273,9  | 197,01 | 251,98 | 313,21 | 277,78 | 256,51 | 341,68 | 116,69 | 322,44 | 294,34 | 88,87  |
| E.P.M. | 0,07   | 1,23   | 0,9    | 0,49   | 2,45   | 1,04   | 0,23   | 0,37   | 0,69   | 0,59   | 0,51   | 1,09   | 3,46   |
| TOTAL  | 1,787  | 46,172 | 19,136 | 14,566 | 56,380 | 19,298 | 5,396  | 8,409  | 11,798 | 12,853 | 9,222  | 21,445 | 226,46 |
| %      | 0,79   | 20,39  | 8,45   | 6,43   | 24,90  | 8,52   | 2,38   | 3,71   | 5,21   | 5,68   | 4,07   | 9,47   | 100,00 |

D.P.= Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

Quadro A6. Valores mensais, anuais e médios de perdas de solo em Paranavaí (PR), obtidos em 1981-1987, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

| ANO    | JAN    | FEV    | MAR    | ABR    | MAI    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1981   | 3,750  | 2,620  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,565  | 0,000  | 0,000  | 4,267  | 2,541  | 0,546  | 14,289 |
| 1982   | 3,830  | 1,443  | 6,122  | 0,000  | 0,000  | 7,767  | 4,170  | 0,000  | 0,000  | 4,507  | 11,996 | 17,046 | 56,880 |
| 1983   | 13,457 | 2,139  | 23,807 | 10,278 | 3,811  | 1,154  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 12,107 | 1,326  | 68,078 |
| 1984   | 4,967  | 0,191  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,535  | 4,404  | 4,487  | 3,448  | 26,178 | 44,211 |
| 1985   | 1,396  | 8,722  | 2,091  | 0,035  | 3,259  | 1,524  | 1,230  | 0,000  | 0,000  | 0,393  | 0,000  | 0,000  | 18,650 |
| 1986   | 16,787 | 6,565  | 2,541  | 1,291  | 10,341 | 0,000  | 0,000  | 1,948  | 0,083  | 0,204  | 0,000  | 8,200  | 47,961 |
| 1987   | 6,683  | 4,370  | 0,000  | 0,443  | 0,000  | 2,080  | 0,248  | 0,000  | 1,870  | 15,289 | 7,093  | 0,000  | 38,076 |
| MÉDIA  | 7,267  | 3,721  | 4,937  | 1,721  | 2,487  | 1,789  | 0,888  | 0,355  | 0,908  | 4,164  | 5,312  | 7,614  | 41,164 |
| D.P.   | 5,254  | 2,8    | 7,968  | 3,521  | 3,561  | 2,561  | 1,402  | 0,676  | 1,564  | 4,946  | 4,805  | 9,557  | 17,99  |
| C.V.   | 72,3   | 75,25  | 161,39 | 204,59 | 143,18 | 143,15 | 157,88 | 190,42 | 172,25 | 118,78 | 90,46  | 125,52 | 43,7   |
| E.P.M. | 1,99   | 1,06   | 3,01   | 1,33   | 1,35   | 0,97   | 0,53   | 0,26   | 0,59   | 1,87   | 1,82   | 3,61   | 6,8    |
| TOTAL  | 50,870 | 26,050 | 34,561 | 12,048 | 17,411 | 12,526 | 6,213  | 2,483  | 6,357  | 29,148 | 37,185 | 53,296 | 288,14 |
| %      | 17,65  | 9,04   | 11,99  | 4,18   | 6,04   | 4,35   | 2,16   | 0,86   | 2,21   | 10,12  | 12,90  | 18,50  | 100,00 |

D.P.= Desvio Padrão C.V. = Coeficiente de Variação E.P.M. = Erro Padrão da Média

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Perfil Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa  
Ponta Grossa - Paraná  
Amostra de Laboratório nº 93.0676/0680 - IAPAR

| Horizontes |                 | Frações da da Amostra total % |                  |                                      | Composição granulométrica da terra fina % |                                |                       |                               | Argila dispersa em água % | Grau de floculação %                              | % Silte % Argila                                 | Densidade g/cm <sup>3</sup>                                     |                                          | Porosidade % (volume)                |
|------------|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Símbolo    | Profundidade cm | Calhaus > 20 mm               | Cascalho 20-2 mm | Terra Fina < 2mm                     | Areia grossa 2-0,20 mm                    | Areia fina 0,20-0,05 mm        | Silte 0,05 - 0,002 mm | Argila < 0,002 mm             |                           |                                                   |                                                  | Aparente                                                        | Real                                     |                                      |
| Ap1        | 0 - 14          | 0                             | 0                | 100                                  | 6                                         | 30                             | 64                    |                               |                           | 0,47                                              |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| Ap2        | 14 - 32         | 0                             | 0                | 100                                  | 6                                         | 19                             | 75                    |                               |                           | 0,25                                              |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| AB         | 32 - 60         | 0                             | 0                | 100                                  | 6                                         | 14                             | 80                    |                               |                           | 0,17                                              |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| BA         | 60 - 120        | 0                             | 0                | 100                                  | 6                                         | 13                             | 81                    |                               |                           | 0,16                                              |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| Bw         | 120 - 160+      | 0                             | 0                | 100                                  | 5                                         | 16                             | 79                    |                               |                           | 0,20                                              |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| Horizontes | pH (1:2,5)      |                               | Complexo         |                                      |                                           |                                |                       | Sortivo meq/100g              |                           |                                                   | Valor V                                          |                                                                 | P assimilável ppm                        |                                      |
|            | Água            | KCL 1N                        | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup>                     | K <sup>+</sup>                            | Na <sup>+</sup>                | Valor S (soma)        | Al <sup>3+</sup>              | H <sup>+</sup>            | Valor T (soma)                                    | Saturação de Bases %                             | 100 Al <sup>3+</sup> S + Al <sup>3+</sup>                       |                                          |                                      |
| Ap1        | 4,9             | 4,0                           | 1,9              | 0,6                                  | 0,11                                      | 0,02                           | 2,6                   | 2,7                           | 10,2                      | 15,5                                              | 17                                               | 51                                                              | 4                                        |                                      |
| Ap2        | 4,8             | 3,9                           | 1,0              | 0,3                                  | 0,08                                      | 0,02                           | 1,4                   | 2,9                           | 9,3                       | 13,6                                              | 10                                               | 67                                                              | 1                                        |                                      |
| AB         | 4,9             | 4,0                           | 0,8              | 0,5                                  | 0,04                                      | 0,02                           | 1,4                   | 2,1                           | 6,8                       | 10,3                                              | 13                                               | 60                                                              | 1                                        |                                      |
| BA         | 5,0             | 4,0                           |                  | 0,4                                  | 0,04                                      | 0,01                           | 0,4                   | 0,4                           | 5,3                       | 6,1                                               | 6                                                | 50                                                              | 1                                        |                                      |
| Bw         | 5,6             | 4,7                           |                  | 0,5                                  | 0,05                                      | 0,01                           | 0,2                   | 0,2                           | 3,1                       | 3,9                                               | 15                                               | 25                                                              | 1                                        |                                      |
| Horizontes | C (orgânico) %  | N %                           | C / N            | Ataque por                           |                                           |                                |                       |                               |                           | SiO <sub>3</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> livre (%) | Equivalente de CaCO <sub>3</sub> (%) |
|            |                 |                               |                  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1) |                                           |                                | NaOH (0,8%)           |                               |                           |                                                   |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
|            |                 |                               |                  | SiO <sub>2</sub>                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub>      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO                       |                                                   |                                                  |                                                                 |                                          |                                      |
| Ap1        | 2,47            | 0,23                          | 11               | 13,3                                 | 29,8                                      | 11,6                           | 1,12                  |                               |                           | 0,76                                              | 0,61                                             | 4,03                                                            |                                          |                                      |
| Ap2        | 2,42            | 0,22                          | 11               | 14,0                                 | 29,1                                      | 12,2                           | 1,08                  |                               |                           | 0,82                                              | 0,64                                             | 3,74                                                            |                                          |                                      |
| AB         | 1,68            | 0,14                          | 12               | 11,8                                 | 30,5                                      | 12,3                           | 1,16                  |                               |                           | 0,66                                              | 0,52                                             | 3,89                                                            |                                          |                                      |
| BA         | 1,02            | 0,13                          | 8                | 12,6                                 | 30,8                                      | 13,0                           | 1,25                  |                               |                           | 0,69                                              | 0,55                                             | 3,72                                                            |                                          |                                      |
| Bw         | 0,50            | 0,08                          | 6                | 17,3                                 | 31,0                                      | 13,7                           | 1,32                  |                               |                           | 0,95                                              | 0,74                                             | 3,55                                                            |                                          |                                      |

A7. Resultados das Análises Física e Química do Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Grossa - PR

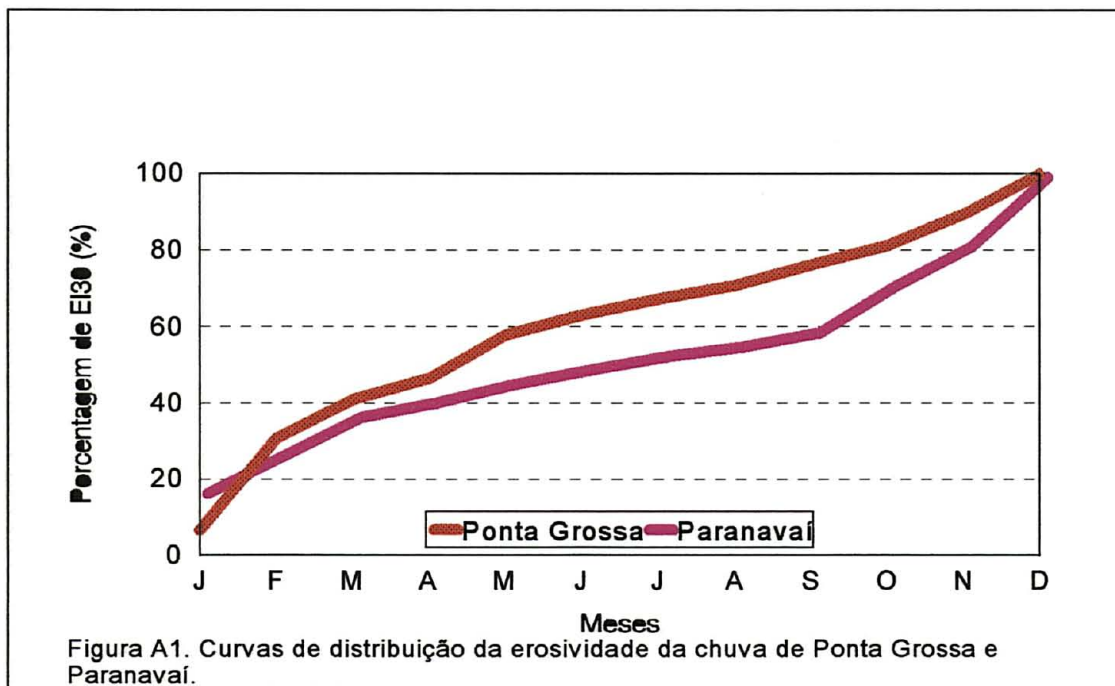


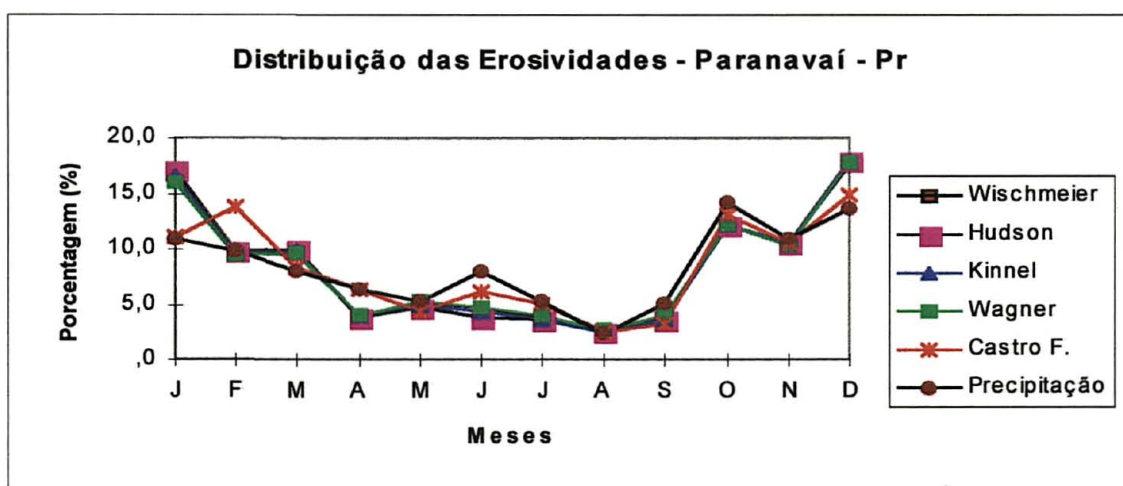
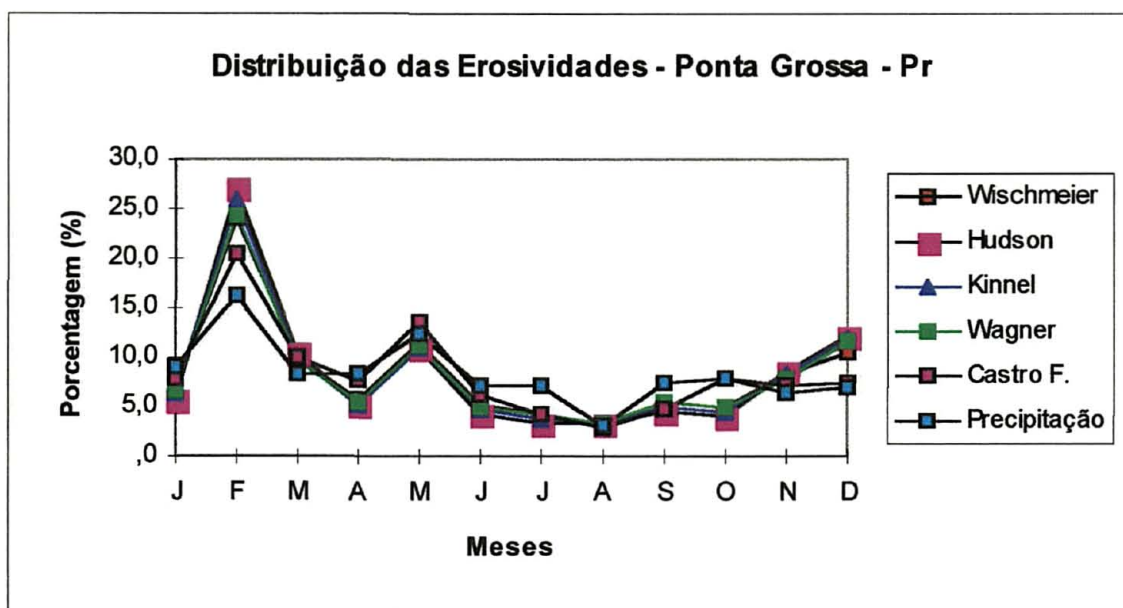
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Perfil Latossolo Vermelho-Escuro, textura média  
Paranavaí - Paraná  
Amostra de Laboratório nº 93.0664/0668 - IAPAR

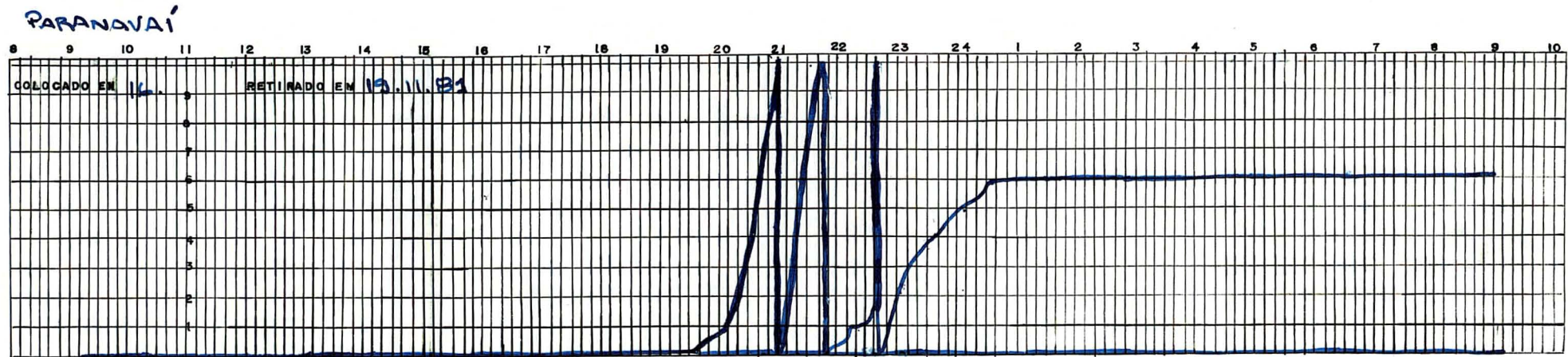
| Horizontes |                 | Frações da da Amostra total % |                           |                                      | Composição granulométrica da terra fina % |                                |                       |                               | Argila dispersa em água % | Grau de floculação %           | % Silte                       |                                  | Densidade g/cm <sup>3</sup>    |                                      | Porosidade % (volume) |
|------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Símbolo    | Profundidade cm | Calhaus > 20 mm               | Cascalho 20-2 mm          | Terra Fina < 2mm                     | Areia grossa 2-0,20 mm                    | Areia fina 0,20-0,05 mm        | Silte 0,05 - 0,002 mm | Argila < 0,002 mm             |                           |                                | % Argila                      | Aparente                         | Real                           |                                      |                       |
| Ap1        | 0 - 15          | 0                             | 0                         | 100                                  | 89                                        |                                | 2                     | 9                             |                           |                                | 0,22                          |                                  |                                |                                      |                       |
| Ap2        | 15 - 22         | 0                             | 0                         | 100                                  | 84                                        |                                | 2                     | 14                            |                           |                                | 0,14                          |                                  |                                |                                      |                       |
| AB         | 22 - 40         | 0                             | 0                         | 100                                  | 80                                        |                                | 2                     | 18                            |                           |                                | 0,11                          |                                  |                                |                                      |                       |
| BA         | 40 - 104        | 0                             | 0                         | 100                                  | 82                                        |                                | 2                     | 16                            |                           |                                | 0,12                          |                                  |                                |                                      |                       |
| B          | 104 - 150       | 0                             | 0                         | 100                                  | 81                                        |                                | 2                     | 16                            |                           |                                | 0,19                          |                                  |                                |                                      |                       |
| Horizontes | pH (1:2,5)      |                               | Complexo Sortivo meq/100g |                                      |                                           |                                |                       |                               | Valor V                   |                                | 100 Al <sup>3+</sup>          | P assimilável ppm                |                                |                                      |                       |
|            | Água            | KCL 1N                        | Ca <sup>2+</sup>          | Mg <sup>2+</sup>                     | K <sup>+</sup>                            | Na <sup>+</sup>                | Valor S (soma)        | Al <sup>3+</sup>              | H <sup>+</sup>            | Valor T (soma)                 | Saturação de Bases %          |                                  | S + Al <sup>3+</sup>           |                                      |                       |
| Ap1        | 5,7             | 4,3                           | 0,5                       |                                      | 0,19                                      | 0,02                           | 0,7                   | 0                             | 1,5                       | 2,2                            | 32                            | 0                                | 5                              |                                      |                       |
| Ap2        | 5,0             | 4,0                           | 0,5                       |                                      | 0,09                                      | 0,02                           | 0,6                   | 0,5                           | 1,2                       | 2,3                            | 26                            | 45                               | 2                              |                                      |                       |
| AB         | 5,1             | 4,0                           | 0,6                       | 0,4                                  | 0,02                                      | 0,01                           | 1,0                   | 0,2                           | 1,2                       | 2,4                            | 42                            | 17                               | 2                              |                                      |                       |
| BA         | 4,8             | 4,0                           | 0,3                       |                                      | 0,01                                      | 0,01                           | 0,3                   | 0,6                           | 0,8                       | 1,7                            | 18                            | 67                               | 1                              |                                      |                       |
| B          | 4,7             | 3,9                           | 0,3                       |                                      | 0,01                                      | 0,01                           | 0,3                   | 0,8                           | 0,6                       | 1,7                            | 18                            | 73                               | 1                              |                                      |                       |
| Horizontes | C (orgânico) %  | N %                           | C / N                     | Ataque por                           |                                           |                                |                       |                               |                           | SiO <sub>3</sub> /             | SiO <sub>2</sub> /            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Equivalente de CaCO <sub>3</sub> (%) |                       |
|            |                 |                               |                           | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1) |                                           |                                | NaOH (0,8%)           |                               |                           | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | livre (%)                      |                                      |                       |
| Ap1        | 0,37            | 0,08                          | 5                         | SiO <sub>2</sub>                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub>      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO                       | 2,27                           | 1,59                          | 2,55                             |                                |                                      |                       |
| Ap2        | 0,40            | 0,07                          | 6                         | 4,0                                  | 3,0                                       | 2,0                            | 0,42                  |                               |                           | 2,14                           | 1,54                          | 2,54                             |                                |                                      |                       |
| AB         | 0,28            | 0,06                          | 5                         | 5,3                                  | 4,2                                       | 2,6                            | 0,36                  |                               |                           | 2,32                           | 1,71                          | 2,81                             |                                |                                      |                       |
| BA         | 0,16            | 0,05                          | 3                         | 7,1                                  | 5,2                                       | 2,9                            | 0,44                  |                               |                           | 1,95                           | 1,51                          | 3,39                             |                                |                                      |                       |
| B          | 0,14            | 0,05                          | 3                         | 6,2                                  | 5,4                                       | 2,5                            | 0,47                  |                               |                           | 2,01                           | 1,55                          | 3,42                             |                                |                                      |                       |

A8. Resultados das Análises Física e Química do Latossolo Vermelho-Escuro de Paranavaí - PR





Figuras A2. Distribuição das Erosividades de Ponta Grossa e Paranaíba.



| Data     | Horário | Tempo de Precipitação | Volume Precipitado | Precipitação Acumulada |      |
|----------|---------|-----------------------|--------------------|------------------------|------|
| 18.11.81 | 19:37   | 19:41                 | 0:02               | 0,1                    | 0,1  |
|          | 19:41   | 20:07                 | 0:26               | 0,7                    | 0,8  |
|          | 20:07   | 20:35                 | 0:28               | 3,3                    | 4,1  |
|          | 20:35   | 21:42                 | 1:07               | 15,9                   | 20   |
|          | 21:42   | 21:58                 | 0:16               | 0,2                    | 20,2 |
|          | 21:58   | 22:10                 | 0:12               | 0,2                    | 20,4 |
|          | 22:10   | 22:15                 | 0:05               | 0,6                    | 21   |
|          | 22:15   | 22:30                 | 0:15               | 0,1                    | 21,1 |
|          | 22:30   | 22:39                 | 0:09               | 0,4                    | 21,5 |
|          | 22:39   | 22:41                 | 0:02               | 8,5                    | 30   |
|          | 22:41   | 22:50                 | 0:09               | 0,5                    | 30,5 |
|          | 22:50   | 23:00                 | 0:10               | 1,6                    | 32,1 |
|          | 23:00   | 23:10                 | 0:10               | 0,9                    | 33   |
|          | 23:10   | 0:05                  | 0:55               | 2                      | 35   |
| 0:05     | 0:20    | 0:15                  | 0,4                | 35,4                   |      |
| 0:20     | 0:29    | 0:09                  | 0,3                | 35,7                   |      |
| 0:29     | 0:31    | 0:02                  | 0,2                | 35,9                   |      |
| 0:31     | 1:00    | 0:29                  | 0,1                | 36                     |      |

Região selecionada para obter o I30 Tradicional  
Precipitação de 11,4 mm em 30 minutos  
Correspondendo a um I30 de 22,8 mm/h

Regiões selecionadas para o obter o I30 Padronizado  
Precipitação de 15,8 mm em 30 minutos  
Correspondendo a um I30 de 31,6 mm/h

Figura A3 - Pluviograma exemplificando as formas tradicional e padronizada de obtenção do I30

## 7 LITERATURA CITADA

- AL-DURRAH, M. & BRADFORD, J.M. 1981. New methods of studying soil detachment due to waterdrop impact. **Soil Sci. Soc. of Amer. Journal**. Madison, 45:949-953
- BAJRACHARYA, R.M. & LAL, R. 1992. Seasonal soil loss and erodibility variation on a Miamian silt loam soil. **Soil Sci. Soc. Amer. Journal**, Madison, 56(5):1560-1565
- BARNETT, A.P. 1958 How intense rainfall affects runoff and soil erosion. **Agricultural Engineering**, 703-707 e 711.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. 1990. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, 355 p.
- BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L.; HENKLAIN, J.C. 1981. Cálculo da erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 5(3):183-186
- BROWN, L.C. & FOSTER, G.R. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, 30(2):379-386
- BROWNING, G.M.; PARISH, C.L. & GLASS, J.A. 1947. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. **J. of the Amer. Soc. of Agronomy**. 39:65-73
- BRYAN, R.B. 1968/1969. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. **Geoderma**., Amsterdam, 2(1):5-26

- CANTALICE, J.R.B. 1991. **Erosividade das chuvas do Estado de Pernambuco**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1991, 97 p., mimeografado (Dissertação de Mestrado)
- CARVALHO, M.P. 1992. **Fator erosividade da chuva-enxurrada para chuvas individuais do Estado de São Paulo**. Botucatu, São Paulo, 1992, 96 p. (Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu/UNESP)
- CARVALHO, M.P. 1987. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa-SP**. Piracicaba, São Paulo, 1987, 104 p. (Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. e LOMBARDI NETO, F. 1993. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo distrófico de Campinas (SP). **R. Bras.Ci. do Solo**, Campinas, 17(3 ):445-450
- CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. 1989. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um podzólico vermelho-amarelo eutrófico, textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **R.Bras.Ci. do Solo**, Campinas, 13(2):237-242.
- CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A. & BISCAIA, R.C.M. 1982. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 6(3):240-241

- COGO, N.P. 1977. **Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. II. Alguns conceitos básicos e modelo de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água. (1ª aproximação)**, Faculdade de Agronomia, UFRGS., Porto Alegre, 9 p. (mimeografado)
- COOTE, D.R., MALCOLM-McGOVERN, C.A., WALL, G.J., DICKENSON & RUDRA, R.P. 1988. Seasonal variation of erodibility indices based on shear strength and aggregate stability in some Ontario soils. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, Ontario, 68(2):405-416
- DENARDIN, J.E. 1990. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, São Paulo, 1990, 81p. (Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- EKERN, P.C. 1950. Raindrop impact as the force initiating soil erosion. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, 15(1):7-10
- ELWELL, H. 1978. Destructive potential of Zimbabwe/Rhodesia rainfall. **Rhodesian Agricultural Journal**, 76:227-232
- FERNANDEZ MEDINA, B. e OLIVEIRA JUNIOR, R.C.A. 1987. aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (AM). **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 11(1):67-70
- FOSTER, G.R.; LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. 1982. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 25(1):124-129

- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metrics units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 36(6):355-359
- FOSTER, G.R. & MEYER, L.D. 1975. Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In: PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELDS AND SOURCES, 1, 1972, Oxford. **Proceedings...** Oxford:United States Agricultural
- FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. & ONSTAD, C.A. 1977. An erosion equation derived from basic erosion principles. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 20(4):678-682
- GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Duxbury Press, 1976. 704p.
- HOFFMAN, R. e VIEIRA, S. 1977. **Análise de regressão - uma introdução à econometria**. São Paulo, EDUSP, 1977, 339p.
- HUDSON, N.W. 1973. **Soil Conservation**. 2ª ed. Ithaca, Cornell University Press, 320p.
- IAPAR, 1978. **Fundação Instituto Agrônômico do Paraná**. Cartas Climáticas do Estado do Paraná. Londrina, 41p.
- IAPAR, 1979. **Fundação Instituto Agrônômico do Paraná**, Relatório Técnico Anual 1978. Londrina, IAPAR, 1979, p.205-218
- KINNELL, P.I.A. 1973. The problem of assessing the erosive power of rainfall from meteorological observations. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, 37(4):617-621



- KINNELL, P.I.A. 1981. Rainfall intensity - kinetic energy relationships for soil loss prediction. **Soil Sci. Soc. Am. Journal**, Madison, 45:153-155
- KINNELL, P.I.A. & WOOD, J.T. 1992. Isolating erosivity and erodibility components in erosion by rain-impacted flow. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 35(1):201-205
- KOK, H., & McCOOL, D.K. 1990. Quantifying freeze/thaw-induced variability of soil strength. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 33(2):501-511
- KOWAL, J.M. & KASSAM, A.H. 1976. Energy load and instantaneous intensity of rainstorms at Samaru, Northern Nigeria. **Tropical Agriculture**, Trinidad, 53(3):185-198
- LAL, R. 1988. Erodibility and Erosivity. In.: Lal, R. (ed). **Soil erosion research methods**. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 244 p., 141-160.
- LAL, R. 1976. Soil erosion an Alfisol in Western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics, **Geoderma**, Amsterdam, 16(1):389-401
- LAL, R. 1978. Soil conservation and management in the tropics: research priorities. In: **Anais do II Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo**. Passo Fundo, 1978, 481 p., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - CNPT, p. 5-18
- LAL, R., LAWSON, T.L. & ANASTASE, A.H. 1980. Erosivity of tropical rains. In: BOODT, M. de E GABRIELS, D. **Assessment of erosion**. John Wiley & Sons, Great Britain, 1980, 563 p., 143-151
- LAL, R. 1977. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. In: **Soil conservation and management in the humid tropics**. Edited by GREENLAND, D.J. e R. LAL., John Wiley & Sons Publications, 1977 reprinted 1979 e 1981, Great Britain, 283 p., 49-56.

- LAWS, J. 1940. Recent studies in raindrops and erosion. **Agri. Engr.** 21:431-433
- LAWS, J. 1941. Measurements of the fall-velocities of waterdrops and raindrops. **Trans. of the Geophys. Union**, Washington, 22:709-721
- LAWS, J. & PARSONS, D.A. 1943. The relation of raindrop-size to intensity. **Trans. of the Geophys. Union**. Washington, 24:452-460.
- LOMBARDI NETO, F. 1977. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. West Lafayette, Univerity of Purdue, 1977, 53 p. (Dissertação Master of Science)
- LOMBARDI NETO, F. 1979. **Universal soil loss equation (USLE), runoff erosivity factors, slope length exponent, and slope steepness exponent for individual storms**. (Tese Doctor of Philosophy ) Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1979, 128p.
- MAACK, R. 1968. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba, CODEPAR, 350 p.
- McCOOL, D.K.; BROWN, L.C.; FOSTER, G.R.; MUTCHLER, C.K. & MEYER, L.D. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transaction ASAE**. St. Joseph, 30(5):1387-1396
- MERRIT, E. 1984. The identification of four stages during microrill development. **Earth Surf. Proc. Landf.**, Sussex, 9:493-496
- MEYER, L.D. 1984, Evolution of the universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, Iowa, 39(2):99-104

- MEYER, L.D.; FOSTER, G.R. & RÖMKENS, M.J.M. 1975. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELDS AND SOURCES, 1, 1972, Oxford. **Proceedings...** Oxford: United States Agricultural Research Service, 1975. p.177-189
- MEYER, L.D. & WISCHMEIER, W.H. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 12(6):754-758, 762
- MONDARDO, A. et al. 1978. Índices de erodibilidade de alguns solos do Estado do Paraná. In: **Anais do II Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo**. Passo Fundo, 1978, 481 p., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - CNPT, p.199-201.(Esta descrição não continha os nomes dos demais autores)
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. 1988. Índices de erosividade correlacionados com as perdas de solo no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 12(3):281-284
- MORAIS, L.F.B. de, SILVA, V. da, NASCHENVENG, T.M. da, HARDOIN, P.C., ALMEIDA, J.E.L. de, WEBER, O.L. dos S., BOEL, E. e DURIGON, V. 1991. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do Sudoeste do Mato Grosso. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 15(3):339-344.
- MORGAN, R.P.C. 1986. **Soil erosion and conservation**. Edited by D.A.Davidson, Longman, Hong Kong, 298 p.

- MUSGRAVE, G.W. 1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion - a first approximation. **Journal Soil and Water Conservation**. Ankeny, 2(3):133-138
- MUTCHLER, C.K. & CARTER, C.E. 1983. Soil erodibility variation during the year. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 26(4):1102-1104
- MUTCHLER, C.K., MURPHREE, C.E. & McCREGOR, K.L. 1982. Subfactor method for computing C factors for continuous cotton. **Transaction of the ASAE.**, St. Joseph, 25(2):327-332.
- MUTCHLER, C.K. & YOUNG, R.A. 1975. Soil detachment by raindrops. In: PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELDS AND SOURCES, 1, 1972, Oxford. **Proceedings...** Oxford: United States Agricultural Research Service, 1975. p.113-117
- PARANÁ, 1994. **Secretaria da Agricultura e do Abastecimento**. Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo. 2.ed., Curitiba. 372p. ilustr.
- PEARCE, A.J. 1976. Magnitud and frequency of erosion by Hortonian overland flow. **Journal Geol.**, 84:65-80
- PEREIRA, W. 1977. **Avaliação da erosividade das chuvas em diferentes locais do Estado de Minas Gerais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1977. 73p. mimeografado. (Dissertação de Mestrado)
- RENARD, K.G., McCOOL, D.K., COOLEY, K.R., MUTCHLER, C.K., FOSTER, G.R. e ISTOK, J.D. 1991. Rainfall-Runoff Erosivity Factor. In: **Predicting soil erosion by water - a guide to conservations planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**, RENARD, K.G.;

- FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. e McCOOL, D.K. (Coord.) Cap. 2, 1991, 334 p.
- RISSE, L.M., NEARING, A.D., NICKS, A.D. e LAFLEN, J.M. 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Sci. Soc. Amer. Journal**, 57(3):825-833
- RÖMKENS, M.J.M. 1985. The soil erodibility factor: A perspective. In: S.A. EL-SWAIFY, W.C. MOLDENHAUER and A. LO, (eds), **Soil Erosion and Conservation**, p.445-461
- RÖMKENS, M.J.M; YONG, R.A.; POESEN, J.W.A.; McCOOL, D.K.; EL-SWAIFY, S.A e BRADFORD, J.M. 1991. The USLE soil erodibility factor. In: **Predicting soil erosion by water - a guide to conservations planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**, RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. e McCOOL, D.K. (Coord.), Cap. 3, 1991, 334 p.
- RUFINO, R.L., BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G.H. 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 17(3):439-444.
- SALEHI, F., PESANT, A.R. & LAGACÉ, R. 1991. Validation of the universal Soil Loss Equation for Three cropping systems under natural rainfall in Southeastern Quebec., **Canadian Agricultural Engineering**. 33(1):11-16.
- SCHULTZ, J.P.; JARRET, A.R. & HOOVER, J.R. 1985. Detachment and splash of a cohesive soil by rainfall. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 28(6):1878-1884

- STOCKING, M.A. & ELWELL, H.A. 1973. Prediction of subtropical storm soil losses from field plot studies. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, 12:193-201.
- VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C. & DIAS JUNIOR, M.S. 1986. Erosividade das chuvas em Lavras (MG). **Ci. e Prát.**, Lavras, 10(2):199-209
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. 1988. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, 12(3):197-203
- WILKINSON, G.E. 1975. Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of Western Nigeria. **Expl. Agric.**, Great Britain, 2:247-255
- WISCHMEIER, W.H. 1959. A rainfall index for a Universal Soil Loss Equation. **Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.**, Madison, 23(3):246-249
- WISCHMEIER, W.H. 1972. Upslope erosion analysis. In: SHEEN, H.W. (ed.) **Environmental Impact on Rivers**. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1-26p
- WISCHMEIER, W.H. 1976. Use and misuse of the Universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 31(1):5-9
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. 1969. Relations of soil properties to its erodibility. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 33(1):131-137
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning**. Washington. USDA, Depart. of Agriculture, 1978, 58p. (Agriculture Handbook n 537)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1965. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - guide for selection of**

- practices for soil and water conservation.** Washington: USDA, Depart. of Agriculture, 1965, 47 p. (Agriculture Handbook n 282)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction of the American Geophysical Union**, Washington, 39(2):285-291
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. & UHLAND, R.E. 1958. Evaluation of factors in the soil-loss equation. **Agricultural Engineering**. 39:458-462, 474
- YOUNG, R.A., RÖMKENS, M.J.M. & McCOOL, D.K. 1990. Temporal variations in soil erodibility. In: BRYAN, R.B. (ed.) **Soil erosion: experiments and models**. Cremlingen. Catena supplement 17, 41-53
- YOUNG, R.A. & WIERSMA, J.L. 1973. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resour. Res.**, Morris, 9(6):1629-1636
- ZANCHI, C. 1983. Influenza dell'azione battente della pioggia e del ruscellamento nel processo erosivo e variazioni dell'erodibilità del suolo nei diversi periodi stagionali. **Annali Istituto sperimentale studio e difesa suolo** - Firenze, vol. XIV:347-358.
- ZANCHI, C. & TORRI, D. 1980. Evaluation of rainfall energy in Central Italy. In: **Assessment of erosion**. Edited by BOODT, M. de; GABRIELS, D. John Wiley & Sons, Great Britain, 1980, 563 p., 133-142.