EROSIVIDADE DA CHUVA. DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM A PERDA DE
SOLO PARA PINDORAMA, SÃO PAULO, BRASIL.

.DOMINGO ALBERTO SOSA

Orientador: Prof.Dr. Julio Vasques Filho

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de
Concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

.PIRACICABA

Estado de São Paulo-Brasil

Março-1987

À memória de meu pai,
minha mãe, irmãos e
esposa,
dedico-lhes com amor.

AGRADECIMENTOS

- . Ao Prof.Dr. Júlio Vasques Filho, pela orientação do trabalho.
- . Ao Dr. Francisco Lombardi Neto, pela colaboração.
- . Ao Engº Agrº A. Cataneo, pela sua colaboração através do programa computacional e pela análise estatística, executados no Centro de Informática na Agricultura, CINAG, UNESP, Botucatu, SP.
- . À Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas, por permitir a utilização dos dados da Estação Experimental de Pindorama.
- . À seção de Climatologia, do Instituto Florestal de São Paulo, por permitir o uso do digitalizador para a leitura dos pluviogramas.
- . A Lúcia Helena Godinho e Wilson Roberto Jenn, do Centro de Informática na Agricultura, CINAG, Botucatu, pela colaboração na digitação dos dados.
- . Ao Engº Agrº André E. L. Reyes, pela realização das tabelas e figuras, através do computador, no CIAGRI, ESALQ.
- . Ao Engº Agrº Manuel E. G. Guandique, pela colaboração no término e entrega do trabalho.

. A todos aqueles, que de uma forma ou outra, fizeram com que o trabalho chegasse ao fim e fosse apresentado, agradeço infinitamente.

. Obrigado Nelci.

SOSA

ÍNDICE

Pág.

RESUMO	xv
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)	4
2.2. O índice de erosividade (EI_{30})	8
2.3. O índice de erosividade $KE > 25$	17
2.4. Probabilidade de ocorrência e período de re- torno do índice de erosividade	18
2.5. Correlação entre características da chuva e perda de solo	24
2.6. Coeficiente de chuva	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Material utilizado	33
3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados	33
3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizado..	34
3.1.3. Parcela de campo representativa do so- lo e sistema coletor de solo e enxur - rada	34
3.1.4. Computador e programa para cálculo das características da chuva individual erosiva	35

3.1.5. Dados pluviométricos utilizados ...	36
3.1.6. Digitalizador ou leitor de curvas .	36
3.2. Método empregado	37
3.2.1. Determinação do número total de chuvas individuais erosivas estuda- das	37
3.2.2. Cotamento, obtenção e digitação dos dados após selecionar e separar os pluviogramas	38
3.2.3. Determinação das características es- tudadas das chuvas individuais <u>erosi</u> vas	39
3.2.3.1. Energia cinética total	40
3.2.3.2. Tempo de duração e precipi- tação total	42
3.2.3.3. Energia cinética para inten- sidades maiores do que 25,0 mm/ha ($KE > 25$).....	42
3.2.3.4. Intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos va- riando de 5 até 60	42

3.2.3.5. Produtos da energia cinética total pelas intensidades má- ximas (EI_n) de cinco em cin- co minutos variando de 5 até 60	44
3.2.4. Coleta do solo	44
3.2.5. Estudo de correlações	45
3.2.5.1. Características das chuvas versus perdas de solo	45
3.2.6. Caracterização da erosividade da chu- va	47
3.2.6.1. Índice de erosividade EI_{30} mensal	47
3.2.6.2. Índice de erosividade EI_{30} anual	47
3.2.6.3. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosivi- dade da chuva (R)	48
3.2.6.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de re- torno dos valores dos índi- ces de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos ín- dices de erosividade para chuvas individuais	48

3.2.7. Coeficiente de chuva: cálculo de correlação com o índice de erosividade EI ₃₀ médio mensal	52
3.2.8. Conversão de unidades	53
4. RESULTADOS	54
4.1. Estudo de correlações	54
4.1.1. Características das chuvas versus perda de solo	54
4.2. Caracterização da erosividade da chuva	59
4.2.1. Índice de erosividade EI ₃₀ média anual ou fator erosividade da chuva $\lambda(R)$ de Pindorama-SP	59
4.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva	62
4.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva.....	62
4.2.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva	66
4.2.3. Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano	68

4.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais	71
4.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual	71
4.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais	74
4.3. Coeficiente de precipitação: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal	77
5. DISCUSSÃO	82
5.1. Estudo de correlações	82
5.1.1. Características das chuvas versus perdas de solo	82
5.2. Caracterização da erosividade das chuvas	84
5.2.1. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator de erosividade da chuva (R).....	84

5.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva	86
5.2.2.1. Distribuição anual, estacional e mensal da precipitação e da erosividade da chuva	86
5.2.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva....	90
5.2.3. Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano	91
5.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais	92
5.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores de erosividade anual	92
5.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais	95
5.3. Coeficiente de precipitação: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal	96

6. CONCLUSÕES	98
LITERATURA CITADA	101

LISTA DE TABELAS

Pág.

1 - Quantidade média mensal e anual de perda de solo para os dois tratamentos de preparo do solo das parcelas em Pindorama-SP, durante o período 1980 a 1985	55
2 - Coeficiente linear (a), de regresso (b) e de correlação (r) das equações de regressão linear simples entre as características da chuva e enxurrada e as perdas de solo. Análise de 231 chuvas ocorridas entre o ano de 1970 a 1985, em duas condições de preparo de solo, uma com grade pesada e a outra com arado escarificador, com milho como cobertura, para Pindorama-SP	56
3 - Valores mensais e anuais do Índice de Erosividade de EI_{30} e fator erosividade de chuva (MJ.mm/ha.h.ano) de Pindorama-SP, durante o período de 1970 a 1985	60

4 - Quantidade anual de chuvas (mm) e índice de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano) durante o período de 1970 a 1985 de Pindorama-SP	62
5 - Distribuição da precipitação pluviométrica mensal e anual de Pindorama-SP, durante o período de 1970 a 1985	64
6 - Distribuição mensal e estacional do índice de erosividade de Pindorama-SP, durante o período de 1970 a 1985	67
7 - Frequência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 16 anos de registro de dados, de 1970 a 1985, de Pindorama-SP.	69
8 - Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano), dos valores dos índices de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano) de Pindorama-SP, durante o período de 1970 a 1985	72
9 - Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano), dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (MJ.mm/ha.h.ano) de Pindorama-SP, durante o período de 1970 a 1985..	75

10 - Valores médios mensais e médias anuais de precipitação pluviométrica (mm), e índices de erosividade calculados e estimados (MJ.mm/ha.h), obtidos durante os anos 1970 a 1985 de Pindorama-SP	80
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1A - Curva do Índice de Erosividade	65
1B - Curva das precipitações pluviométricas	65
2 - Curva do índice de erosividade acumulada	70
3 - Curva de prob. x índice de erosividade anual	73
4 - Curva de prob. x erosividade-cguvas individuais..	76
5 - Curva EI-30 m.mensal x coeficiente precipitação .	79

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM AS PERDAS DE
SOLO DE PINDORAMA - SP

Candidato: DOMINGO ALBERTO SOSA

Orientador: Prof.Dr. Julio Vasques Filho

RESUMO

Foi estudada a erosividade da chuva de Pindorama através da metodologia de WISCHMEIER e SMITH (1958). Para tanto, foram analisados dados pluviográficos e de perda de solo de 38,5 parcelas.ano da Seção de Conservação do Solo instalada na Estação Experimental local pertencente ao Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, Brasil.

Para a identificação das chuvas individuais erosivas foram utilizados os critérios propostos por WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER e SMITH (1978), com pequenas modificações sugeridas por CABEDA (1976).

Foram estudadas as correlações entre perda de solo e 26 parâmetros ($KE > 25$, I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} , I_{60} , EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , EI_{40} , EI_{45} , EI_{50} , EI_{55} , EI_{69} e enxurrada) correspondente a 231

chuvas individuais erosivas distribuídas entre janeiro de 1980 e maio de 1985. O índice EI_{30} , comumente utilizado por outros autores, constitui-se num conveniente indicador para avaliar a erosividade da chuva de Pindorama.

Para a caracterização do fator R da Equação Universal de Perdas de Solo, isto é, do EI_{30} anual médio de WISCHMEIER e SMITH (1965) foram utilizados dados de 838 chuvas individuais erosivas distribuídas durante os anos de 1970 a 1985. O valor encontrado para esse índice foi de 6143 MJ.mm/ha.ano, o qual é esperado que ocorra pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. Os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos foram, respectivamente de 5666; 8234; 11565 e 15259 MJ.mm/ha.h.ano.

Foi observada a distribuição de 83,3 % do total de erosividade anual durante o semestre de outubro a março, indicando que é esperado que ocorra neste período, a maior parte das perdas anuais de solo. Portanto, devem ser estabelecidas e mantidas práticas conservacionistas principalmente nesta época do ano, a fim de que tais perdas sejam controladas.

Foi observado existir para o local estudado, uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio men

sal e o coeficiente de precipitação. Portanto, através da equação de regressão estabelecida, pode-se estimar com boa margem de segurança o fator R para outros locais que não possuam dados pluviográficos, mas que, entretanto, apresentem condições climáticas semelhantes às de Pindorama.

RAINFALL EROSIVITY: ITS DISTRIBUTION AND RELATIONSHIP WITH
SOIL LOSS AT PINDORAMA - SÃO PAULO, BRAZIL

Candidate: DOMINGO ALBERTO SOSA

Adviser: Prof. Dr. Júlio Vasques Filho

SUMMARY

Rainfall data and soil loss from 38.5 year plots located at the Pindorama Soil Conservation Section of the IAC were treated according to the methodology proposed by WISCHMEIER and SMITH (1958) with the purpose of determining rainfall erosivity at that site.

Data collected from 1970 to 1985, collected according to the criteria set forth by WISCHMEIER (1959) and WISCMEIER and SMITH (1978) and slightly modified by CABEDA (1976) were computed to determine the R factor of USLE. A set of 231 erosive rians was singled out of that total to evaluate the correlation between rainfall and soil loss. The rainfall data was computer analyzed showing a correlation between soil loss and the following: total rainfall, total kinetic energy, $KE > 25$, I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} , I_{60} ; EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , EI_{40} , EI_{45} , EI_{50} , EI_{55} , EI_{60} and runoff. No significant statistical

difference between $KE > 25$, runoff and every EI_n was found as to their capacity to estimate soil loss. Thus, the EI_{30} index commonly used as an indicator was also used in this work to estimate Pindorama's rainfall erosivity.

The average annual erosivity index EI_{30} calculated from 16 years of rainfall data was 6143 MJ.mm/ha.h.year. That value is expected to occur at least one every 2.1 years. Annual erosivity indexes expected for the return periods of 2, 5, 20 and 100 years were 5666, 8234, 11565 and 15259 MJ.mm/ha.h.year, respectively. Most of the annual soil loss is expected to occur between the months of October and March, as shown by the 82.7 % of the total annual erosivity for that period. It is recommended therefore that soil conservation practices be established and maintained throughout that particular period of the year for an effective soil loss control.

A high correlation was found between the monthly mean erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient. The regression equation obtained allows for a fair estimate of the R factor for other regions where climatic conditions are similar to Pindorama's but where rainfall data are non existent.

1. INTRODUÇÃO

Erosão é um sintoma, não a primeira causa de destruição do solo.

LAWS e PARSON (1943), consideraram a erosão hídrica como o trabalho, no qual a energia provem das gotas de água caindo e do declive da superfície sobre a qual flue a enxurrada.

A qualidade do planejamento conservacionista depende da qualidade científica dos conhecimentos referentes a erosão do solo.

WISCHMEIER e SMITH (1965), apresentam a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), que relaciona de forma diretamente proporcional todos os fatores considerados que influem na erosão hídrica dos solos, na forma $A = R \cdot K \cdot L \cdot C \cdot P$,

onde (R) erosividade da chuva, (K) erodibilidade do solo, (LS) comprimento e grau do declive, (C) cobertura e manejo e (P) práticas conservacionistas.

Conhecendo-se, o papel fundamental que a variável, erosividade da chuva, possui dentro do processo erosivo, é que pretende-se obter para Pindorama-SP, através do presente trabalho, o seguinte:

- a. Determinar e estudar as correlações existentes entre as características da chuva e as perdas de solo;
- b. Determinar o fator erosividade da chuva local, contribuindo, desta forma, com o detalhamento e aprimoramento do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo;
- c. Determinar a distribuição anual, sazonal mensal e decendial do índice de erosividade;
- d. Determinar e estudar o período de retorno e a probabilidade de ocorrência, tanto dos valores dos índices de erosividade anual, co

mo dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e

- e. Correlacionar o índice de erosividade médio mensal com o coeficiente de chuva local.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

WISCHMEIER e SMITH (1978), fazem menção da estruturação da Equação Universal de Perda de Solo, na qual participam o "National Runoff and Soil Loss Datas Center" e a Universidade de Purdue, em cooperação entre os projetos de pesquisas estaduais e federal de 49 localidades americanas contribuindo com mais de 10 000 parcelas ano de dados de enxurradas e perda de solo para este acontecimento.

Sua representação é a seguinte:

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

onde:

A é a perda média anual de solo (t/ha.ano);

R é o fator erosividade das chuvas (MJ.mm/ha.h.ano);

K é o fator erodibilidade do solo (t.ha.h/ha.MJ.mm);

L é o fator comprimento do declive;
S é o fator grau do declive;
C é o fator uso e manejo da cultura, e
P é o fator práticas conservacionistas.

As variáveis L, S, C e P são adimensionais.

As variáveis da erosão refletidas pelos seis fatores, variam consideravelmente ao redor da média, mas o efeito das flutuações acaso tendem à média num período prolongado de registros dos valores das seis variáveis.

Erosividade da chuva é a sua habilidade potencial em produzir erosão. É função das características físicas das chuvas. Em idênticas condições de solos, tanto no manejo do solo e manejo da cultura, uma chuva qualquer pode ser comparada quantitativamente com outra chuva, isto porque quando os fatores da Equação Universal de Perdas de Solo, com exceção da erosividade, são mantidas constantes, as perdas de solo de uma área em estudo, causadas por uma chuva qualquer, são diretamente proporcionais ao seu índice de erosividade. Isto possibilita assim a criação de uma escala numérica de valores de erosividade (HUDSON, 1971).

De acordo com WISCHMEIER (1962) as análises de trinta anos de dados nos estados americanos evidenciaram que o fator erosividade da chuva, usada para estimar as perdas médias anuais do solo, deve incluir tanto os efeitos acumulativos das chuvas de moderada intensidade, bem como os efeitos das chuvas de elevada intensidade.

WISCHMEIER e SMITH (1978), apresentam que o fator erodibilidade do solo (K) é diferente do termo "erosão do solo". A taxa de erosão do solo (A), na equação de perda, pode ser mais influenciada pelo declive, características das chuvas e manejo da cobertura e solo, que pelas propriedades inerentes do solo. Esta diferença causada pelas propriedades do solo, é referida como a erodibilidade do solo (K). O fator K na EUPS é definido como um valor quantitativo experimentalmente determinado. Para um solo determinado o fator erodibilidade do solo é definido como o incremento médio na perda do solo, para cada unidade adicionada do fator R, quando os fatores L, S, C e P, os quais representam respectivamente o comprimento do declive, grau do declive, uso e manejo da cultura e práticas conservacionistas, forem iguais a um, o que ocorre quando as medições são feitas em parcela unitária ou parcela padrão.

A parcela padrão, que serve de referência para avaliação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo,

foi arbitrariamente definida da seguinte forma: parcela com 72,6 pés de comprimento (22,14 m), declive uniforme de 9,0 % no sentido do comprimento, mantida continuamente em condições de alqueive e cultivado morro abaixo de forma a manter a superfície livre de costra. Foram selecionadas estas dimensões na base dos fatores L, S predominantes nas parcelas que serviram ao estudo da erosão nos Estados Unidos, no período de 1930 a 1960. A parcela padrão é preparada com antecedência, mantendo-se em alqueive dois anos, até que se faça a medição da perda de solo. A parcela é cultivada, deixada em condições de semeadura convencional do milho a cada primavera, e cultivada quando for necessário para prevenir o crescimento da vegetação ou evitar formação de costra.

FREIRE e PESSOTTI (1974) estudaram o fator erodibilidade (K) dos solos do Estado de São Paulo pelo método nomográfico de WISCHMEIER et alii (1971), e de acordo com os resultados obtidos, concluem que: os valores do fator erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo variam de $0,02 \cdot 10^{-3}$ a $0,67 \cdot 10^{-3}$ t.ha h/ha.tf.m.mm, sendo os solos Podzólicos mais sujeitos à erosão e, os menos sujeitos à erosão a Terra Roxa Estruturada e os Latossóis, exceto o LVA-fase arenosa e fase rasa.

BERTONI e LOMBARDI NETO (1985) estudaram e apresentaram recentemente os valores de erodibilidade dos solos do

Estado de São Paulo. Os solos com horizonte B textural apresentaram valores variando entre $0,540 \cdot 10^{-3}$ e $0,180 \cdot 10^{-3}$ t.ha.h/ha.tf.m.mm, respectivamente, para os solos podzolizados com cascalho e Terra Roxa Estruturada. Tais valores, no Sistema Internacional, correspondem, respectivamente a 0,0550 e 0,0183 t.ha.h/ha.MJ.mm.

2.2. O índice de erosividade (EI_{30})

WISCHMEIER e SMITH (1958) estudaram a energia cinética da chuva e sua correlação com a intensidade. Através deste estudo, desenvolveram uma equação de regressão que calcula tal energia com elevada significância estatística. A equação obtida é a seguinte:

$$E = 916 + 331 \text{ Log } I, \quad (2)$$

onde:

E é a energia cinética em tf.pé/acre:pol.

I é a intensidade da chuva em pol/h. A elaboração da equação (2) foi baseada em dados detalhados de distribuição do tamanho de gotas de chuva de Laws e Parsons (1943), como também em velocidades terminais para vários tamanhos de gotas, avaliados tanto por Laws (1941) como Gunn e Kinzer (1949).

FOSTER et alii (1981) fizeram a conversão da equação (2) para o Sistema Internacional de Unidades, que é a seguinte:

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

onde:

E é a energia cinética em MJ/ha.mm e

I é a intensidade da chuva em mm/h.

WISCHMEIER e SMITH (1958) apresentaram um procedimento relativamente simples para o cálculo da energia cinética da chuva, através das informações fornecidas em pluviogramas. Para tal cálculo, foi montada uma tabela de valores calculados pela equação (2). Os autores relataram que o registro das intensidades de uma chuva pode ser obtido de um pluviograma, através do conhecimento do tempo e da quantidade de chuva precipitada constante, efetuando-se a divisão da referida quantidade pelo seu respectivo tempo. A energia de cada segmento deve ser multiplicada pela quantidade de chuva em mm, do segmento. Estes produtos parciais devem ser finalmente somados para se obter o valor da energia cinética total da chuva em MJ/ha.

VASQUES FILHO (1984), comentou que a avaliação de uma das características da chuva como estimador ou índice, se faz submetendo-se a teste a característica escolhida (considerada

da como suposta causa) e o efeito produzido (perda de solo por erosão), mantendo-se os demais fatores da erosão constantes, para que se determine o nível) de correlação entre esses dois elementos.

WISCHMEIER e SMITH (1958) quando correlacionaram parâmetros das chuvas com as perdas de solo, acharam que a melhor variável simples para a predição das perdas de solo em alqueive é o produto da energia cinética total da chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos. Este produto, o qual os autores chamaram de EI ou Ei_{30} , é diretamente proporcional às perdas de solo e reflete a capacidade erosiva combinadas do impacto da gota e da enxurrada.

VASQUES FILHO (1984), relata que considerando a possibilidade de que a erosividade da chuva possa ser a manifestação não apenas de uma, mas sim da interação de várias de suas características, algumas mais, outras menos atuantes no processo erosivo e considerando que a avaliação da ação conjunta de todas as características participantes do processo pode ser impraticável e/ou desnecessária, face a indisponibilidade e/ou pouco significado de certas características, temos que: "o melhor índice de erosividade será aquele cuja magnitude, obtida de forma relativamente prática e viável, representa satisfatoriamente, ou uma medida composta dos efeitos das várias caractere

rísticas da chuva que afetam a taxa de erosão de forma significativa, ou uma medida dos efeitos de uma das características da chuva que isoladamente afeta a taxa de erosão mais expressivamente.

WISCHMEIER (1959), analisou dados de enxurrada, perda de solo e as precipitações correspondentes, de aproximadamente 8 000 parcelas.ano, localizadas em muitos estados americanos. O primeiro objetivo do autor era o de obter o maior coeficiente de correlação possível entre as características da chuva e a perda de solo, na tentativa de se definir um índice de erosividade da chuva para a Equação Universal de Perdas de Solo. Os resultados das análises mostraram que a energia cinética da chuva prediz melhor as perdas de solo do que a quantidade da chuva, sendo esta última de baixa correlação. No geral, a intensidade máxima em 30 minutos apresentou altas correlações com a perda de solo, sendo tais correlações muito maiores do que as das intensidades máximas em 5, 15 e 60 minutos. Para todas as parcelas em alqueive estudadas, a variável EI_{30} isoladamente explicou a maior parte das perdas de solo, sendo que seus coeficientes de correlação variaram de 0,84 a 0,98, concluindo que o relacionamento matemático entre as perdas de solo e os valores de EI_{30} estão de acordo com os princípios básicos da erosão hídrica pluvial.

WISCHMEIER (1959) em seu trabalho apresentou uma definição exata do que é uma "chuva individual erosiva", e padronizou o cálculo da energia cinética da chuva como um componente do valor EI_{30} . O tempo mínimo e ótimo, definido como intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração após o término das primeiras chuvas. Este tempo, indubitavelmente, varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações entre os valores de EI_{30} e as perdas de solo foram obtidas quando chuvas separadas por um tempo menor que 6 horas foram tratadas como única chuva. Com respeito ao método de cálculo do índice de erosividade, WISCHMEIER e SMITH (1978) consideraram que as chuvas que apresentaram menos do que 0,5 polegadas (12,7 mm) e separadas de outras por mais do que 6 horas foram omitidas de tal cálculo, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegadas (6,4 mm) em 15 minutos. Grande parte do trabalho foi poupado através da adoção do valor limite de 0,5 polegada para conceituação de chuvas erosivas.

Segundo WISCHMEIER e SMITH, 1965 a soma dos valores do EI_{30} para um determinado período é uma medida numérica de erosividade da chuva de tal período. O índice de erosividade da chuva para um local é obtido através do EI_{30} total médio anual calculado para um longo período de anos. Através da soma destes valores, é adicionado ao índice de erosividade o efeito da frequência das chuvas erosivas dentro do ano. Os valores dos índi-

ces de erosividade publicados por WISCHMEIER e SMITH (1978) foram baseados em dados de 22 anos.

LOMBARDI NETO (1977) estudou a erosividade da chuva de Campinas-SP, durante um período de 22 anos de análise de dados, através do índice EI_{30} . Obteve, então, o índice médio anual de erosividade de 690.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6779 MJ.mm/ha.h.ano), com uma variação dos índices anuais de 351.10^3 a 1410.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (3343 a 13832 MJ.mm/ha.h.ano). Tais índices ainda apresentaram os valores de 247.10^3 e 53.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (2243 e 520 MJ.mm/ha.h.ano), respectivamente para o desvio padrão e erro padrão da média e um coeficiente de variações de 35,8 %. O autor observou, ainda, que apenas 74 % da precipitação média anual foi considerada no cálculo daquele índice para aquela localidade.

No estudo de distribuição mensal do potencial erosivo de Campinas-SP, LOMBARDI NETO (1977) determinou que 90,7 % do índice de erosividade local ocorreram durante os meses de outubro a março, sendo que para este período a quantidade total anual de chuva correspondente é de 80,1 %. Para o curto período de dezembro, janeiro e fevereiro, manifestaram-se 62,5 % do índice, correspondendo os 50,0 % da precipitação anual, o que deixa claro que para este tempo é esperada uma grande quantidade de perda de solo.

LOMBARDI NETO (1977), comentou sobre os cálculos e a metodologia necessários para a determinação da curva de distribuição do índice de erosividade. Segundo o autor, a distribuição mensal dos índices de erosividade é, normalmente, expressa como porcentagem do total anual. A tendência deste cálculo, em estimar aguaceiros esporádicos ou eventos raros, é minimizada pela exclusão dos valores extremos, altos e baixos, mensais. A probabilidade de uma chuva com um período de retorno de 100 anos ocorrer num mês específico é, naturalmente, muito menor que 1 %. E quando este tipo de chuva ocorre dentro de um período de 22 anos de registro de dados, proporciona uma tendência superavaliada das estimativas das porcentagens dos EI_{30} totais daquele mês. Considerando-se cada mês separadamente, foram omitidos, portanto, os valores extremos do índice de erosividade, calculando-se a porcentagem mensal com base nos 20 outros anos restantes. Se existir uma tendência de tais tipos de chuvas estarem concentrados dentro de um mês em particular, estes 20 valores remanescentes incluiriam ainda valores suficientemente altos para refletir este fenômeno. Foi comentado ainda pelo autor que foram plotadas as porcentagens médias mensais dos valores índices. Em seguida, os pontos plotados foram unidos através de uma curva média, graficamente ajustada. Tal processo de ajustamento se faz necessário pelo seguinte: uma grande chuva, que venha a ocorrer tardiamente em

um mês, teria talvez a mesma probabilidade de ocorrer precocemente no mês seguinte.

PEREIRA (1983) estudou a erosividade da chuva, sua distribuição e relação com a precipitação de Piracicaba-SP, para 20 anos de análise de dados através do EI_{30} e $KE > 25$. Os valores médios dos índices de erosividade obtidos foram de 580.10^3 e 533.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (5729 e 5229 MJ mm/ha.h.ano), respectivamente para o EI_{30} e $KE > 25$, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Em relação ao EI_{30} , para o período analisado, seus valores anuais variaram de 362.10^3 a 974.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (3551 a 9515 MJ mm/ha.h.ano), e apresentaram as seguintes medidas de dispersão: desvio padrão de 220.20^3 tf.m.mm/ha.h.ano (2158 MJ mm/ha.h.ano); erro padrão da média de 49.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (481 MJ mm/ha.h.ano), e um coeficiente de variação de 37,6 %. Foi observado, ainda, pela autora, que tanto o EI_{30} como o $KE > 25$ distribuíram-se de forma semelhante no decorrer do ano. Na primavera e verão, estações de elevada precipitação, foram concentrados 86,1 % do EI_{30} total anual concluindo-se, portanto, que grande risco de erosão é esperado nestes períodos.

PEREIRA (1983), comparando seus dados de erosividade da chuva de Piracicaba com aqueles obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977), ressaltou existir uma tendência

de proporcionalidade das magnitudes do fator R e da precipitação pluviométrica média anual entre as duas cidades. Desta forma, foi observado para Piracicaba, que tanto o fator R (584.10^3 tf m.mm/ha.h.ano ou 5729 MJ mm/ha.h.ano) como a precipitação pluviométrica média anual (1259 mm) assumiram valores menores do que aqueles obtidos para Campinas, respectivamente 690.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6769 MJ.mm/ha.h.ano) e 1349,0 mm.

CARVALHO(1987) estudando a erosividade da chuva, sua distribuição e relação com a precipitação de Mococa-SP, para 19 anos (1966-1985) de análise de dados de perda de solo e enxurradas em parcelas com dimensões recomendadas por BERTONI (1949) e MARQUES (1951), entretanto manejadas e conduzidas segundo as recomendações feitas à parcela padrão por WISCHMEIER (1972). A erosividade da chuva foi estudada através do EI_{30} . O valor médio do índice de erosividade obtido foi 774 MJ.mm/ha.h.ano; no mesmo trabalho se fez correlação do índice de erosividade $KE > 25$ com perdas de solo, encontrando alto valor de correlação ($r = 0,7884$), o qual não apresenta diferença significativa com o índice EI_{30} , que apresentou um coeficiente de correlação com perdas de solo de $r = 0,8008$. Em relação ao EI_{30} , para o período analisado, seus valores anuais variaram de 3322 a 10942 MJ mm/ha.h.ano e apresentaram as seguintes medidas de dispersão: desvio padrão de 2064 MJ.mm/ha.h.ano; erro padrão

das médias de 474 MJ.mm/ha.h.ano e o coeficiente de variação de 26,6 %.

2.3. O Índice de Erosividade KE > 25

HUDSON (1971), estudando a erosividade da chuva na África, determinou que o índice EI_{30} não se apresentava tão eficiente como nos Estados Unidos. A explicação para esse fato baseia-se na afirmação de que só a partir de um certo limite de intensidade é que a chuva passa a ser erosiva. O autor desenvolveu, então, um novo método alternativo para calcular o índice de erosividade da chuva. Este valor limite de intensidade, no qual a chuva inicia seu processo erosivo, é de 1 polegada/hora (25,4 mm/h); foi, então, verificada a existência de uma elevada correlação entre a energia cinética da chuva com a perda de solo, quando foram omitidas as energias das chuvas ou dos segmentos de chuvas que apresentarem intensidades menores do que 25 mm/h.

HUDSON (1971) determinou o índice de erosividade $KE > 1$ ou $KE > 25$, o qual significa o total da energia cinética da chuva, para valores de intensidade maiores do que 1 polegada/hora ou 25 mm/h. Este pode ser usado exatamente do mesmo modo como o EI_{30} , embora pareça ser mais recomendado, para as regiões de clima tropical e sub tropical.

2.4. Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice de erosividade

WISCHMEIER e SMITH (1978), analisaram a distribuição de probabilidade dos valores do índice de erosividade anual da chuva e de máximas chuvas individuais, que para uma particular localidade varia de um ano para outro. O número de localidades em estudo foram 181 com 20 a 25 anos de registro pluviométrico. Pode ser concluído, então, que a distribuição de probabilidade do índice de erosividade anual dos locais estudados seguiu o padrão log.normal típico de muitos dados hidrológicos, como da mesma forma foi observado para os valores do índice de erosividade de máximas chuvas.

WISCHMEIER (1959) relatou que foi muito difícil, demorado e caro obter dados de intensidade da chuva para o cálculo do EI_{30} aquém do ano 1936, assim levaram-no a impor um limite de 22 anos para análise dos registros de chuva. Chow (1953) citado pelo autor, concluiu que dados hidrológicos, tomados num período de 20 anos ou mais, produzem uma satisfatória aproximação para propósitos práticos.

Segundo SCHWAB et alii (1966), existem diversas equações empíricas para plotar a probabilidade de eventos hidrológicos observados, em papel de probabilidade. Dentre elas, a

equação de Gumbel, que determina o período de retorno de um determinado evento hidrológico, possui como base estatística a teoria dos valores extremos, isto é, os valores máximos anuais aproximam-se de um padrão definido de distribuição de probabilidade, quando é elevado o número de observações em cada ano. A referida equação tem sido amplamente utilizada pela "American Society of Civil Engineers", constituindo-se num grande mérito a sua simplicidade de aplicação. Sua expressão é a seguinte:

$$T = \frac{N+1}{m} \quad (4)$$

onde:

T é o período de retorno em anos que um dado evento hidrológico será igualado ou ultrapassado;

N é o número de anos de registro de dados; e

m é o número de ordem do evento hidrológico, quando colocado em escala decrescente de magnitude, para diminuir a possibilidade de erro.

Ainda de acordo com os autores, existe relação entre o período de retorno e a probabilidade de ocorrência de eventos hidrológicos que é expressa por:

$$T = \frac{100}{Pr} \quad (5)$$

onde:

T é o período de retorno do evento, e

Pr é a sua probabilidade de ocorrência.

Segundo SCHWAB *et alii* (1966), o valor de um evento hidrológico, correspondente a um determinado período de retorno, pode ser calculado, através da equação teórica das curvas de frequência. CHOW (1954), baseado na lei da probabilidade logarítmica, a qual estabelece que os logarítmos dos valores dos eventos hidrológicos são normalmente distribuídos, apresentou a seguinte equação teórica da curva de frequência de dados hidrológicos:

$$X_c = \bar{x} (1 + C_v \cdot K) \quad (6)$$

onde:

X_c é o valor teórico do evento hidrológico para um período de retorno determinado;

$\bar{x}$ é a média aritmética dos eventos;

C_v é o coeficiente de variação dos eventos; e

K é o fator de frequência do evento para o período de retorno desejado.

Para aplicação na teoria do valor extremo o fator de frequência (K) de Chow, é representado pelo período de retorno, utilizando-se o método de análise apresentado por Gumbel, através da expressão:

$$K = \frac{-2,45 \{ \gamma + \text{Log}_e [\text{Log}_e T - \text{Log}_e (T-1)] \}}{3,1416} \quad (7)$$

onde:

γ é a constante de Euler (0,577) e

T é o período de retorno em anos.

A determinação do número adequado de anos de registro de dados hidrológicos, para um determinado nível de significância, é obtida pela equação de Mockus, através da seguinte expressão:

$$Y = (4,30.t \log \theta)^2 + 6 \quad (8)$$

onde:

Y é o mínimo aceitável de anos de registro de dados;

t é o valor estatístico de Student, para nível de 10 % de significância, com (Y-6) graus de liberdade; e

θ é a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de retorno de 2 anos (SCHWAB **et alii**, 1966).

LOMBARDI NETO (1977) estudou para Campinas-SP a possibilidade de ocorrência dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, através da lei de probabilidade logarítmica de CHOW e da teoria de extremo valor de Gumbel. Foi observado que a curva de probabilidade, calculada para os valores dos índices de erosividade anual, seguiu o mesmo tipo de distribuição Log-normal, como relatado por WISCHMEIER (1959). Com relação à curva de probabilidade calculada para os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas indivi-duais, esta pareceu também seguir o mesmo padrão da primeira. Então, o autor pôde concluir que os valores dos índices de ero

sividade anual esperados nos períodos de retorno 2, 5, 20 e 100 anos foram respectivamente 651.10^3 , 866.10^3 , 1139.10^3 e 1436.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6386, 8496, 11174 e 14087 MJ mm/ha.h.ano). Analogamente, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, que são esperados nos períodos de retorno de 2, 4, 20 e 100 anos foram respectivamente de 104.10^3 , 148.10^3 , 207.10^3 e 276.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (1020, 1452, 2031 e 2708 MJ mm/ha.h.ano. O maior valor anual do índice de erosividade para chuvas individuais foi de 226.10^3 tf.m.mm/ha.h (2217 MJ mm/ha.h), observado durante o ano de 1964. Com relação ao fator R do local em questão, pôde ser observado que este apresenta uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 47,0 %, a qual corresponde a um período de retorno de 2,1 anos.

PEREIRA (1983) observou, para Piracicaba-SP, que o fator R para essa localidade obtido através do EI_{30} , durante o período de 20 anos de análise de dados, apresentou uma probabilidade de ocorrência mediana de aproximadamente 41,0 %, a qual corresponde a um período de retorno de 2,4 anos.

CARVALHO (1988) estudou para Mococa-SP a probabilidade de ocorrência dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, através da lei de probabilidade logarítmica

de Chow e da teoria do valor extremo de Gumbel. Foi observado que a curva de probabilidade, calculada para os valores dos índices de erosividade anual, seguiu o mesmo tipo de distribui-
ção log-normal, como os relatados por WISCHMEIER (1959) e LOM-
BARDI NETO (1977). Com relação à curva de probabilidade calcu-
lada para os valores máximos anuais dos índices de erosividade
para chuvas individuais, este pareceu também seguir o mesmo pa-
drão da primeira. Então, o autor pode concluir que os valores
dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de re-
torno 2, 5, 20 e 100 anos foram respectivamente de 7355, 9151,
1145 e 14062 MJ mm/ha.h.ano. Analogamente, os valores máximos
anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, que
são esperados nos períodos de retorno 2, 5, 20 e 100 anos fo-
ram respectivamente de 862, 1211, 1657 e 2166 MJ mm/ha.h. O
maior valor anual do índice de erosividade para as chuvas in-
dividuais foi de 2018 MJ mm/ha.h, observado durante o ano de
1974. Com relação ao fator R do local em questão, pôde ser ob-
servado que este apresentou uma probabilidade de ocorrência de
aproximadamente 42,0 %, ao qual corresponde a um período de re-
torno de 2,4 %. O mesmo autor comentou que, o valor do índice
de erosividade anual local, esperados nos períodos de re-
torno de 2, 5 e 20 anos, foram respectivamente 15,5 %, 7,7 % e
2,5 % maiores que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO
(1977). Entretanto, para o período de retorno de 100 anos, tal
índice foi, apenas 0,2 % menor que o de Campinas. Desta forma

pode observar que a medida que foi aumentando o período de retorno de 2 para 100 anos, os valores do índice de erosividade anual esperados para Mococa diminuíram em relação aos de Campinas. Conclui o autor, que em geral, num pequeno período de retorno, são esperados valores do índice anual maiores para Mococa e, portanto, chuvas mais erosivas em relação a Campinas. Entretanto, elevando-se o período de retorno (100 anos), o valor do índice de erosividade anual esperado entre as duas localidades tornou-se muito semelhante.

2.5. Correlação entre características da chuva e perda de solo

Segundo WISCHMEIER e SMITH (1958), o índice EI_{30} é a variável simples, testado como estimadora da erosividade da chuva, que melhor se correlaciona com as perdas de solo, explicando-as significativamente. Numa tentativa de aperfeiçoar o referido índice nele incluíram, através de regressões múltiplas, outras variáveis de chuvas tais como: quantidade, intensidades máximas em 5, 15 e 30 minutos e precipitação antecedente. Observaram que a inclusão de outras variáveis ao índice acarretava um aumento do grau de complexidade de sua determinação, não compensado pelo pequeno incremento na capacidade de previsão das perdas de solo por erosão.

Em trabalho de correlação entre as variáveis da chuva e perda de solo, WISCHMEIER (1959) somou os valores do EI_{30} de todas as chuvas individuais maiores ou iguais a meia polegada (12,7 mm). Esta somatória foi procedida para os períodos de tempo que não envolviam variações significativas das seguintes características de campo: efeito de resteva, cobertura e manejo e condições físicas. Foram então, feitas correlações entre os totais dos EI_{30} dos períodos e suas correspondentes perdas de solo, para dez ou mais anos de análises de dados, sendo que os coeficientes de correlação variaram entre 0,84 e 0,98. Esse autor concluiu que o índice de erosividade sazonal pode ser calculado através da soma de valores individuais dos EI_{30} de cada estação.

LOMBARDI NETO (1977) estudou a correlação entre as perdas de solo de chuvas individuais com algumas características da chuva de Campinas-SP, para 15 anos de registro de dados em duas modalidades de cobertura, a saber: solo descoberto e algodão contínuo. Os coeficientes de correlação observados nos canteiros de solo descoberto foram 0,447; 0,526; 0,643 ; 0,672; 0,559; 0,645; 0,686 e 0,691, respectivamente para as características: quantidade de chuva (Q), energia cinética (E) , intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), índice de erosividade (EI_{30}), $Q+E$, $Q+I_{30}$ e $E+EI_{30}$ e $Q+I_{30}+EI_{30}$. As variações dos coeficientes de correlação observados nos canteiros com algodão

contínuo foi de 0,446 a 0,686, para as mesmas características da chuva. Portanto, através da análise dos coeficientes, o autor pôde chegar às seguintes conclusões: (a) tanto a quantidade da chuva como a energia cinética apresentaram pobre correlação com a perda de solo; (b) quando analisados, separadamente, a intensidade máxima em 30 minutos e o EI_{30} apresentaram melhores correlações; (c) as análises de regressão múltipla não melhoraram a correlação, e (d) o baixo coeficiente de correlação observado para todas as variáveis analisadas foi devido à variação do estado da parcela descoberta, durante o ano.

BISCAIA *et alii* (1981) estabeleceram, para quatro anos de análises de dados, as correlações lineares entre o EI_{30} e as perdas de solo em condições de chuva natural, para Londrina (Latossolo Roxo distrófico) e Ponta Grossa (Latossolo Vermelho Escuro álico), do Estado do Paraná. Os coeficientes de correlação encontrados foram de 0,72 e 0,77, respectivamente para Londrina e Ponta Grossa.

MORAIS (1986) estudou as regressões lineares entre as características da chuva e as perdas de solo oriundas de parcelas de campo descobertas, em três locais distintos do Rio Grande do Sul, a saber: 1º Guaíba (analisadas 109 chuvas erosivas num Podzólico Vermelho Amarelo distrófico); 2º Ijuí (118 chuvas erosivas num Latossolo Roxo Distrófico), e Santa

Maria (102 chuvas erosivas num Podzólico Vermelho Amarelo). As características analisadas foram o EI_m , $KE > 25$ e AI_m - consistindo este último no produto da quantidade precipitada pela intensidade máxima sustentada, de $< AL$ - onde m variou de 5 até 90 minutos. Os dados obtidos evidenciaram que as características que melhor se correlacionaram com as perdas de solo variaram de uma localidade para outra. Portanto, os que apresentaram os maiores valores absolutos do coeficiente de correlação (r) para cada local foram: (a) Guaíba: $KE > 10$ ($r = 0,789$); Ijuí: EI_{10} e AI_{10} ($r = 0,761$), e Santa Maria: EI_5 ($r = 0,783$). Especificamente para Guaíba, foi notado pelo autor que os três maiores coeficientes de correlação referiam-se a características do tipo $KE > m$, as quais foram de 0,789; 0,761 e 0,751 respectivamente para $KE > 10$, $KE > 5$ e $KE > 15$. Desta forma, foi concluído, para esta localidade que os valores de energia cinética calculados para intensidades menores do que 25 mm/h, como foi o caso apresentavam boa correlação.

Detalhando seus estudos de correlação linear entre as características EI_m , $KE > m$ e AI_m e as perdas de solo respectivas, MORAIS (1986) procedeu uma análise geral para o conjunto de dados, na tentativa de obter um único índice, o qual refletisse as condições médias de erosividade das três localidades pesquisadas. Os coeficientes de regressão linear obtidos para EI_{25} e EI_{30} , para este caso, foram respectivamente de 0,652

e 0,647. A análise de dados indica ser o índice EI_{25} o que melhor se correlacionou em termos absolutos com as perdas. Entretanto, foi observado não existir diferença estatística entre os coeficientes de correlação linear dos índices EI_{25} e EI_{30} . Tal fato levou-o à conclusão de que o índice EI_{30} ainda é o mais adequado para estimar o potencial erosivo das chuvas para os locais estudados, até que novas informações estejam disponíveis. Em relação ao $KE > 25$, o autor obteve um coeficiente de correlação de 0,641.

CARVALHO (1988) estudou a correlação entre as perdas de solo de chuvas individuais com algumas características da chuva de Mococa-SP, para 8 anos de registro de dados, com um total de 425 chuvas erosivas. Os dados das perdas de solo foram obtidos de uma parcela mantida descoberta. As características foram: precipitação total (mm); energia cinética total (MJ/ha); $KE > 10$ (MJ/ha); $KE > 25$ (MJ/ha); intensidades máximas: I_n em mm/h; I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} e I_{60} e os EI_n em MJ.mm/ha.h: EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , EI_{40} , EI_{45} , EI_{50} , EI_{55} e EI_{60} .

Analisando-se os coeficientes de correlação, CARVALHO (1988) observou que todos foram significativos ao nível de 1 % de probabilidade, através do teste t de Student. No geral, tais coeficientes foram altos e variaram entre 0,800 e 0,644,

respectivamente para o EI_{25} e I_5 . Detalhando melhor a análise global dos referidos coeficientes, são percebidos dois grupos distintos de valores: 1º) com valores maiores, variando entre 0,800 (EI_{25}) a 0,770 (EI_5), o qual engloba todos os índices EIn e mais os $KE > 10$ e $KE > 25$, e 2º) com valores menores variando 0,733 (EI_{50}) a 0,644 (I_5), o qual engloba todas as intensidades máximas In e mais as energia cinética total e a precipitação t_{total} . Entretanto os coeficientes de correlação do EI_{25} e I_5 apresentaram diferenças significativas ao nível de 1 % de probabilidade e não existindo diferença significativa ao nível de 1 % de probabilidade entre os coeficientes de correlação de EI_{25} e EI_{50} , assim sendo, também não existe diferença entre os coeficientes de correlação dos seguintes índices, entre si: EI_{30} e $KE > 25$; EI_{25} e EI_{30} e EI_{25} e $KE > 25$. Portanto, o autor conclui que o índice EI_{30} , a exemplo do que ocorreu em diversos outros locais, é um parâmetro conveniente para estimar as perdas de solo que são causadas pela erosão hídrica pluvial em Mococa.

2.6. Coefficiente de chuva

Fournier (1960) citado por LOMBARDI NETO (1977), obteve uma estreita correlação entre o que ele chamou de degradação específica ou total de erosão anual e um coeficiente de distribuição de chuva e, expresso como:

$$C = \frac{\bar{P}^2}{P_i}$$

onde:

$\bar{P}$ é a média mensal de chuva do mês mais chuvoso e

P_i é a média anual de chuva.

Numa tentativa de possibilitar a metodologia do EI_{30} , uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existe pluviógrafos, LOMBARDI NETO (1977) correlacionou o índice de erosividade médio mensal de Campinas-SP com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente de Fournier (1960), dado pela seguinte expressão:

$$R_c = \frac{P^2}{P_i} \quad (9)$$

onde: R_c é o coeficiente de chuva em mm;

P é a precipitação média mensal em mm e,

P_i é a precipitação média anual em mm.

Para 22 anos de dados a equação encontrada para Campinas, a qual apresentou um coeficiente de correlação de 0,991, foi a seguinte:

$$EI_{30} = 6,872 \left(\frac{P^2}{P_i} \right)^{0,850} \quad (10)$$

onde:

EI_{30} é o índice médio mensal em $tf \cdot m.mm/ha.h$,

P é a precipitação média mensal em mm, e

P_i é a precipitação média anual em mm.

Para um período maior ou igual a 20 anos, conclui o autor, que esta equação pode apurar precisamente os valores médios de EI_{30} , usando-se apenas dados de quantidade de chuva.

PEREIRA (1983) estudou a correlação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva (P^2/P_i) de Piracicaba-SP, para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação obtida pela autora, a qual apresentou um coeficiente de correlação (r) de 0,970 significativo ao nível de 1 % de probabilidade, foi a seguinte:

$$EI_{30} = 7,272 \left(\frac{P^2}{P_i} \right)^{0,807} \quad (11)$$

onde:

EI_{30} é o EI_{30} médio mensal em $tf \cdot m \cdot mm/ha \cdot ha \cdot h$;

P é a precipitação média mensal em mm, e

P_i é a precipitação média anual em mm.

CARVALHO (1988) estudou a correlação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente: de chuva (P^2/P_i) de Mococa-SP, para um período contínuo de 19 anos. A equação obtida pelo autor, o qual apresentou um coeficiente de correlação (r) de 0,991 significativo ao nível de 1 % de probabilidade, foi a seguinte:

$$EI_{30} = 111,173 \left(\frac{P^2}{P_i} \right)^{0,691} \quad (12)$$

onde:

EI_{30} é o EI_{30} médio mensal em MJ mm/ha.h;

P é a precipitação média mensal em mm; e

P_i é a precipitação média anual em mm.

CARVALHO (1988) utilizando a equação obtida, calculou o fator erosividade da chuva, estimado para Mococa (7887 MJ.mm/ha.h.ano), aproximadamente 1,81 % superior ao observado (7747 MJ.mm/ha.h.ano).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material utilizado

3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados

O presente trabalho foi realizado com dados obtidos na Seção de Conservação do Solo instalado na Estação Experimental de Pindorama, pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas-SP, Brasil. A referida estação situa-se na região sul do município de Pindorama, aproximadamente $48^{\circ}55'$ W e $21^{\circ}31'$ S. Sua altitude varia de 498 a 594 m, possuindo uma área total de 532,8 ha. A precipitação média anual é de 1258,0 mm, sendo a média anual de temperatura de $21,5^{\circ}\text{C}$. O tipo climático é Aw, de acordo com o critério de Koeppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média.

3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizados

O pluviógrafo utilizado foi do modelo Hillman, o qual registra incrementos sucessivos de chuva, assim como o total acumulado. Tal aparelho possui autonomia para registrar chuvas ocorridas dentro de um intervalo de 24 horas, sendo movido a corda através de um mecanismo de relógio.

As chuvas individuais erosivas estudadas foram registradas em pluviogramas do modelo 700. Tais pluviogramas possuem, na ordenada o registro da quantidade de chuva e na abscissa o seu tempo de ocorrência. A amplitude de registro de chuva varia de zero a dez milímetros (mm) de precipitação com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante vinte e quatro horas, com unidade de dez em dez minutos.

3.1.3. Parcela de campo representativa do solo e sistema coletor de solo e enxurrada

Foram coletados e acumulados dados pluviográficos, de perda de solo e enxurradas de 38 parcelas.ano na Estação Experimental de Pindorama-SP. Estes dados foram obtidos numa parcela de campo, durante o período de 1970 a 1985. A referida parcela possui área de 640 m^2 , com 40 m de comprimento no sentido do declive, por 16 m de largura, e declive uniforme de 10,8 %.

O sistema coletor de solo e enxurrada é formado por um camalhão de terra que circunda a parcela e por uma soleira de alvenaria; esta recebe a enxurrada na base da parcela e se comunica com um tanque de decantação de alvenaria e, este com dois tanques de armazenamento, também de alvenaria; a ligação entre os três tanques é feita por divisor tipo "Geib" de 11 e 7 janelas, respectivamente para o segundo e terceiro tanque.

3.1.4. Computador e programa para cálculo das características da chuva individual erosiva

Para calcular as características estudadas da chuva, isto é, as variáveis independentes, foi utilizado um computador do tipo PC/XI do Centro de Informática na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas -UNESP, Campus de Botucatu, utilizando-se o programa computacional em linguagem Fortran IV de CATANEO et alii (1982), o qual sofreu pequenas adaptações para este propósito. Por outro lado, no estudo das correlações entre as características da chuva e enxurrada e as respectivas perdas de solo foi utilizado o mesmo computador do referido local, através de programa específico para tal finalidade, segundo métodos recomendados por SNEDECOR e COCHRAN, 1978.

3.1.5. Dados pluviométricos utilizados

Foram utilizados dados pluviométricos da Estação Experimental de Pindorama, referentes ao período estudado de 1970 a 1985, para auxiliar no detalhamento da explicação de erosividade da chuva ocorrido no local, como também, para correlacionar seu coeficiente de chuva com o índice de erosividade médio mensal. Os referidos dados foram cedidos, para tal finalidade previamente tabulados, através da Seção de Conservação do Solo instalada na Estação Experimental de Campinas, pertencente ao Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo.

3.1.6. Digitalizador ou leitor de curvas

Para a leitura e anotação da respectiva hora com precisão de minuto, e da quantidade de chuva com precisão de 0,1 mm, para cada ponto do gráfico onde variou sua inclinação, isto é, segmento de mesma intensidade de chuva, foi utilizado um Digitalizador, que está ligado ao micro-computador CANON BX-1 através de uma interface (MUTOH), aparelho instalado no Instituto Florestal de São Paulo.

3.2. Método empregado

3.2.1. Determinação do número total de chuvas individuais erosivas estudadas

Foram analisados dados pluviográficos acumulados de 1970 a 1985. Desta forma, o fator erosividade da chuva (R) de Pindorama foi definido a partir de uma série contínua de 16 anos de dados, estando, portanto, 6 anos a menos do que o recomendado por WISCHMEIER e SMITH (1978). Os pluviogramas analisados foram trocados diariamente às 7:00 horas, na época das chuvas, e em períodos relativamente indefinidos de tempo condicionados ao aparecimento de uma nova chuva, na época de estiagem.

De posse dos pluviogramas que continham as chuvas erosivas referentes aos 16 anos de análises de dados, procedeu-se à separação das chuvas individuais erosivas. Desta forma, foram separadas 838 chuvas individuais erosivas, as quais foram conceituadas e cotadas conforme as proposições de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER e SMITH (1978), com ligeiras modificações, conforme sugestão de CABEDA (1976), a seguir:

- a. Foram cotadas as chuvas dos pluviogramas que apresentaram 10,0 mm ou mais de chuva ;

- b. Foram cotadas as chuvas que apresentaram menos que 10,0 mm, se a quantidade da mesma em 15 minutos fosse de 6,0 mm ou mais;
- c. Chuvas separadas por menos do que 6 horas e com qualquer quantidade precipitada neste período, ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais possuindo uma quantidade precipitada maior ou igual a 1,0 mm neste período, foram tratadas como uma única chuva individual, e
- d. Chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais e com menos do que 1,0 mm precipitado nesse período foram tratadas como diferentes chuvas.

3.2.2. Cotamento, obtenção e digitação dos dados após selecionar e separar os pluviogramas

As chuvas individuais erosivas foram cotadas segundo as seguintes etapas: 1º) foram separadas através de cotas a lápis, as seções do gráfico da chuva que apresentaram inclinações uniformes, isto é, os segmentos de mesma intensidade de chuva; 2º) no Digitalizador foi efetuada a leitura e a impressão

dos dados dos pontos cotados; isto é, o registro impresso das respectivas hora com precisão de minuto, e da quantidade de chuva com precisão de 0,1 mm, para cada ponto do gráfico onde variou sua inclinação. Exemplo no Quadro 1.

Tendo-se em mãos os dados de todas as chuvas individuais erosivas devidamente extraídos dos pluviogramas, procedeu-se à digitação destes em disquetes de 5" 1/4.

3.2.3. Determinação das características estudadas das chuvas individuais erosivas

Após a digitação dos dados de todas as chuvas individuais erosivas nos referidos disquetes, foi efetuado o seu processamento. Segundo o programa computacional de CATANEO et alii (1982), que sofreu pequenas adaptações para este propósito. Tal programa foi montado de forma a fornecer para cada chuva as seguintes variáveis independentes ou características: tempo de duração total, precipitação total, energia cinética total, energia cinética para intensidades maiores do que 25 mm/h ($KE > 25$); intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos

variando de 5 até 60, isto é, I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} e I_{60} ; produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas (EI_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60, isto é, EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , EI_{40} , EI_{45} , EI_{50} , EI_{55} e EI_{60} . Ainda, o programa fornece o resumo mensal e anual das características. Exemplo no Quadro 2. Tais características foram obtidas da seguinte forma, como relatado a seguir.

3.2.3.1. Energia cinética total

A partir da hora e quantidade precipitadas de todos os segmentos de intensidade constante previamente digitados, a energia cinética total de uma chuva foi calculada através do programa, segundo a metodologia de WISCHMEIER e SMITH (1958), da seguinte forma:

- a. Foram subtraídas sucessivamente as leituras iniciais e finais referentes à hora e à quantidade precipitada, obtendo-se assim o tempo em minutos e a quantidade em mm de cada segmento de intensidade constante de chuva;
- b. Foi calculada a intensidade em mm/h de cada segmento de intensidade constante, multipli -

cando-se a sua quantidade de chuva por 60 e dividindo-se tal produto pelo respectivo tem po de ocorrência;

- c. Foi calculada a energia cinética em MJ/ha.mm, para cada segmento de intensidade constante, através da eq.(3), a qual foi relatada no Sistema Internacional de Unidades por FOSTER et alii (1981). Sua expressão é a seguinte:

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{ Log } I$$

onde:

E é a energia cinética por intensidade, referente ao segmento de intensidade constante, em MJ/ha.mm e I é a intensidade do respectivo segmento em mm/h.

- d. Foi multiplicado a energia cinética em MJ/ha. mm de cada segmento de intensidade constante pela respectiva quantidade de chuva, obtendo-se a energia cinética total de cada seg mento em MJ/ha, e
- e. Foram somados os valores de energia cinética total em MJ/ha de todos os segmentos de chuva de intensidade constante, obtendo-se desta for ma a energia cinética total da chuva em MJ/ha.

3.2.3.2. Tempo de duração e precipitação total

O tempo de duração total em minutos e a precipitação total em mm de chuva foram obtidos dos dados fornecidos pelo programa. O Quadro 2 apresenta o resultado fornecido pelo programa, para chuvas individuais, facilitando ainda o resumo mensal e anual.

3.2.3.3. Energia cinética para intensidades maiores do que 25,0 mm/ha ($KE > 25$)

O mesmo programa selecionou todos os segmentos de chuva que apresentaram valores de intensidade superior ou iguais que 25,0 mm/h. O $KE > 25$ foi calculado de acordo com HUDSON (1973).

3.2.3.4. Intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60

As intensidades máximas (I_n) de uma chuva: I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} e I_{60} foram calculadas segunda a seguinte expressão de intensidade máxima adaptada ao programa de CATANEO *et alii* (1982):

$$I_n = \frac{\sum_{u=1}^n i_u \cdot t_u}{n} \quad (13)$$

onde:

I_n é o maior valor de intensidade média ponderada pelo tempo n de ocorrência, dado em mm/h;

i_u é o valor da intensidade de ordem u (mm/h), ocorrida dentro do tempo n (min);

t_u é o tempo de ocorrência da intensidade de ordem u , ocorrido dentro do tempo n (minuto); e

n é o espaço de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima, dado em minutos e assumindo os valores iguais a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos. Assim, por exemplo para o cálculo da intensidade máxima em 30 minutos em mm/h de uma chuva que durou X minutos, o computador foi programado para obter todos os valores de I_{30} , de minuto em minuto, até seu último conjunto de 30 minutos finais, selecionando, por fim, o maior valor obtido. Portanto, para a chuva referida de X minutos foram calculados através de varredura e registrado em memória: primeiro I_{30} (do tempo zero ao trigésimo primeiro minuto), terceiro I_{30} (do segundo ao trigésimo segundo minuto), assim por diante, até o último I_{30} (do minuto $X-30$ ao minuto X final), sendo finalmente selecionado e registrado o maior valor calculado da chuva em 30 minutos (I_{30}). Para o cálculo das outras intensidades máximas (I_n) restantes, foi efetuado o mesmo

método como descrito anteriormente, com as devidas especificações exigidas pelos respectivos tempos n . De acordo com CABEDA (1976), para toda chuva que durou menos de 30 minutos, o valor da intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) foi calculado como se a mesma tivesse durado no mínimo 30 minutos. O mesmo princípio foi utilizado para todas as outras intensidades máximas I_n calculadas. Desta forma, para o cálculo da intensidade máxima I_n de determinada chuva, se esta não durou os minutos requeridos pelo tempo em questão, tal intensidade foi calculada como se ela tivesse durado os n minutos.

3.2.3.5. Produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas (EI_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60

Os EI_n de uma chuva foram obtidos em MJ.mm/ha.h, de acordo com WISCHMEIER e SMITH (1958), através do produto entre a energia cinética total em MJ/ha e a intensidade máxima em n minutos em mm/h, com n variando de cinco em cinco minutos de 5 até 60.

3.2.4. Coleta do solo

Foram coletados e armazenados dados de perda de solo e enxurrada de duas parcelas, com milho como cobertura co-

num e com diferente preparo do solo: (a) com Grade Pesada, e (b) com ARado Escarificador. O preparo do solo foi feito em contorno. As determinações de perda de solo e enxurrada foram feitas diariamente toda vez que ocorreu uma chuva que proporcionou perda de solo e/ou perda de água, efetuando-se a seguir o esvaziamento e a limpeza dos tanques coletores e, posteriormente, avaliando-se as quantidades dos sedimentos. O período de registro dos dados vai do ano 1980 a 1985.

3.2.5. Estudo de correlações

3.2.5.1. Características das chuvas versus perdas de solo

Em seguida, foram estudadas as correlações entre as características das chuvas individuais erosivas, mais a enxurrada e as respectivas perdas de solo, com o objetivo de se definir o melhor estimador da erosividade do local, a exemplo de WISCHMEIER e SMITH (1958) e WISCHMEIER (1959). Para tanto, foram tomadas 231 chuvas compreendidas entre o ano 1980 a 1985.

As características ou variáveis independentes correlacionadas foram: Precipitação total (mm); Energia Cinética total (MJ/ha); $KE > 25$ (MJ/ha); Intensidades máximas I_n em mm/h: I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} e I_{60} e os EIn em MJ.mm/ha.h: EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , EI_{40} , EI_{45} , EI_{50} , EI_{55} e EI_{60} , e volume de enxurrada. A variável dependente analisada, representada pela perda de solo, foi estabelecida em toneladas por hectare, tendo sido de 28 o total de correlações entre as características da chuva, e enxurrada e as perdas de solo.

As correlações estabelecidas entre as características das chuvas e enxurradas e as respectivas perdas de solo foram feitas através de regressões lineares simples, as quais foram processadas em computador do tipo PC/XT do Centro de Informática na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, SP.

Foram apresentados os coeficientes de regressão linear (a e b), assim como suas respectivas correlações simples (r) entre as características da chuva e enxurrada e a perda de solo. Procedeu-se, assim a aplicação do teste t de Student para verificar a significância estatística dos resultados, segundo indicações preconizadas por SNEDECOR e COCHRAN (1978).

3.2.6. Caracterização da erosividade da chuva

Após os resultados dos estudos de correlação entre as características da chuva e enxurrada e a perda de solo, decidiu-se determinar como fator erosividade da chuva (R) de Pindorama-SP, o índice de erosividade das chuvas EI_{30} , de WISCHMEIER e SMITH (1958) e WISCHMEIER (1959). Para se obter o referido fator foram obtidos intermediariamente, os seguintes índices de erosividade EI_{30} , a saber, segundo WISCHMEIER e SMITH (1965).

3.2.6.1. Índice de erosividade EI_{30} mensal

O índice de erosividade EI_{30} mensal foi obtido em MJ mm/ha.h pelo programa computacional através da somatória dos índices de erosividade de todas as chuvas individuais erosivas ocorridas durante o mês. Por outro lado, o índice de erosividade EI_{30} médio mensal, para um mês qualquer, foi obtido através da média aritmética de todos os valores ocorridos naquele mês, durante o período de estudo.

3.2.6.2. Índice de erosividade EI_{30} anual

O índice de erosividade EI_{30} anual, de um ano qualquer, foi obtido em MJ mm/ha.h.ano, através da somatória

dos índices de erosividade EI_{30} mensais, ocorrido durante o ano.

3.2.6.3. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R)

Finalmente, foi obtido o índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R), para Pindorama-SP, em MJ mm/ha.h.ano, através da média aritmética entre os 16 índices de erosividade EI_{30} anuais ocorridos durante os anos de 1970 a 1985, de acordo com WISCHMEIER e SMITH (1965).

3.2.6.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

Foram estudadas as probabilidades de ocorrência e o período de retorno, tanto dos valores dos índices de erosividade anual, como dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, para os 16 anos de análise de dados de Pindorama-SP. Foram utilizados, para tal estudo, a teoria do valor extremo e a lei da probabilidade logaritmica, citadas em SCHWAB et alii (1966).

Para o cálculo do período de retorno de um determinado valor qualquer do índice de erosividade observado, valor anual ou máximo anual para chuvas individuais, tais índices foram colocados em ordem decrescente de valores, sendo determinado para cada um, o respectivo período de retorno através da equação (4) de Gumbel, citada em SCHWAB et alii (1966):

$$T = \frac{N + 1}{m}$$

onde:

T é o período de retorno ou frequência em anos que um determinado evento hidrológico será igualado ou ultrapassado;

N é o número de anos de registro de dados; e

m é o número de ordem do evento hidrológico quando colocado em escala decrescente de magnitude.

As probabilidades de ocorrência dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais foram obtidas através do cálculo do valor inverso porcentual dos períodos de cada índice, através da equação (5), que é a seguinte:

$$Pr = \frac{100}{T}$$

onde:

Pr é a probabilidade de ocorrência do evento, em porcentagem; e

T é o período de retorno em anos.

Utilizou-se papel de probabilidade logaritmica para plotar os valores dos eventos observados, assim como para traçar as curvas de probabilidade logaritmica, tanto dos valores dos índices de erosividade anual como dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais. A probabilidade de ocorrência de um determinado índice, assim como o período de retorno correspondente, foram relacionados, respectivamente nas abscissas inferior e superior do gráfico. Na ordenada, foram relacionados os índices de erosividade da chuva.

A determinação do número adequado de anos de registro de dados hidrológicos do caso em questão foi feita através da equação (8), mencionada por SCHWAB et alii (1966), dada pela seguinte expressão:

$$Y = (4,30.t.\log \theta)^2 + 6$$

onde:

Y é o número aceitável de anos de registro de dados;

t é o valor estatístico de Student, para o nível de 10 % de significância, com (Y -6) graus de liberdade, e

θ é a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de 2 anos.

Para o cálculo dos períodos de retorno de um valor teórico qualquer do índice de erosividade valor anual ou va

lor máximo anual para chuvas individuais , foi utilizado, com base em SCHWAB et alii (1966), a equação (6) que possui a seguinte expressão:

$$X_c = \bar{X} (1 + (C_v K),$$

onde:

X_c é o valor teórico do evento hidrológico para um determinado período de retorno;

$\bar{X}$ é a média aritmética dos eventos;

C_v é o coeficiente de variação dos eventos; e

K é o fator de frequência do evento para o período de retorno desejado.

Para a obtenção dos valores de K , foi utilizada a equação (7) que é dada por:

$$K = \frac{-2,45 \{ \gamma + \text{Log}_e [\text{Log}_e T - \text{Log}_e (T - 1)] \}}{3,1416}$$

onde:

γ é a constante de Euler (0,577) e

T é o período de retorno em anos.

3.2.7. Coeficiente de chuva: cálculo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal

Foi calculado, para cada mês do ano, o coeficiente de chuva, usando-se os valores pluviométricos médios mensais referente ao mesmo período utilizado para a obtenção do índice de erosividade, isto é, valores referentes ao período de 1970 a 1985. O coeficiente empregado nos cálculos foi o mesmo que o utilizado por LOMBARDI NETO (1977), cuja expressão relatada pela equação (9) é a seguinte:

$$R_c = \frac{P^2}{P_1}$$

onde:

R_c é o coeficiente da chuva em mm;

P é a precipitação média mensal em mm; e

P_1 é a precipitação média anual em mm.

Ainda, de acordo com LOMBARDI NETO (1977), procedeu-se o ajuste dos dados de índice de erosividade médio mensal e de coeficiente de chuva, à função potência do tipo:

$$EI_{30} = \alpha R_c^B \quad (13)$$

onde:

EI_{30} é o índice de erosividade médio mensal em MJ.mm/ha.h;

α e B são os parâmetros da equação; e

R_c é o coeficiente de chuva (P^2/P_i) em mm, como mencionado anteriormente.

Através da aplicação de uma anamorfose, foi efetuada a linearização da equação (13), resultando as estimativas dos parâmetros α e β . Finalmente, foram plotados os dados em papel di-log, relacionando-se na abscissa o coeficiente de chuva e na ordenada o índice de erosividade médio mensal.

3.2.8. Conversão de unidades

A maioria dos dados de erosividade da chuva, disponíveis na bibliografia consultada foi relatada nas seguintes unidades tf.m.mm/ha.h.ano. Portanto, foi efetuada a conversão das unidades dos referidos dados para as unidades correspondentes do Sistema Internacional, objetivando, desta forma, facilitar a comparação dos resultados. Os dados de erosividade das chuvas relatados em tf.m.mm/ha.h.ano foram multiplicados pela constante $9,81 \cdot 10^3$ para se obter seus correspondentes em MJ.mm/ha.h.ano.

4. RESULTADOS

4.1. Estudo de correlações

4.1.1. Características das chuvas versus perda de solo

A Tabela 2 apresenta os coeficiente linear (a), de regressão (b) e de correlação das equações de regressão linear simples entre as características da chuva, enxurrada e a perda de solo de Pindorama. Foram analisados os pluviogramas e a quantidade de solo arrastado e enxurrada de 231 chuvas individuais ocorridas entre o ano 1980 a 1985, em parcelas experimentais com solo coberto com milho e dois diferentes preparos do solo, o primeiro feito com Grade Pesada e o segundo com Arado Escarificador.

Analisando-se os coeficientes de correlação (r), os quais estão dispostos em ordem decrescente de valores. Verifica-se.

Tabela 1. Quantidade média mensal e anual de perda de Solo para os dois tratamentos de preparo do Solo das parcelas em Pindorama - SP, durante o período 1980 a 1985.

MES	Perda de Solo (t/ha)	
	Grade pesada	Arado escarificador
Janeiro	14,15	6,73
Fevereiro	2,48	1,15
Março	1,22	0,69
Abril	0,87	0,46
Maio	-	-
Junho	-	-
Julho	-	-
Agosto	-	-
Setembro	-	-
Outubro	1,41	0,48
Novembro	14,29	4,24
Dezembro	13,13	5,75
	-----	-----
	47,55	19,50

Perda de solo média anual (t/ha/ano):

Grade pesada : 47,55

Arado escarificador: 19,50

que no geral, tais coeficientes foram baixos e variaram entre 0,572 a 0,327, respectivamente para o KE > 25 e I₅, no tratamento com Grade Pesada, e com Arado Escarificador foram 0,602 a 0,345, respectivamente para o KE > 25 e I₅.

As seguintes características das chuvas: KE > 25, EI₅, Ec. total, EI₃₀, I₃₀ e Precipitação, e enxurrada como outra variável correlacionada, as quais estão contidas na Tabela 2, apresentaram respectivamente os coeficientes de correlação (r) com as perdas de solo: 0,572; 0,516; 0,458; 0,455; 0,395;

tabela 2. Coeficiente linear (a), de regressão (b) e de correlação (r) das equações de regressão linear simples entre as características da chuva e enxurrada e a perdas de solo. Análise de 231 chuvas ocorridas entre o ano de 1970 a 1985, em duas condições de preparo de solo, uma com grade pesada e a outra com arado escarificador, com milho como cobertura, para Pindorama - SP.

NÚMERO DE ORDEM	GRADE PESADA			ARADO ESCARIFICADOR		
	Características da Chuva+enxurrada	Equação de Regressão* $Y = a + bX$	Coeficiente de Correlação** (r) n=231	Características da Chuva+enxurrada	Equação de Regressão* $Y = a + bX$	Coeficiente de Correlação** (r) n=231
1	KE > 25	-0.7362	0.0106	KE > 25	-0.3103	0.6028
2	EI 05	-0.4016	0.0048	EI 05	-0.1915	0.5610
3	Enxurrada	0.1628	0.2077	EI 10	-0.1238	0.5380
4	EI 10	-0.2171	0.0052	EI 20	-0.0486	0.5216
5	EI 15	-0.0826	0.0056	EI 15	-0.0707	0.5214
6	EI 25	0.0315	0.0066	EI 25	-0.0204	0.5203
7	Ec. Total	-1.3197	0.0004	Enxurrada	0.1610	0.5131
8	EI 20	-0.0295	0.0062	EI 30	0.0063	0.5105
9	EI 30	0.0956	0.0070	EI 35	0.0358	0.4972
10	EI 35	0.2679	0.0072	Ec. Total	-0.5848	0.4971
11	EI 40	0.2103	0.0074	EI 40	0.0523	0.4894
12	EI 45	0.2491	0.0077	EI 45	0.0671	0.4821
13	EI 50	0.2908	0.0079	EI 50	0.0834	0.4732
14	EI 55	0.3348	0.0081	EI 55	0.1012	0.4646
15	EI 60	0.3402	0.0083	EI 60	0.1020	0.4606
16	I 30	-1.2949	0.1361	EI 30	-0.5785	0.4304
17	I 25	-1.3079	0.1212	I 25	-0.5859	0.4283
18	I 35	-1.2218	0.1457	I 35	-0.5521	0.4264
19	I 40	-1.1749	0.1560	I 45	-0.5345	0.4246
20	I 45	-1.1510	0.1678	I 40	-0.5390	0.4244
21	I 50	-1.1047	0.1773	I 50	-0.5200	0.4217
22	I 20	-1.2417	0.1033	I 55	-0.5077	0.4205
23	I 55	-1.0668	0.1878	I 20	-0.5680	0.4155
24	Precip. Total	-0.8579	0.0737	Precip. Total	-0.3969	0.4009
25	I 15	-1.1391	0.0084	I 60	-0.4092	0.3994
26	I 60	-0.8264	0.1744	I 15	-0.5254	0.3989
27	I 10	-1.1559	0.0709	I 10	-0.5280	0.3886
28	I 05	-0.8685	0.0492	I 05	-0.3680	0.3457

* Onde, na abscissa (eixo X) foram apresentadas as seguintes características dachuva e suas respectivas unidades: EI em MJ. mm/ha h.; enxurrada em mm; In em mm; KE>25 e energia cinética em MJ/ha., e precipitação total em mm. Na ordenada (eixo Y) foi representada a perda de solo em t/ha.

** = número de observações.

0,365 e 0,502, respectivamente para o tratamento com Grade Pesada. No tratamento com Arado Escarificador os coeficientes de correlação das variações anteriormente referidos foram: 0,602 ($KE > 25$); 0,561 (EI_5); 0,510 (EI_{30}); 0,497 (Ec. total); 0,430 (I_{30}); 0,400 (Precip. total), e 0,513 (Enxurrada).

Segundo indicações de SNEDECOR e COCHRAN (1978), o teste realizado para verificação da existência de diferença entre os coeficientes de correlação (r) das características da chuva, mais enxurrada, e a perda de solo, contidos na Tabela 2 revelou, entre outros, os seguintes resultados:

1. Para valores obtidos com o tratamento com
Grade Pesada

- a. Os coeficientes de correlação entre perda de solo x $KE > 25$ ($r = 0,572$) e perda de solo x precipitação total ($r = 0,365$) são diferentes ao nível de significância de 5 % de probabilidade;
- b. Os coeficientes de correlação entre perda de solo x $KE > 25$ ($r = 0,572$) e perdas de solo x I_{30} ($r = 0,395$) são diferentes ao nível de significância de 5 % de probabilidade;

- c. Os coeficientes de correlação entre perda de solo x EI_5 ($r = 0,516$) e perda de solo x precipitação total ($r = 0,365$) são diferentes ao nível de significância de 5 % de probabilidade;
- d. O teste t (valor de tabela, 1,71029) entre os coeficientes de correlação de perda de solo x KE_{25} ($r = 0,572$) e perda de solo x EI_{30} (0,455) não detectou diferenças ao nível de significância de 5 % de probabilidade.

2. Para valores obtidos com o tratamento com Arado Escarificador

Como os desvios da análise não diferem para as mesmas variáveis, os resultados referidos anteriormente, são similares, então o teste t (valor de tabela 1,4313) entre os coeficientes de correlação de perda de solo x KE_{25} ($r = 0,602$) e perda de solo x EI_{30} ($r = 0,510$) não possibilita detectar diferença entre eles ao nível de significância de 5 % de probabilidade.

O coeficiente de correlação (r) entre Perda de Solo x Grade Pesada e Perda de Solo x Arado Escarificador foi de 0,958.

Os coeficientes de correlação (r) entre Perda de Solo x Enxurrada foram 0,502 e 0,513, respectivamente, para os tratamentos com Grade Pesada e Arado Escarificador.

4.2. Caracterização da erosividade da chuva

4.2.1. Índice de erosividade EI_{30} média anual ou fator erosividade da chuva (R) de Pindorama-SP.

A erosividade anual (EI_{30}) é representada pela adição dos índices de erosividade de todas as chuvas erosivas ocorridas durante o ano. Por outro lado, o fator erosividade (R) é obtido através da média aritmética dos índices de erosividade quando são tomados pelo menos 20 anos de análise de dados (WISCHMEIER, 1959). Entretanto, a adequação do número de anos de registro de dados de erosividade, com um nível de significância de 10 %, revelou ser de 12,4 anos o tempo mínimo aceitável de dados, para a obtenção do fator R de Pindorama, de acordo com a indicação de SCHWAB et alii (1966).

A Tabela 3 apresenta a distribuição média mensal e total anual dos valores do índice de erosividade (EI_{30}), assim como o fator erosividade da chuva de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985.

Tabela 3. Valores mensais e anuais do Índice de Erosividade EI-30 e fator erosividade de chuva (MJ. mm/ha h. ano) de Pindorama - SP, durante o período de 1970 a 1985.

MES	ANO																MÉDIA
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
Jan	1294	76	1176	583	686	869	1063	668	873	456	1167	818	1928	6824	766	1343	1287
Fev	1319	360	1543	134	522	609	3382	88	926	579	819	1016	1057	2948	570	359	1014
Mar	476	969	1170	1202	876	113	163	559	655	518	1425	1409	1109	288	320	222	717
Abr	100	164	100	888	45	593	180	619	-	231	1224	149	180	912	80	390	366
Mai	13	82	126	108	13	-	768	178	384	432	70	-	50	736	96	36	193
Jun	108	249	-	13	38	91	123	321	61	-	315	410	22	22	-	-	111
Jul	-	113	478	18	-	702	-	-	185	19	-	-	-	20	92	-	101
Ago	446	-	30	27	-	-	436	47	-	17	-	-	155	-	199	-	85
Set	80	35	76	28	61	115	314	702	234	795	206	-	111	393	122	-	205
Out	383	107	1269	440	97	378	103	127	320	275	75	1093	734	1044	93	11	409
Nov	391	138	489	194	123	1773	814	397	392	830	30	426	1585	580	1555	642	647
Dez	26	478	171	1132	1599	1497	399	1826	3205	1090	978	1001	1881	1465	189	205	1008
TOTAL	4636	2771	6628	4767	4060	6740	7745	5532	6235	5242	6309	6322	8812	15232	4082	3208	6143

Portanto, o valor médio anual de erosividade da chuva, isto é, o fator erosividade da chuva observado para Pin^udorama (Tabela 3) foi de 6143 MJ.mm/ha.h.ano, o qual apresentou as seguintes medidas de dispersão: desvio padrão de 2908 MJ.mm/ha.h.ano; erro padrão da média de 727 MJ.mm/ha.h.ano, e o coeficiente de variação de 47,3 %. Durante o período de análise mencionado, os valores anuais de erosividade variaram de 2771 MJ.mm/ha.h.ano a 15232 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, nos anos de 1971 e 1983. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 85 a 1287 MJ.mm/ha.h, respectivamente nos meses de agosto e janeiro.

A Tabela 4 apresenta a quantidade total anual de chuva e a quantidade anual de chuva usada para calcular o índice de erosividade anual de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985. Como pode ser observado, foi considerada para calcular o fator erosividade da chuva (R) a quantia de 84 % da precipitação total anual de chuva. Assim, fica evidenciado que aproximadamente 16 % da precipitação total anual não foi incluída no cálculo da erosividade por se tratar de chuvas não erosivas, de acordo com as recomendações de WISCHMEIER e SMITH (1978).

Tabela 4. Quantidade anual de chuvas (mm) e índice de erosividade (MJ. mm/ha h. ano) durante o período de 1970 a 1985 de Pindorama - SP.

ANO	Quantidade de chuva		Índice de Erosividade (MJ mm/ha h. ano)
	atual em mm.	usada para EI mm.	
1970	1399	1010	4636
1971	1064	866	2271
1972	1065	1291	6628
1973	1196	986	4767
1974	1303	1000	4060
1975	1313	1103	6740
1976	1614	1381	7745
1977	1319	1129	5532
1978	1708	1428	6235
1979	1467	1256	5242
1980	1452	1101	6309
1981	1302	1184	6322
1982	1998	1742	8812
1983	2121	1996	15232
1984	1047	966	4082
1985	1105	867	3208

4.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

4.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva

Em condições de alqueive contínuo com idênticas condições físicas, declive e tratos culturais, em duas localidades com igual valor do índice de erosividade, espera-se que a

perda média anual seja igual, segundo WISCHMEIER (1959). Entretanto, isto não é verdadeiro para áreas cultivadas, onde a distribuição do potencial erosivo das chuvas no tempo em relação a aração, semeadura e colheita - varia significativamente de local para local para todas as culturas. Assim, o fator erosividade da chuva, da forma como é representado através do valor do índice de erosividade média anual, não é suficiente para avaliar os efeitos de chuvas distintas em causar perdas localizadas do solo.

Portanto, é necessário detalhar a forma como está distribuído, no ano, o potencial erosivo da chuva em questão. Por outro lado, a distribuição da quantidade de chuva é fator da maior importância para o manejo e o desenvolvimento das culturas. A Tabela 5 e as Figuras 1A e 1B apresentam respectivamente: (a) Distribuição anual e mensal da precipitação pluviométrica de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985, e (b) Curvas de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985.

Os dados evidenciaram que 83,3 % do índice de erosividade anual ocorrem durante os meses de outubro a março. Em relação à precipitação, isto corresponde a 78,5 % da quantidade total anual de chuva. Tabela 3 e Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal e anual de Pindorama - SP, durante o período de 1970 a 1985.

MES	ANO																TOTAL	MEDIA
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
Janeiro	244,6	58,8	285,7	126,0	252,8	174,4	184,7	213,2	224,4	139,2	247,5	200,3	390,4	562,4	203,5	320,6	3828,5	239,3
Fevereiro	355,9	143,8	319,3	49,9	147,8	185,6	268,5	39,0	188,1	166,9	189,2	145,7	340,8	318,1	96,4	126,8	3081,8	192,6
Março	102,5	155,8	189,0	169,5	290,2	54,8	218,3	157,6	174,3	138,8	119,1	219,1	374,1	144,9	113,4	125,3	2746,7	171,7
Abril	37,5	33,0	68,1	125,3	33,7	68,5	81,1	145,0	1,9	78,5	233,6	35,0	31,6	180,9	47,3	130,2	1331,2	83,2
Mai	24,0	58,4	59,6	53,2	16,2	3,1	130,0	20,1	115,1	90,7	36,7	17,1	68,9	153,8	40,5	23,3	910,7	56,9
Junho	50,5	136,2	0,0	26,5	47,7	0,0	26,0	78,0	18,0	0,0	63,8	92,3	18,6	24,0	0,0	4,3	585,9	36,6
Julho	20,1	52,8	110,8	25,5	0,0	29,1	52,5	0,0	62,0	18,6	0,0	0,0	12,4	55,4	0,0	2,9	442,1	27,6
Agosto	64,3	6,4	64,6	2,7	0,0	0,0	113,4	43,9	17,1	25,3	14,5	0,0	45,4	0,0	106,1	1,9	505,6	31,6
Setembro	87,4	46,1	58,9	28,6	22,9	114,1	119,7	92,2	81,0	145,9	73,2	90,0	0,0	174,0	51,2	7,5	1111,7	69,5
Outubro	133,5	83,2	209,6	119,7	104,5	146,4	108,3	55,5	81,6	124,3	50,8	196,2	226,2	161,2	23,1	19,1	1843,2	115,2
Novembro	134,0	90,5	114,1	87,3	56,7	265,8	153,7	163,1	130,5	189,9	159,7	137,7	152,6	138,2	199,4	196,1	2369,3	148,1
Dezembro	145,0	198,8	125,6	381,3	330,0	271,3	158,3	311,4	413,8	349,1	263,5	249,3	336,5	208,4	166,2	146,0	4054,4	253,4
TOTAL	1399,3	1063,8	1605,3	1195,5	1302,5	1313,1	1614,5	1319,0	1507,8	1467,2	1451,5	1301,7	1997,5	2121,3	1047,1	1104,0	22811,1	1425,7

Figura 1A.

Curva do Indice de Erosividade

Figura 1B.

Curva das Precipitacoes Pluviometricas

As Figuras 1A e 1B indicam também, através de uma análise ao longo do ano, a concordância entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Pindorama. Assim, é observado que existe uma harmonia entre ambas, isto é, no semestre de elevado índice de erosividade - outubro a março -, a precipitação também o é. Por outro lado, a recíproca é verdadeira.

4.2.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva

Na Tabela 6, são apresentadas as distribuições mensal e estacional do índice de erosividade de Pindorama, expressas em termos de porcentagem do índice de erosividade total, para o período de 1970 a 1985. A montagem da referida tabela foi procedida de acordo com a metodologia adotada por LOMBARDI NETO (1977). Portanto, considerando-se cada ano separadamente, foram excluídos os valores extremos do índice de erosividade nele ocorrido, calculando-se sua porcentagem média mensal com base nos 14 outros anos restantes.

Na Tabela 6, observa-se os valores percentuais de distribuição mensal a partir dos quais foi montada a curva de distribuição anual do índice de erosividade, a qual é apresentada a seguir.

Tabela 6. Distribuição mensal e estacional do índice de erosividade de Pindorama - SP, durante o período de 1970 a 1985.

MES	Índice de erosividade (%)	
	Mensal	Estacional
Dezembro	18,0	Verão : 53,8
Janeiro	17,8	
Fevereiro	16,7	
Março	12,9	Outono : 20,7
Abril	6,0	
Maio	3,0	
Junho	1,7	Inverno : 4,8
Julho	1,2	
Agosto	1,1	
Setembro	3,2	Primavera: 20,5
Outubro	6,8	
Novembro	11,1	

Na Figura 2, está apresentada a curva de distribuição mensal do índice de erosividade de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985.

4.2.3. Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

A Tabela 7 apresenta a frequência mensal da chuva mais erosiva do ano, isto é, a frequência mensal do maior valor do índice de erosividade do ano, para Pindorama, durante o período de 1970 a 1985. Como pode ser observado, os meses de março e dezembro são os de maior frequência de ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano. Tais frequências são de 4 vezes por mês, respectivamente para os referidos meses. Já, os meses de janeiro e fevereiro apresentam frequência de 3 vezes por mês, ficando novembro com frequência de 2 vezes. Os meses nos quais não houve ocorrência de chuva individual mais erosiva do ano foram abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

Tabela 7. Frequência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mes específico. Análise de 16 anos de registro de dados, de 1970 a 1985, de Pindorama - SP.

MES	Frequência Mensal
Janeiro	3
Fevereiro	3
Março	4
Abril	-
Maio	-
Junho	-
Julho	-
Agosto	-
Setembro	-
Outubro	-
Novembro	2
Dezembro	4
TOTAL	16

Figura 2.

Curva do Ind. de Erosiv. acumulada

4.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

4.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual

É apresentada na Tabela 8 a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual de Pindorama, durante o período de 1970 a 1985. A análise geral da referida tabela indica que em relação à variação dos valores do índice de erosividade, são direta e inversamente proporcionais, respectivamente, o intervalo de recorrência ou período de retorno (T) e a probabilidade de ocorrência (Pr). Assim, pode-se observar que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior valor do índice de erosividade anual observado (15232 MJ.mm/ha.h.ano), foram respectivamente de 17,00 anos e 5,8 %. Analogamente, tais valores foram de 1,06 anos e 94,33 % para o menor valor do índice de erosividade anual observado (2771 MJ.mm/ha.h.ano).

Tabela 8. Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano), dos valores dos índices de erosividade anual (MJ mm/ha h. ano) de Pindorama - SP, durante o período de 1970 a 1985.

ANO	Índice de erosividade (MJ. mm/ha h. ano)	Sequência em ordem crescente (m)	Período de* retorno em anos (T)	Probabilidade** % (Pr)
1983	15232	1	17,00	5,80
1982	8812	2	8,50	11,76
1976	7745	3	5,60	17,85
1975	6740	4	4,25	23,52
1972	6628	5	3,40	29,41
1981	6322	6	2,80	35,71
1980	6309	7	2,40	41,66
1978	6235	8	2,10	47,61
1977	5532	9	1,80	55,55
1979	5242	10	1,70	58,82
1973	4767	11	1,50	66,66
1970	4636	12	1,41	70,92
1984	4082	13	1,30	76,92
1974	4060	14	1,21	82,64
1985	3208	15	1,13	88,49
1971	2771	16	1,06	94,33

* $T = N+1 / m$

** $Pr = 1/T \times 100$

Os valores dos índices de erosividade anual da Tabela 8 serviram de base para a determinação da curva de distribuição de probabilidade, apresentada na Figura 3, a qual foi ajustada àqueles valores pela form. (6) de Chow (1954), de acordo com a indicação de SCHWAB et alii (1966).

Figura 3.

Curva de Prob. X ind. eros. anual

Os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, determinados através da form. (6), foram respectivamente de 5666, 8234, 11565 e 15259 MJ.mm/ha.h.ano.

A probabilidade de ocorrência de outro qualquer valor do índice de erosividade anual, pode ser facilmente obtida através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 3, ou calculada através da aplicação da form. (6).

4.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

Na Tabela 9 estão apresentados para Pindorama, durante o período de 1970 a 1985, o seguinte: probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e na Figura 4 está apresentada a curva de distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais.

Tabela 9. Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano), dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (MJ mm/ha h. ano) de Pindorama - SP, durante o período de 1970 a 1985.

ANO	Maior valor anual do índice de eros. p/chuvas individ. (MJ. mm/ha h. ano)	Sequência em ordem crescente (m)	Período de* retorno em anos (T)	Probabilidade** % (Pr)
1983	2899	1	17,00	5,80
1982	2124	2	8,50	11,76
1976	1062	3	5,60	17,85
1975	1020	4	4,25	23,52
1972	988	5	3,40	29,41
1981	945	6	2,80	35,71
1980	866	7	2,40	41,66
1978	830	8	2,10	47,61
1977	839	9	1,80	55,55
1979	798	10	1,70	58,82
1973	790	11	1,50	66,66
1970	708	12	1,41	70,92
1984	662	13	1,30	76,92
1974	606	14	1,21	82,64
1985	576	15	1,13	88,49
1971	514	16	1,06	94,33

* $T = N+1 / m$

** $Pr = 1/T \times 100$

Figura 4.

Curva de Prob. X eros.-chuvas individ.

Para Pindorama, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, os quais variaram entre 514 e 2899 MJ.mm/ha.h, tiveram como média 1014 MJ.mm/ha.h. Os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, avaliados através da form. (6) - os quais são esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, foram respectivamente de 935, 1359, 1909 e 2518 MJ.mm/ha.h.

Também para este caso, a probabilidade de ocorrência de outro qualquer valor máximo anual do índice de erosividade para chuvas individuais, podem ser facilmente obtida através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 4, ou calculadas através da aplicação da form. (6).

4.3. Coeficiente de precipitação: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal

Devido tanto à eventual escassez ou à inexistência de pluviógrafos, como a morosidade na análise dos pluviogramas, é que inúmeros pesquisadores tem tentado correlacionar índices de erosividade com os fatores climáticos, tais como dados pluviométricos, os quais são de fácil obtenção e, também, não requerem registros de intensidade de chuva. Portanto, numa tentativa de simplificar o método de obtenção da erosividade da

chuva para Pindorama, estimou-se uma regressão linear entre o índice de erosividade EI_{30} , médio-mensal e o coeficiente de precipitação em questão.

A Tabela 10 apresenta os valores médios mensais e a média anual pluviométrica, coeficiente de precipitação e índices de erosividade observados e estimados, obtidos para Pindorama durante os anos de 1970 a 1985.

A Figura 5 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio-mensal e o coeficiente de precipitação para Pindorama, durante o período de 1970 a 1985.

Para Pindorama, a curva de regressão linear entre o índice de erosividade EI_{30} médio-mensal e o coeficiente de precipitação, a qual está apresentada na Figura 5, foi dada pela seguinte função potencial:

$$EI_{30} = 122,973 \left(\frac{\bar{P}^2}{P_i} \right)^{0,598} \quad (14)$$

$$r = 0,988$$

onde:

EI_{30} é o índice de erosividade médio-mensal em MJ.mm/ha.h;

$\bar{P}$ é a precipitação média mensal em mm; e

P_i é a precipitação média anual em mm.

Figura 5.

Curva EI-30 m. mensal X coef. prec.

Na Tabela 10, pode-se observar que o fator erosividade da chuva calculado para Pindorama (6143 MJ.mm/ha/h.ano) , através da equação (14), é aproximadamente 1,51 % superior ao estimado (6053 MJ.mm/ha.h.ano).

Tabela 10. Valores medios mensais e medias anuais de precipitação pluviométrica (mm), e índices de erosividade calculados e estimados (MJ. mm/ha h.), obtidos durante os anos 1970 a 1985 de Pindorama - SP.

MES	Precipitação media mensal (mm)	Coeficiente de precipitação p_2/p_i (mm)	EI30 Media mensal (MJ. mm/ha h.)	
			Calculado	Estimado*
Janeiro	239,3	40,0	1287	1116
Fevereiro	192,6	26,0	1014	863
Março	171,7	20,0	717	737
Abril	83,2	4,8	366	314
Maio	56,9	2,0	193	186
Junho	36,6	0,9	111	115
Julho	27,6	0,5	101	81
Agosto	31,6	0,7	85	99
Setembro	69,5	3,3	205	251
Outubro	115,2	9,3	409	466
Novembro	148,1	15,3	647	628
Dezembro	253,4	45,0	1008	1197
TOTAL OU MEDIA ANUAL	1426,1	167,8	6143	6053

* $EI-30 = 122,973 \times (p_2/p_i)^{0,598}$

em Pindorama. Assim sendo este fato está de acordo com o que foi preconizado por WISCHMEIER e SMITH (1958), WISCHMEIER (1959) assim como também com o relato feito por CARVALHO (1988) para a Estação Experimental de Mococa, pertencente ao Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. A conclusão de que o índice EI_{30} é um parâmetro conveniente para estimar as perdas de solo que são causadas pela erosão hídrica pluvial, foi obtida pela observação da análise dos coeficientes de correlação, tanto para o tratamento com Grade Pesada como o para com, Arado Escarificador.

Os coeficientes de correlação de 0,455 e 0,510, respectivamente para o tratamento com Grade Pesada e Arado Escarificador, obtidos para a regressão entre o EI_{30} e a perda de solo de Pindorama (Tabela 2), são menores do que os obtidos por WISCHMEIER (1959) para os Estados Unidos da América do Norte (0,84 a 0,98), menores do que os obtidos por MORAIS (1986) para o Estado do Paraná (0,72 a 0,77) e os obtidos por CARVALHO (1988) para a localidade de Mococa-SP, mais semelhante ao obtido por LOMBARDI NETO (1977) para Campinas-SP (0,672). Especificamente em relação ao valor obtido para Campinas, os valores observados para Pindorama, através do presente estudo, foram semelhantes, provavelmente, porque também as condições constantes da parcela padrão não foram cumpridas, conforme o proposto por HUDSON (1971), WISCHMEIER e SMITH (1958) e VASQUES FILHO (1984).

5. DISCUSSÃO

5.1. Estudo de correlações

5.1.1. Características das chuvas versus perdas de solo

Como pode ser observado na Tabela 2, em termos absolutos, a melhor característica da chuva para estimar as perdas de solo é o índice $KE > 25$, o qual apresenta o maior coeficiente de correlação. Entretanto, foi observado não existir diferença estatística significativa para todas as combinações possíveis entre os coeficientes de correlação tomados dois a dois, que estão compreendido entre o $KE > 25$ e o EI_{60} da referida tabela. Desta forma, a diferença existente entre os coeficientes de correlação dos mencionados índices é meramente casual. Portanto, pode-se concluir que o índice EI_{30} , a exemplo do que ocorreu em diversos outros locais, é um parâmetro conveniente para estimar as perdas de solo que são causadas pela erosão hídrica pluvial

Foi observado, através do teste indicado por SNEDECOR e COCHRAN (1978), existir diferença estatística significativa ao nível de 5 % de probabilidade entre o coeficiente de correlação da precipitação total e o coeficiente de correlação do índice $KE > 25$ que estão apresentados na Tabela 2. Da mesma forma também foi observado existir diferença estatística significativa ao nível de 5 % de probabilidade entre o coeficiente de correlação da I_{30} e o coeficiente de correlação do $KE > 25$. Assim como foi observado existir diferença estatística ao nível de 5 % de probabilidade entre o coeficiente de correlação da precipitação total e o coeficiente de correlação do EI_5 . Entretanto, foi observado não existir diferença estatística significativa entre os coeficientes de correlação da energia cinética e da precipitação total, estando tal fato contrário ao relatado por WISCHMEIER (1959), e, no entanto, de acordo com o obtido por LOMBARDI NETO (1977) e CARVALHO (1988). Portanto, pode-se estatisticamente concluir que os índices $KE > 25$ e EI_5 estimam melhor as perdas de solo de Pindorama do que a energia cinética e a precipitação, e que, em relação às duas últimas, estas estimam de forma igual às referidas perdas. Esta conclusão é válida para os dois tratamentos: Grade Pesada e Arado Escarificador.

5.2. Caracterização da erosividade da chuva

5.2.1. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R)

O tamanho da amostra dos dados pluviográficos , utilizado para calcular o fator R de Pindorama (16 anos), foi superdimensionado, segundo o preconizado em SCHWAB et alii (1966). Isto porque, o tempo mínimo aceitável, com um nível de significância estatística de 10 %, é de 12,4 anos, estimado através da equação (8). Desta forma, tal fato ficou em discordância com os relatos de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER e SMITH (1978), os quais indicam que o referido fator deve ser obtido de uma série contínua de dados, de pelo menos 20 anos.

O fator erosividade da chuva (R) determinado para Pindorama (6143 MJ.mm/ha.h.ano), o qual é apresentado na Tabela 3, é menor que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977) e para Mococa por CARVALHO (1988), os quais são respectivamente 6769 e 7747 MJ.mm/ha.h.ano, e maior que o obtido por PEIREIRA (1983) para Piracicaba, o qual é de 5729 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, isto vem confirmar a tendência decrescente dos valores médios anuais do índice de erosividade da chuva, tanto no sentido norte-sul como no sentido nordeste-sudoeste, conforme apresentado no mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo, elaborado por Lombardi Neto, citado por CARVALHO (1988).

O coeficiente de variação, de 47,3 %, encontrado para o fator R de Pindorama (Tabela 3), foi 24,4 % e 43,8 % menor que o de Campinas (35,8 %), e o de Mococa (26,6 %), respectivamente. Da mesma forma, no presente estudo, comportaram-se o desvio padrão e o erro padrão da média do fator R obtido. Desta forma, o desvio padrão de Pindorama (2908 MJ.mm/ha.h.ano) foi 16,7 % e 29,1 % maior que o de Campinas e Mococa, respectivamente. Com relação ao erro padrão da média de Pindorama (727 MJ.mm/ha.h.ano), este foi 28,7 % e 34,9 % maior que os obtidos para as referidas cidades, respectivamente.

Uma vez que o coeficiente de variação dos valores anuais do EI_{30} de Pindorama é bem maior que os obtidos para Campinas e Mococa, estatisticamente falando pode-se concluir que os dados utilizados para a obtenção do fator R do presente trabalho são menos uniformes. Portanto, a média verdadeira dos dados de Pindorama é a menos próxima possível do seu fator R, uma vez que, também, o erro padrão da média do local estudado é o maior entre os três municípios.

A quantidade de chuva que foi incluída no cálculo do fator R de Pindorama, a qual pode ser obtida na Tabela 4, representou 84 % da precipitação pluviométrica média anual do local, sendo este valor maior que os encontrados para Campinas (74 %) por LOMBARDI NETO (1977) e de Mococa (79 %) por CARVA -

LHO (1988). Portanto, o volume de chuvas que não foi computado para o cálculo do fator R, isto é, volume de chuvas não erosivas segundo as recomendações de WISCHMEIER e SMITH (1978), foi 16 %, 21 % e 26 %, respectivamente para Pindorama, Mococa e Campinas. Desta forma, para as três cidades, em média, foram poupados aproximadamente 21,0 % do volume total de trabalho, através do limite de 10,0 mm de precipitação, estabelecido para conceituação de chuva individual erosiva.

5.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

5.2.2.1. Distribuição anual, estacional e mensal da precipitação e da erosividade da chuva

A distribuição da precipitação pluviométrica anual de Pindorama seguiu o padrão unimodal típico dos países de clima tropical, como relatado por HUDSON (1971). Desta forma, por intermédio da Tabela 5 e Figura 1B, observa-se que nos meses de outubro a março, onde se concentra a grande maioria das chuvas convectivas, são precipitados 78,5 % do total de chuvas anuais. Portanto, devido a este padrão desuniforme de distribuição, assim como o aumento da frequência de chuvas de elevada intensidade, é que podem ser esperados problemas sérios de erosão

do solo no referido período. A Tabela 1 apresenta os dados de perda de solo. Observa-se que as perdas de solo existiram nos meses referidos.

Foi confirmado existir, para Pindorama, a mesma concordância na distribuição da erosividade e da precipitação pluviométrica médias mensais (Figura 1A e Figura 1B, respectivamente), conforme havia sido observado para as cidades de Campinas, Piracicaba e Mococa, respectivamente por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983) e CARVALHO (1988). Isto é, no semestre de elevado índice de erosividade - outubro a março - a precipitação também o é. Da mesma forma, vale a concordância para o semestre de baixo índice de erosividade (abril a setembro).

A distribuição de 82,7 % do total do índice de erosividade (Tabela 3 e Figura 1A), ocorrida durante o semestre de outubro a março, indica que no referido período é esperada grande parte das perdas anuais de solo para Pindorama (Tabela 1). Tal quantia, apesar de ser menor em termos relativos, quando comparada aquelas de 90,7 % obtida para Campinas por LOMBARDI NETO (1977), 85,4 % obtida para Mococa por CARVALHO (1988) e 86,1 % obtida para Piracicaba por PEREIRA (1983), em termos absolutos também é menor que os valores obtidos para Campinas e Mococa, e maior que o valor obtido para Piracicaba, pois nestas condições os valores são 6616 (85,4 %), 6140 (90,7 %), 5082

(82,7 %), e 4932 (86,1 %) MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Campinas, Pindorama e Piracicaba. Portanto, no semestre de outubro a março, entre os quatro locais, Pindorama apresenta a menor concentração do EI_{30} anual em termos relativos e absolutos quando comparados com os valores de Mococa e Campinas, sendo que quando comparado com os valores obtidos para Piracicaba, apresenta ser menor em termos relativos, e maior em termos absolutos. Isto representa a menor força erosiva da chuva em termos absolutos quando comparado com Mococa e Campinas, e a maior força erosiva da chuva de Pindorama quando comparado os valores absolutos entre Pindorama e Piracicaba.

Como pode ser observado através da Tabela 3 e Figura 1A, janeiro representou, no presente estudo, o mês mais crítico em termos de distribuição do EI_{30} , possuindo a quantia de 20,9 % do total anual. Ocorrendo no mês de agosto a menor % EI_{30} do total anual. Portanto, em condições semelhantes de solo, relevo e manejo, a maior e a menor expectativa de ocorrência de erosão do solo em Pindorama corresponde, respectivamente, aos meses de janeiro e agosto.

Em termos relativos no trimestre de dezembro a fevereiro, a quantia observada de 53,8 % do total do EI_{30} anual de Pindorama (Tabela 3 e Figura 1A) é menor que as quantias de 62,5 % para Campinas (LOMBARDI NETO, 1977) e as de 58,0 % para

Piracicaba (PEREIRA, 1983), e maior que a quantidade de 51,4 % para Mococa (CARVALHO, 1988). Entretanto, em termos absolutos, Pindorama situa-se durante o período referido, na última posição uma vez que tais valores, agora, são de 4231, 3982, 3323 e 3309 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Campinas, Mococa, Piracicaba e Pindorama.

Por outro lado, quando se considera o trimestre de novembro a janeiro, Pindorama apresentou, entre os quatro locais, a menor quantia observada do EI_{30} anual, em termos relativos. Em termos absolutos Pindorama apresenta a menor quantia do EI_{30} anual contra Mococa e Campinas, e apresenta a maior quantia contra Piracicaba. No referido período, Pindorama possui 47,8 % do total do EI_{30} anual (2942 MJ mm/ha.h.ano) contra 55,30 % de Mococa (3284 MJ mm/ha.h.ano), 49,1 % de Campinas (3324 MJ.mm/ha.h.ano), e 51,0 % de Piracicaba (2292 MJ.mm/ha.h.ano), sendo estes últimos obtidos respectivamente por CARVALHO (1988), LOMBARDI NETO (1977) e PEREIRA (1983). Portanto, pode-se concluir que Pindorama deve apresentar os menores problemas de erosão que Mococa e Campinas, e maiores problemas que Piracicaba, no período de novembro a janeiro:

5.2.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva

A curva de distribuição do EI_{30} apresentada na Figura 2, assim como os dados que a originaram (Tabela 6), constituem informações imprescindíveis para a determinação do fator uso e manejo da cultura (C), da Equação Universal de Perdas de Solo para Pindorama. Analisando-se a Figura 2 pode-se confirmar, como já relatado pelo presente trabalho, que a maior parte da erosividade da chuva ocorre entre os meses de outubro a março, uma vez que é no referido período que tal curva torna-se visivelmente ascendente.

A distribuição da erosividade da chuva de Pindorama, quando comparada com a de Campinas (LOMBARDI NETO, 1977) é a de Mococa (CARVALHO, 1988), manifestou-se de forma mais regular que a de Campinas e menos regular que a de Mococa, resultando no fato de que a curva de distribuição do EI_{30} do local estudado (Figura 2) seja menos íngreme que a curva de Campinas e mais íngreme que a curva de Mococa. Tal observação também pode ser constatada, através das porcentagens de ocorrência do EI_{30} (Tabela 6), durante o período de janeiro a março. Neste período, ocorrem em Pindorama 47,4 % do EI_{30} anual, enquanto que para Campinas e Mococa, respectivamente, é 56,8 % e 40,4 %. Portanto, num período em que em termos de proteção, o solo se

encontra extremamente vulnerável - janeiro a março - ocorre em Campinas uma quantia de 9,4 % a mais e em Mococa 7,0 % a menos do EI_{30} anual do que em Pindorama.

5.2.3. Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

A análise das Tabelas 3 e 7, reforça a conclusão de que, realmente, o mês de janeiro constitui-se num período do ano em que a erosividade da chuva é crítica para Pindorama. Embora esse mês apresente uma frequência de 3 vezes para a chuva individual mais erosiva do ano, contra 4 vezes para o mês de março, o mencionado mês é aquele em que a probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, pois que apresenta o mais alto valor para o Índice de Erosividade médio mensal é o caso do ano 1983 (Tabela 3) em que o mês de janeiro apresenta o valor de 6824 Mj.mm/ha.h.

O conhecimento da distribuição estacional ou sazonal da erosividade da chuva de Pindorama, no período de outubro a março, constitui-se num importante fato para o manejo correto de suas áreas agricultáveis. Neste período, além de ter ocorrido a quantia de 82,7 % do total do EI_{30} anual (Tabela 3), assim como 78,5 da precipitação anual (Tabela 5), ocorreu também a quantia de 100,0 % das chuvas individuais mais erosivas

do ano (Tabela 7), isto é, por 16 vezes num total de 16 anos de estudo. Portanto, pode-se concluir que realmente existe a necessidade de um cuidado intenso no referido semestre, para que sejam evitadas elevadas perdas de solo do local em questão.

5.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

5.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores de erosividade anual

A curva de distribuição de probabilidade dos valores dos índices de erosividade anual de Pindorama, apresentados na Figura 3, seguiu o padrão log-normal, típico dos eventos hidrológicos, de acordo com os relatos de WISCHMEIER (1959), LOMBARDI NETO (1977) e CARVALHO (1988). Os valores dos índices de erosividade anual local, esperados nos períodos de retorno de 2 e 5 anos, foram respectivamente 11,3 % e 3,1 % menores que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977), e respectivamente 23,0 % e 10,9 % menores que os obtidos para Mococa por CARVALHO (1988). Entretanto, para o período de 20 e 100 anos, foram respectivamente 3,4 % e 7,3 % maiores que os obtidos para Campi

nas, e 1,0 e 7,9 % maiores, respectivamente, que os obtidos para Mococa. Desta forma, pode-se observar que a medida que foi aumentando o período de retorno de 2 para 100 anos, os valores dos índices de erosividade anual esperados para Pindorama aumentaram em relação aos de Campinas e Mococa. Portanto, no aspecto geral, pode-se concluir que, num pequeno período de retorno, são esperados valores de índices de erosividade anual menores para Pindorama e portanto, menos erosivos em relação aos de Campinas e Mococa. Entretanto, elevando-se o período de retorno (20 e 100 anos), o valor do índice de erosividade anual esperado em relação àquelas localidades, torna-se maior.

De acordo com a Tabela 8, o maior valor do índice de erosividade anual observado para Pindorama (15232 MJ.mm/ha.h.ano) possui um período de retorno de 17,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 5,8 %. Portanto, pode-se concluir que, para Pindorama, é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 5,8 %, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior a 15232 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 17,00 anos. Da mesma forma, para o menor valor do índice de erosividade anual, o qual apresenta um período de retorno de 1,06 anos, equivalente à probabilidade de 94,33 %, pode-se concluir que é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 94,33 %, um valor do índice de erosividade anual igual ou supe

rior a 2771 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 1,06 anos.

O fator R de Pindorama (Tabela 3) apresentou um período de retorno (T) de aproximadamente 2,1 anos, o qual foi obtido da leitura direta na Figura 3 e Tabela 8. Este valor é semelhante aos valores dos T obtidos para os fatores R de Mococa (2,4 anos) e Campinas (2,1 anos), respectivamente pesquisados por CARVALHO (1988) e LOMBARDI NETO (1977). Portanto, pode-se concluir que é esperado que ocorra para o local estudado, com uma probabilidade de 47,0 %, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior ao fator R (6143 MJ.mm/ha.h.ano), pelo menos uma vez a cada 2,1 anos.

Mesmo que o tamanho da amostra dos dados de erosividade, utilizado para o cálculo do fator R de Pindorama (16 anos), tenha sido maior do que o mínimo aceitável de 12,4 anos, segundo indicação de SCHWAB *et alii* (1966), o valor do índice de erosividade anual estimado através da equação (6), o qual é esperado no período de retorno de 100 anos (15259 MJ.mm/ha.ha.ano), pode ser aceito com certas reservas. Isto porque, segundo os mesmos autores, deve-se tomar extremo cuidado com a veracidade da estimativa feita através da referida equação, quando o período de retorno desejado foi maior que o tamanho da amostra.

5.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

A curva de distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, apresentada na Figura 4, pareceu também seguir o padrão log-normal típico dos eventos hidrológicos, de acordo com os relatos de WISCHMEIER (1959), LOMBARDI NETO (1977) e CARVALHO (1988). Os valores máximos anuais dos índices esperados para Pindorama nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos foram, respectivamente 8,4 %; 6,4 %; 6,0 % e 7,0 % menores que os obtidos para Campinas, por LOMBARDI NETO (1977), e 7,9 %; 10,9 %; 3,3 % e 4,0 % maiores que os obtidos para Mococa por CARVALHO (1988). Desta forma pode-se observar que, a medida que foi aumentando o período de retorno de 2 para 100 anos, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados para Pindorama mantiveram-se aproximadamente constantes em relação aos de Campinas, e em relação aos de Mococa diminuíram. Portanto, conclui-se que, para um mesmo período de retorno o risco de erosão correspondente às chuvas individuais é menor em Pindorama do que em Campinas, e maior do que em Mococa.

O evento médio, obtido entre os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais de Pindorama (1014 MJ.mm/ha.h), apresentou um período de retorno (T) de 4,25 anos, quando lido diretamente na Figura 4 e Tabela 9. O referido período de retorno é maior que obtidos para Campinas (2,1 anos) e Mococa (2,4 anos), respectivamente pesquisado por LOMBARDI NETO (1977) e CARVALHO (1988). Portanto, pode-se concluir que é esperado que ocorra em Pindorama, com uma probabilidade de 23,52 %, um valor máximo anual do índice de erosividade para chuva individual igual ou superior a 1014 MJ.mm/ha.h, pelo menos uma vez a cada 4,25 anos.

5.3. Coeficiente de precipitação: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal

Para Pindorama, foi observado existir uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de precipitação, o qual está relatado na equação (14), a exemplo do que foi observado para Campinas por LOMBARDI NETO (1977), assim como para Piracicaba por PEREIRA (1983), e para Mococa por CARVALHO (1988). Portanto, conclui-se que para um local desprovido de dados pluviográficos e que, no entanto, apresente condições climáticas semelhantes às de Pindorama, pode ser estimado com certa margem de segurança o seu índice de erosividade EI_{30} , através da referida equação.

Aplicando-se os dados de precipitação médio mensal de Pindorama (Tabela 10) na equação (10), a qual foi obtida para Campinas por LOMBARDI NETO (1977) e possui o mesmo propósito que a equação (14), foi observado, para o local do presente estudo, um valor do fator R de 7039 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, pode-se observar que a equação de Campinas superestimou em aproximadamente 14,1 % o fator R de Pindorama, estando este fato de acordo com o que foi observado para Piracicaba, por PEREIRA (1983). Entretanto, foi observado o mesmo resultado, quando foram aplicados os dados supracitados na equação (12), a qual foi obtida para Mococa por CARVALHO (1988). Agora, neste caso, foi observado um fator R de 7170 MJ.mm/ha.h.ano, valor este superestimado em aproximadamente 15,6 % em relação ao fator R local. Uma vez que as magnitudes de 14,1 % e 15,6 %, superestimadas, acarretam valores maiores do que o erro padrão da média do fator R de Pindorama (727 MJ.mm/ha.h.ano), pode-se concluir que as equações, obtida para Campinas e Mococa, não serviriam para estimar o fator R do local estudado. Entretanto o valor de R observado (6529 MJ.mm/ha.h.ano) com a equação (11), a qual foi obtida para Piracicaba por PEREIRA (1983), também superestimou em 7,3 %, mas acarreta valores menores do que o erro padrão da média do fator R de Pindorama, então, pode-se concluir que a equação, obtida para Piracicaba, serviria para estimar o fator R do local estudado com boa precisão.

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, com os materiais e métodos empregados e em decorrência dos resultados obtidos, analisados e interpretados, estabelecem-se as conclusões a seguir apresentadas:

1. As características da chuva EI_5 , EI_{30} e $KE > 25$ constituíram-se índices satisfatórios para avaliar a erosividade da chuva do município de Pindorama-SP.

2. Em face dos resultados obtidos por outros autores e com os objetivos de permitir o desenvolvimento de estudos comparativos entre a erosividade das chuvas do município de Pindorama-SP e as de outras localidades, assim como contribuir para o aperfeiçoamento do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo, o índice de erosividade EI_{30} , por ser o que melhor atende às conveniências de ordem práticas e aos interesses do desenvolvimento

da Conservação do Solo, deve ser empregado como avaliador da erosividade da chuva para o local do presente estudo.

3. O valor calculado do fator R para o município de Pindorama, através do índice de erosividade EI_{30} médio anual, é de 6143 MJ.mm/ha.h.ano. O mencionado índice, que possui uma probabilidade de ocorrência de 47,0 %, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,1 anos, razão porque no dimensionamento de técnicas de controle da erosão, visando a solucionar problemas específicos, em função de considerações de ordem econômica e ecológica e dos possíveis danos admitidos, podem ser utilizados valores mais convenientes com períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, os quais possuem respectivamente os valores de 5666, 8234, 11565 e 15259 MJ.mm/ha.h.ano.

4. A probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, no município de Pindorama, no semestre de outubro a março. Isto porque, em termos de erosividade da chuva, foi observado ocorrer durante o mencionado período o seguinte fato: 82,7 % do total do EI_{30} anual e 78,5 % do total da precipitação pluviométrica, durante os 16 anos estudados. Impõe-se, portanto, a necessidade de um cuidado intenso, na referida época, no sentido de que sejam estabelecidas eficientes práticas conservacionistas para se evitar elevadas perdas de solo do local em questão.

5. Pode-se estimar com certa margem de segurança o índice de erosividade EI_{30} médio anual para locais desprovidos de registros pluviográficos, mas que, entretanto, apresentem condições climáticas semelhantes às de Pindorama, através da seguinte equação:

$$EI_{30} = 122,973 (\bar{P}^2/P_i)^{0,598}$$

$$r = 0,988^{**}$$

onde:

EI_{30} representa o índice de erosividade
médio mensal em MJ.mm/ha.h;

P é a precipitação pluviométrica média mensal em mm; e

P_i é a precipitação pluviométrica média anual em mm.

6. A diferença observada na perda de solo entre os dois tratamentos do preparo do solo, é devido ao sistema de manejo do solo enquanto ao fator (c) cobertura e cultivo do solo: o tratamento um com Grade Pesada, considerado "Sistema Convencional", e o tratamento dois com Arado Escarificador, considerado "Sistema Reduzido". Assim, pode-se concluir que numa parcela em condições constantes de cobertura, solo e climáticos, exceto o preparo do solo, as perdas de solo para cada parcela é devido exclusivamente ao sistema do preparo do solo.

LITERATURA CITADA

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. 1985. Conservação do solo. Piracicaba. Livroceres. 392 p.

BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L.; HENKLAIN, J.C. Cálculo da erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, São Paulo, 5(3): 183-186. 1981.

CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette. Purdue University. 1976. 6 p. (unpublished).

CARVALHO, M.de P.e. 1987. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa-SP. Piracicaba.SP. (Dissertação de Mestrado apresentada a ESALQ/USP). 104 p.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A. e BISCAIA, R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. Rev. Bras. de Ciência do Solo, vol. 6 (3), pág. 240-242. 1982.

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. e ACQUAROLE, R.M. 1982. Programa para cálculo de índice de erosividade de chuvas. Rev. Bras. de Ciência do Solo. Vol. 6(3), pág. 236-240.

CHOW, V.T. 1954. The log-probability law and its engineering applications. ASCE Separate nº 536, vol. 80, november.

FOSTER, G.R.; D.K. McCOOL; K.G. RENARD e W.C.MOLDENHAUER. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. of Soil and Water Conservation. Baltimore, 36(6): 355-359.

FREIRE, O. PESSOTI, J.E.S. 1974. Erodibilidade dos solos do estado de São Paulo. Anais da ESALQ, vol. XXXI: 333-350.

GUNN, R. e KINZER, G.D. 1949. The terminal velocity of fall for water droplets. J. Met. 6: 243-248 p.

- HUDSON, N. 1971. Raindrop size. In Soil Conservation. Cornell University Press. Ithaca, New York, p.50-56.
- LAWS, J.O. 1941. Measurements of the fall-velocity of water drops and raindrops. Trans.Amer. Geoph. Union, 22:707-721 p.
- LAWS, J.D. e PARSON, D.A. 1943. The relation of raindrop size to intensity. Trans. Amer. Geoph. Union, 24: 452-459 p.
- LOMBARDI NETO, F. 1977. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Lafayette, Purdue University, 53 p.
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. e ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perda de solo em três locais do Rio Grande do Sul. VI Congresso Brasileiro de Conservação do Solo e VI Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. 1986.
- PEREIRA, H.H.G. 1983. Índices de erosividade da chuva. Distribuição e relações com a precipitação em Piracicaba, SP. Piracicaba, São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 70 p.

VASQUES FILHO, J. 1984. Erosividade da chuva. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V. 9 nº 3. Set/dez. Campinas. SP.

WISCHMEIER, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equations. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, Wisconsin, 23(3): 246-249.

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geograph. Union. Washington, 39(2): 285-291.

WISCHMEIER, W.H. ; SMITH, D.D. e UHLAND, R.E. 1958. Evaluation of factors in the soil loss equation. Agric. Engng. St. Joseph, 39(8): 458-462.

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. 1962. Rainfall Erosion. Adv. in Agron. 14: 109-148 p.

WISCHMEIER, W.H. 1962. Storms and soil conservation. Journal of Soil Water and Conservation. 17(2):55-59.

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, D.C. USDA, 47 p. (Agriculture Handbook, nº 282).

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Washington, Sci. and Educ. Admin., U.S. Dept. Agric., 58 p. (Agriculture Handbook, nº 537).