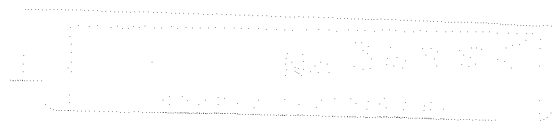


ÍNDICES DE EROSIVIDADE DA CHUVA
DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÕES COM A PRECIPITAÇÃO EM PIRACICABA-SP

HELOISA HELENA GIANOTTI PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. OCTAVIO FREIRE

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



PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto, 1983

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Octavio Freire, orientador deste trabalho, expresse meus agradecimentos pelo incentivo, sugestões e amizade durante todo o período de curso.

Agradeço, ainda:

- ao professor Dr. Antonio Francisco Iemma, do Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ, por sua colaboração no estudo estatístico;

- ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, a facilidade oferecida para a análise dos dados pluviográficos e ,

- a FAPESP, o recurso financeiro concedido para a execução da dissertação.

A meus pais, João e Elza
que de uma dimensão
maior olham por mim,

DEDICO.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	x
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. O índice EI_{30}	6
2.2. O índice $KE > 25$	9
2.3. Chuvas críticas	10
2.4. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos	11
2.5. Metodologia de Wilkinson	14
3. MATERIAL E MÉTODO	15
3.1. Material	15
3.2. Método	17
3.2.1. Índice de erosão	17
3.2.2. Distribuição mensal e estacional do índice de erosão	20
3.2.3. Tempo de recorrência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão	21
3.2.4. Determinação das chuvas críticas .	21
3.2.5. Coeficiente de chuva e sua relação com o índice de erosão	22

3.2.6. Cálculo do EI_{30} pela metodologia de Wilkinson	22
4. RESULTADOS	24
4.1. Índice de erosão	24
4.2. Distribuição mensal e estacional do <u>índi</u> ce de erosão	27
4.3. Frequência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão	32
4.3.1. Valores anuais	34
4.3.2. Valores mensais	34
4.3.3. Valores máximos individuais	37
4.4. Chuvas críticas	37
4.5. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos	39
4.5.1. Índice de erosão e coeficiente de chuva	39
4.5.2. Índice de erosão e precipitação .	42
4.6. Metodologia de Wilkinson para o cálculo do EI_{30}	43
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
5.1. Índice de erosão	47
5.2. Distribuição mensal e estacional do <u>índi</u> ce de erosão	49

	Página
5.3. Frequência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão	50
5.3.1. Valores anuais	50
5.3.2. Valores mensais	51
5.3.3. Valores máximos individuais	52
5.4. Chuvas críticas	53
5.5. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos	54
5.5.1. Índice de erosão e coeficiente de chuva	54
5.5.2. Índice de erosão e precipitação	55
5.6. Metodologia de Wilkinson para o cálculo do EI_{30}	56
6. CONCLUSÕES	58
6.1. Conclusão geral	58
6.2. Conclusões parciais	58
LITERATURA CITADA	61
APÊNDICE.....	65

LISTA DE TABELAS

	Página
1 - Exemplo do cálculo do EI_{30} e $KE > 25$ - <u>precipitação</u> dos dias 15-16/04/81	18
2 - Valores mensais e anuais do índice EI_{30} ...	25
3 - Valores mensais e anuais do índice $KE > 25$.	26
4 - Distribuição mensal e estacional dos índices EI_{30} e $KE > 25$	30
5 - Frequência e probabilidade de ocorrência do índice anual de erosão (EI_{30} e $KE > 25$)	35
6 - Probabilidade de ocorrência dos valores mensais do índice EI_{30}	66
7 - Probabilidade de ocorrência dos valores mensais do índice $KE > 25$	67
8 - Probabilidade de ocorrência do índice de erosão médio mensal	68

Página

9 - Probabilidade de ocorrência de máximos valores individuais do índice EI_{30}	69
10 - Probabilidade de ocorrência de máximos valores individuais do índice $KE > 25$	70
11 - Precipitação total anual, erosivas e com chuvas críticas (mm).....	40

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Fita pluviográfica dos dias 15-16/04/81 - Piracicaba - SP	16
2 - Distribuição mensal dos índices EI_{30} e $KE > 25$	28
3 - Curvas de distribuição dos índices EI_{30} e $KE > 25$	31
4 - Distribuição mensal percentual do EI_{30} e da precipitação em Piracicaba	33
5 - Distribuição mensal do índice EI_{30} a diferentes níveis de probabilidade	36
6 - Distribuição mensal do índice $KE > 25$ a diferentes níveis de probabilidade	36
7 - Distribuição mensal dos valores máximos individuais do índice EI_{30} , a diferentes níveis de probabilidade	38
8 - Distribuição mensal dos valores máximos individuais do índice $KE > 25$, a diferentes níveis de probabilidade	38

Página

9 - Curvas de regressão entre os índices erosivos médios mensais (EI_{30m} e $KE > 25m$) e o coeficiente de chuva, $Rc (p^2/P)$	41
10 - Curvas de regressão entre o índice EI_{30} médio mensal (EI_{30m}) e as precipitações média mensal (Pm) e as que continham momentos críticos (Py)	44
11 - Curvas de regressão entre o índice $KE > 25$ médio mensal ($KE > 25m$) e as precipitações média mensal (Pm) e útil ($PKE > 25 m$)	45

ÍNDICES DE EROSIVIDADE DA CHUVA
DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÕES COM A PRECIPITAÇÃO EM PIRACICABA-SP

Orientador: Prof.Dr. Octavio Freire

Candidata: Heloisa Helena Gianotti Pereira

RESUMO

A erosividade da chuva tem sido avaliada por meio de dois índices: o EI_{30} e o $KE > 25$; sendo este último o mais indicado para as regiões tropicais. Constatou-se, no entanto, que, para Piracicaba-SP, esses índices não diferem estatisticamente; uma vez que o fator R da Equação Universal de Perdas de Solo, é de 584,1 e de 533,2 tm.mm/ha.h.ano em termos de EI_{30} e $KE > 25$, respectivamente.

Os valores desses índices também apresentam semelhante distribuição mensal e estacional. No verão, concentra-se cerca de 80 % do potencial erosivo anual; sendo que o mês de janeiro é o que apresenta maior erosividade. No entanto, no estudo da probabilidade de ocorrência dos índices, observou-se elevada erosividade em meses nos quais comumente o potencial erosivo é baixo, como março e junho.

Constatou-se que isto se deve ao fato de que elevadas intensidades e precipitações possam ocorrer eventualmente.

A avaliação das chuvas críticas, de acordo com Yarnell, mostrou similaridade entre este critério e o estipulado por Wischmeier e Smith, para a seleção das chuvas, a partir das quais são calculados os índices EI_{30} .

A estimativa do índice de erosão pode ser feita por meio de equações obtidas pela correlação entre os valores médios mensais de EI_{30} e $KE > 25$ com a precipitação. Algumas dessas equações apresentam altos coeficientes de correlação, possibilitando que os índices de erosão sejam estimados para locais em que não se dispõem de dados pluviográficos e que apresentem condições climáticas semelhantes às de Piracicaba.

A aplicação do método de Wilkinson permite que se estime o valor do índice EI_{30} , com boa segurança e com redução do tempo gasto na análise dos pluviogramas, já que requer menos informações.

RAINFALL EROSIVITY INDEXES
DISTRIBUTION AND RELATIONSHIPS WITH THE AMOUNT OF RAINFALL
IN PIRACICABA (SÃO PAULO, BRAZIL)

Adviser: Prof.Dr. Octavio Freire
Candidate: Heloisa Helena Gianotti Pereira

SUMMARY

The rainfall erosivity has been evaluated by two indexes: the EI_{30} and the $KE > 25$, of which the latter is generally indicated for tropical regions. The R factor, calculated in terms of EI_{30} and $KE > 25$, is 584.1 and 533.2 $tm.mm.ha^{-1}.h^{-1}.year^{-1}$, respectively. These values are not statistically different and their monthly and seasonal distributions are similar, for Piracicaba (São Paulo-Brazil). More than 80 % of the annual erosive potential is concentrated in summer and January is the month that presents the highest erosivity. The statistical study of data showed, however, that the probability of occurrence of high erosivity indexes is low in months in which usually the erosive potential is low, as in March and June. This is due to high intensity rains and high amounts of rainfall that eventually may occur in that period.

The criterion for evaluation of the critical rainfalls, according to Yarnell, and the Wischmeier & Smith's criterion for the selection of rainfalls, from which the EI_{30} indexes are accounted, showed to be similar to each other and in most cases, they gave the same results.

Some of the studied correlations between the average monthly values of EI_{30} and $KE > 25$ and the amount of rainfall proved to be high, for Piracicaba. The use of those equations is useful for places where the rainfall characteristics are similar to those of Piracicaba and there are not enough data from recording rain gauge charts.

The Wilkinson's method was applied to the obtained data, showing that it may be used to reduce the time spent in the analysis of the recording rain gauge charts, because less information is necessary.

1. INTRODUÇÃO

O solo é o recurso natural que constitui um dos componentes abiótico dos ecossistemas naturais e agrícolas. A sua capacidade de suportar as comunidades bióticas produtoras de alimentos e de fibras, utilizadas para a manutenção da vida e do desenvolvimento da humanidade, é variável; mas limitada pela interação das suas propriedades. A erosão, no entanto, pode diminuir sensivelmente a capacidade de produção dos solos, em períodos relativamente curtos. Dentre os agentes de erosão que danificam as áreas agrícolas, a água se destaca como o mais importante em regiões úmidas.

A ação erosiva da água se dá pelo impacto das gotas de chuva e pela enxurrada, que se forma quando a permeabilidade do solo não permite que toda a água se infiltre; uma vez que, a desuniformidade da superfície esteja sempre presente, condicionando o deflúvio.

De um grande número de dados, obtidos através de experimentação de campo, em mais de 1.000 parcelas, sob condição de chuva natural e simulada, o "National Runoff and Soil Loss Data Center", juntamente com a Universidade de Purdue, desenvolveu uma equação empírica que é conhecida como Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), para prever a perda média anual de material do solo causada, tanto pela erosão laminar como em sulco; uma segunda utilização da EUPS é a de servir para a escolha de práticas conservacionistas (WISCHMEIER, 1976; WISCHMEIER e SMITH, 1978). As variáveis que influenciam a quantidade de perdas de solo foram agrupadas em seis fatores, da seguinte forma:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P,$$

onde: A é a perda média de solo; R, a erosividade da chuva; K, a erodibilidade do solo; L, e S correspondem ao comprimento do declive e à declividade, respectivamente; C é o fator manejo de cultura e P, o fator prática conservacionista.

A erosividade da chuva vem sendo avaliada por meio de dois índices: o EI_{30} e o $KE > 25$, desenvolvidos res

pectivamente, nos Estados Unidos por *WISCHMEIER* e *SMITH* (1958) e na Rodésia por *HUDSON* (1971). Ambos são calculados tendo por base a interação existente entre energia, intensidade e precipitação, com ênfase na intensidade que é o parâmetro que os diferencia; no entanto, atenção especial vem sendo dada à precipitação; já que, por meio dela, pode-se reduzir consideravelmente o trabalho de cálculo dos índices.

O $KE > 25$, por não considerar os valores de intensidade menores que 25 mm/h, parece ser o mais adequado para as regiões tropicais e sub-tropicais, por evitar um valor superestimado. Assim, não haveria nada que suportasse o uso generalizado do EI_{30} , inclusive para estas regiões e caso o argumento de *HUDSON* estiver correto, muitos valores de erosividade deverão, no futuro, ser recalculados.

Uma maneira de se saber se estes índices são diferentes é através de um estudo comparativo que inclua análises estatísticas, de distribuição dos índices no decorrer do ano e de suas probabilidades de ocorrências. Além disso, como várias correlações têm sido efetuadas entre os índices de erosividade e precipitação, parece inevitável que essas correlações sejam, também, experimentadas.

Mantendo o enfoque sobre o objetivo principal, as etapas do desenvolvimento deste trabalho englobam o estudo de:

- valores anuais e mensais dos índices EI_{30} e $KE > 25$ através da análise estatística;

- probabilidade de ocorrência de valores médios anuais dos índices, bem como de valores mensais e máximos individuais;

- ocorrência de chuvas críticas;

- relações que possam existir entre o índice da erosão e precipitação;

- método simplificado para o cálculo do índice EI_{30} (WILKINSON, 1975).

Através deste trabalho pretende-se fornecer mais um ponto para a demarcação das isoerodentes do Estado de São Paulo e além disso, apresentar alternativas que poderiam vir a tornar mais simples a avaliação da erosividade da chuva, de modo que aquelas linhas pudessem ser obtidas num período menor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A erosividade da chuva foi definida, por HUDSON (1971), como sendo a sua capacidade de causar erosão. Sendo uma função de suas características e como estas variam de chuva para chuva, há, desse modo, múltiplas combinações, o que torna a medida da erosividade muito complexa. Assim, uma única característica da chuva não é suficiente para o estabelecimento de uma equação de regressão que represente adequadamente sua erosividade (BERTONI e PASTANA, 1964).

A intensidade da chuva é um parâmetro que dá uma avaliação relativa da capacidade erosiva da chuva, juntamente com a duração e a frequência. Em citação de CHAVES (1977), Foster (1950) experimentou estatisticamente nove índices de intensidade da chuva, concluindo que a intensidade máxima em 30 minutos foi a que apresentou melhor correlação com perdas de solo.

Smith et alii, em 1945, (BARNETT, 1958) estudaram o efeito da intensidade máxima em 5,15 e 30 min e o efeito da umidade antecedente do solo sobre a velocidade máxima da enxurrada provocada por várias chuvas que caíram numa bacia hidrográfica; tendo observado que a intensidade máxima em 30 min foi o parâmetro que mais intimamente se relacionava com a velocidade máxima da enxurrada.

BARNETT (1958) utilizou diversos fatores na tentativa de encontrar uma relação matemática que expressasse a erosividade de chuvas intensas. Os fatores estudados foram: quantidade de chuva, duração, intensidade máxima em 5, 15, 30 e 60 min, tempo de ocorrência, enxurrada e umidade antecedente do solo. Destes fatores, a intensidade máxima em 60 min foi a que apresentou maior coeficiente de correlação com a erosividade.

2.1. O Índice EI₃₀

WISCHMEIER et alii (1958) correlacionaram características de chuva e perdas por erosão, utilizando dados de mais de 8.200 parcelas anuais, distribuídas em diversas estações experimentais, na tentativa de encontrar um parâmetro que avaliasse bem a erosividade da chuva. O fator que apresentou maior relação com perda de solo foi a energia cinética ,

apesar disso, foi observada muita variação, cujas causas não foram explicadas. Através de análise estatística de regressão múltipla, vários fatores foram combinados e aqueles autores acharam que a melhor estimativa de perdas de solo era dada por um parâmetro composto: o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima em 30 min. Experimentalmente, os valores desse produto têm explicado de 72 a 97 % das variações nas perdas causadas por chuvas, em diversos estados norte-americanos (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

WISCHMEIER e SMITH (1958), baseados em dados de distribuição do tamanho das gotas e de suas velocidades terminais, calcularam a energia cinética para diferentes intensidades de chuva e assim, desenvolveram uma equação de regressão através da qual a energia cinética pode ser calculada. Essa equação é a seguinte:

$$e = 916 + 331 \log i, \text{ onde:}$$

e é a energia cinética em t.força.pé/acre.pol e i a intensidade da chuva em pol/h. A conversão para unidades do sistema métrico (FOSTER et alii, 1981) fornece a seguinte expressão:

$$E_c = 12,142 + 8,877 \log I, \text{ onde:}$$

E_c é dada em tm/ha.mm e I em mm/h.

A intensidade máxima em 30 min corresponde à maior quantidade de chuva que ocorre em algum intervalo de 30 min.

A interação $E_c \times I_{30}$ é representada pelo símbolo EI_{30} e quando é feita a média aritmética para um período de 22 anos, tem-se um índice de erosão, ou o fator chuva do local. Segundo *WISCHMEIER (1959)* e *WISCHMEIER e SMITH (1978)* o índice EI_{30} avalia o efeito da erosão por impacto, salpico e turbulência, combinado ainda com a capacidade de transporte da enxurrada.

BAVER (1947) já havia comentado a importância das condições de umidade do solo no início da chuva em relação a erosão e *WISCHMEIER et alii (1958)* introduziram um fator adicional, referente à umidade antecedente; mas, o aumento na precisão do cálculo do índice EI_{30} foi considerado insignificante, razão pela qual os autores concluíram ser desnecessária a sua utilização.

Um outro fator de correção foi proposto por *WISCHMEIER (1976)*, que afirmou que era imprescindível que, para regiões onde o descongelamento da neve produz enxurrada considerável, o potencial erosivo correspondente fosse acrescido ao valor EI_{30} para se ter um fator chuva mais preciso.

2.2. O índice KE > 25

HUDSON (1971) observou que, na África, o índice EI₃₀ não se mostrava tão eficiente quanto 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. Foi, então, verificada a existência de uma elevada correlação da intensidade da chuva com a perda de solo, quando era igual ou superior a 25 mm/h.

As chuvas tropicais apresentam, no seu total, um grande número de chuvas de baixa intensidade, que têm pequeno potencial erosivo. Caso essas chuvas sejam consideradas, o valor anual do índice de erosão seria superestimado. Assim, HUDSON propôs um novo índice de avaliação da capacidade erosiva da chuva, onde são consideradas, apenas, as precipitações com intensidade igual ou maior do que 25 mm/h, que proporciona, para regiões tropicais e sub-tropicais, um valor mais preciso para a erosividade.

SILVA e FREIRE (1978) calcularam o índice KE > 25 para Piracicaba e obtiveram um valor médio anual de 552,7, para um período de 10 anos. Os autores não calcularam o EI₃₀, por acreditarem que o KE > 25 é o índice mais apropriado para as condições da região.

CHAVES (1978) calculou, para uma região da Paraíba, o índice $KE > 20$ em vez de $KE > 25$ devido a alterações nas curvas-padrão por meio das quais a intensidade das chuvas foi analisada; sendo que o valor obtido foi de 476,7.

2.3. Chuvas críticas

Chuvas de diferentes intensidades causam diferentes perdas de solo. Assim, as chuvas denominadas críticas, intensas ou excessivas (BARNETT, 1958) que apresentam elevada energia cinética devido à alta porcentagem de gotas grandes e, geralmente, curta duração, são responsáveis por grande parte da perda de solo.

Yarnell, em 1935, (BARNETT, 1958) definiu chuva crítica como a que apresenta uma intensidade (pol/h) igual ou superior à relação entre o tempo de duração (min) e 100, mais 0,2; ou seja:

$$I \geq \frac{t}{100} + 0,2 \quad \text{ou} \quad I - \frac{t}{100} \geq 0,2.$$

Assim, segundo McGREGOR *et alii* (1980), chuvas com intensidades de 3,0, 1,4, 1,0 e 0,8 pol/h, ocorrendo em 5, 15, 30 e 60 min respectivamente, são consideradas excessivas a críticas, de acordo com a relação de Yarnell.

Após uma chuva intensa, a quantidade de solo erodido, ou seja . desagregado e removido de um dado campo, pode levar à conclusão de que são as chuvas intensas as maiores responsáveis pela erosão. No entanto, o fator tempo deve ser considerado para que essa afirmação seja verdadeira. Uma vez que, para um período de 20 anos, chuvas não tão intensas poderiam causar maior quantidade de perdas de solo do que as chuvas intensas, já que poderiam apresentar uma frequência pequena, conforme comentou WISCHMEIER (1962), Não se deve, portanto, concluir que toda perda significativa de solo esteja associada a chuvas críticas.

2.4. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos

O cálculo do índice de erosão, quer seja o EI_{30} ou o $KE > 25$, requer dados de intensidade de chuva que são obtidos em pluviogramas. O registro desses dados nem sempre está disponível; mesmo porque, muitas vezes, não existem para determinados locais. Além disso, sendo necessário um grande número de anos de observação (22 anos) e análise manual dos pluviogramas, o trabalho se torna muito moroso e extremamente cansativo. Devido a isso, muitos pesquisadores têm tentado correlacionar o índice de erosão com outros fatores, tais como os dados pluviométricos, que são mais facilmente obtidos.

ATESHIAN (1974) obteve duas equações para estimar o índice médio anual de erosão (EI_{30}) em duas áreas distintas, dos Estados Unidos. Estas áreas foram separadas, com base na curva de distribuição da chuva em relação ao tempo. Assim, para a região designada de I e que corresponde ao Hawai, Alaska, o lado litorâneo de Sierra Nevada e Montanhas "Cascade" na California, Oregon e Washington, a equação encontrada foi:

$$R (I) = 27,00 \times P^{2,2}; \quad \text{onde:}$$

R corresponde ao "fator R" da EUPS (EI_{30} médio anual) e P a quantidade de chuva (pol) que apresenta 6 h de duração com uma frequência de 2 anos. Para a região designada de II, que corresponde ao restante dos Estados Unidos, Porto Rico e Ilhas Virgíneas, a equação encontrada foi:

$$R (II) = 16,55 \times P^{2,2}.$$

Fournier, em 1960 (LOMBARDI NETO, 1977), encontrou uma alta correlação entre o total anual de erosão e um coeficiente que relaciona a precipitação média mensal do mês mais quente elevada ao quadrado sobre a precipitação média anual.

LOMBARDI NETO (1977) relacionou o EI_{30} médio mensal com um coeficiente semelhante ao de Fournier, cujo valor é o seguinte:

$$Rc = \frac{p^2}{P} ; \quad \text{onde}$$

p é a precipitação média mensal (mm) e P a precipitação média anual (mm).

A equação encontrada para Campinas, com dados correspondentes a 22 anos de observação, foi:

$$EI = 6,872 \times \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,850} \dots\dots\dots r = 0,991^{**}.$$

Essa equação, no entanto, não deve fornecer boa estimativa para locais que apresentem condições climáticas muito distintas das de Campinas.

McGREGOR *et alii* (1980), estudando chuvas críticas através do Índice de Yarnell, para o norte do Missisipi, correlacionaram o EI_{30} médio mensal (EI_{30m}) com chuvas que contêm um ou mais momentos críticos; tendo chegado à seguinte equação:

$$EI_{30m} = 16,49 P_m + 4,46 \dots\dots\dots r = 0,96^{**}.$$

Esses autores advertiram de que a vantagem dessa equação, já que de posse de registros de chuvas intensas, é ser dispensável todo o moroso cálculo para se chegar ao EI_{30} ; insistindo, porém, que não deve ser generalizada antes que cuidadosas verificações sejam feitas.

2.5. Metodologia de Wilkinson

WILKINSON (1975), na Nigéria, desenvolveu uma metodologia simplificando a de Wischmeier e Smith para o cálculo do índice EI_{30} . De acordo com essa metodologia, a energia cinética é calculada através da intensidade máxima da chuva em 30 min e da precipitação total. A seguinte equação foi calculada para a região oeste da Nigéria:

$$EC = 24,0 + (19,8 + 8,4 \log I_{30}) \cdot P \dots\dots\dots r = 0,996^{**}$$

CASTRO FILHO et alii (1982), no Paranã, obtiveram altas correlações entre as energias cinéticas calculadas pelos métodos de Wischmeier e Smith e de Wilkinson, dando validade ao método simplificado para as regiões estudadas. A equação de regressão encontrada pelos autores foi:

$$EC = 28,814 + (10,800 + 7,896 \log I_{30}) \cdot P \dots\dots\dots r = 0,989^{**}$$

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

Para a obtenção dos índices de erosão foram utilizados os pluviogramas do Posto Meteorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP.

A Figura 1 apresenta um trecho da fita pluviográfica dos dias 15-16/04/81, a qual foi utilizada como exemplo da metodologia usada. Nas linhas verticais está representado o tempo, que é subdividido em intervalos de 10 min, registrando um total de 24 h. Nas horizontais tem-se o registro da altura de chuva, em mm.

Foram analisadas fitas correspondente a um período de 20 anos, já que os demais anos acham-se incompletos.

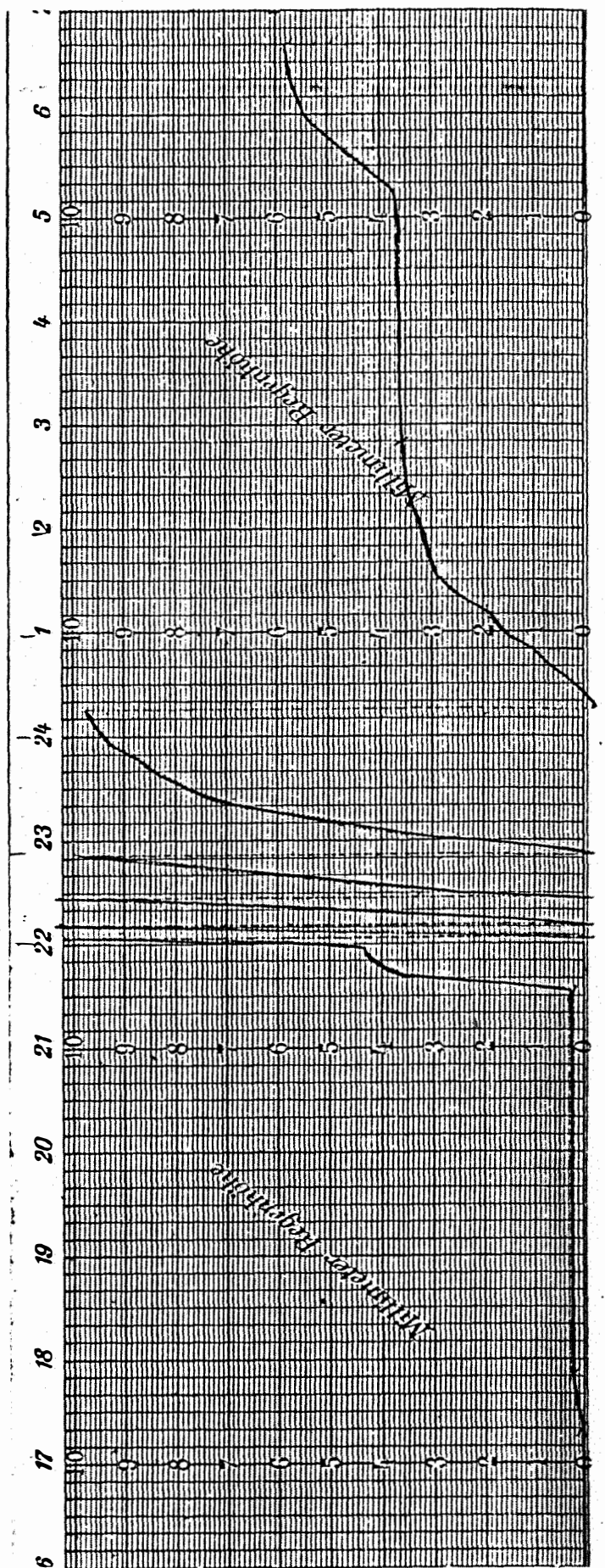


Figura 1 - Fita pluviográfica dos dias 15-16/04/81, Piracicaba - SP.

3.2. Método

3.2.1. Índice de erosão

Para a determinação do índice EI_{30} foram analisadas as chuvas maiores do que 12,5 mm ou, quando menores, aquelas que apresentarem uma intensidade superior a 25,0 mm/h, conforme citação de *WISCHMEIER e SMITH (1978)*. Precipitações separadas por intervalos superiores a 6 h foram consideradas precipitações diferentes, conforme esses mesmos autores.

As alturas de chuva foram cotadas não a intervalos regulares, de 10 em 10 min, por exemplo, como foi realizado por *PEREIRA et alii (1978)* e sim, de acordo com as inflexões, ou seja, mudanças de direção das linhas padrão.

A Tabela 1 apresenta, em suas duas colunas iniciais, os valores cotados da chuva tomada como exemplo. Assim, tem-se uma precipitação de 0,3 mm em um período de 30 min; seguindo-se um período de 3 h e 45 min sem chuva, quando, então, se reinicia com 2,7 mm em 10 min, e assim por diante.

A partir da precipitação e do tempo da sua duração, proporcionalmente, chegou-se ao valor da intensidade (I), em mm/h, que se encontra na 3.^a coluna da Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo do cálculo de EI_{30} e $KE > 25$ - precipitação do dia 15-4-81.

P (mm)	T (min)	I (mm/h)	Ec	Ec x P	Ec x P x (I > 25)
0,3	30	0,6	10,17	3,05	
2,7	10	16,2	22,88	61,78	
0,8	05	9,6	20,86	16,69	
0,3	05	3,6	17,08	5,12	
0,3	05	3,6	17,08	5,12	
5,8	10	34,8	25,83	149,81	5.213,39
10,3	08	77,2	28,89	297,57	22.972,40
5,1	10	30,6	25,33	129,18	3.952,91
8,8	10	52,8	27,43	241,38	12.744,86
3,5	10	21,0	23,88	83,58	
3,5	10	21,0	23,88	83,58	
3,0	10	18,0	23,28	69,84	
2,5	10	15,0	22,58	56,45	
1,7	10	10,2	21,09	35,85	
1,1	10	6,6	19,42	21,36	
1,2	20	3,6	17,08	20,49	
0,4	10	2,4	15,52	6,21	
0,3	15	1,2	12,84	3,85	
1,3	30	2,6	15,82	20,57	
0,6	10	3,6	17,08	10,25	
0,2	10	1,2	12,84	2,57	
1,0	20	3,0	16,38	16,38	
0,8	50	0,9	11,73	9,38	
0,1	10	0,6	10,17	1,02	
0,1	10	0,6	10,17	1,02	
1,8	45	2,4	15,52	27,94	
0,4	40	0,6	10,17	4,07	
Total	57,9	-	-	1.384,12	44.883,56

$$I_{30} = 25,1 \dots 50,2 \text{ mm/h} \quad EI_{30} = \sum (Ec \times P) \times I_{30} \times 10^{-3} = 69,48$$

$$KE > 25 = \sum (Ec \times P \times I > 25) \times 10^{-3} = 44,88$$

A energia cinética (E_c) foi calculada a partir da equação:

$$E_c = 12,142 + 8,877 \log I.$$

WISCHMEIER e SMITH (1978) estabeleceram um limite de I de 76,2 mm/h, fixando, a partir daí, a energia cinética por acharem que, para valores mais altos de I , o aumento do tamanho médio das gotas de chuva é insignificante. Este critério não foi levado em conta neste trabalho; pois, em Piracicaba, não foram tão raras as intensidades superiores a 76,2 mm/h, como são nos Estados Unidos.

O valor de EI_{30} foi calculado através do produto da energia cinética pela máxima intensidade em 30 min, convertida a mm/h. Obteve-se esse produto para cada trecho de chuva e fez-se a somatória. Dessa forma,

$$EI_{30} = \sum (E_c \times P) \times I_{\max 30} \times 10^{-3},$$

sendo o número 10^{-3} um fator constante, utilizado apenas para se obter um valor menor, sem haver alteração nas unidades.

A somatória de todos os EI_{30} de um dado mês forneceu o valor de EI_{30} mensal e a somatória de todos os va

lores mensais, o anual. Efetuou-se, então, a média para a obtenção do índice de erosão.

Para o cálculo do $KE > 25$, foram consideradas apenas os trechos do pluviograma, cuja precipitação apresentou intensidades iguais ou superiores a 25,0 mm/h. Na Tabela 1, estes trechos encontram-se grifados. Segundo o que foi dito,

$$KE > 25 = \sum E_c \times P \times (I > 25) \times 10^{-3}$$

e de modo análogo ao do EI_{30} , calculou-se, também, o $KE > 25$ mensal e anual.

3.2.2. Distribuição mensal e estacional do índice de erosão.

Para se obter a distribuição mensal, usaram-se os valores médios mensais em relação ao valor médio anual, resultando os percentuais proporcionais de cada mês. Para a distribuição estacional efetuou-se a somatória dos valores para cada estação do ano; por exemplo: para o verão, foram incluídos os valores dos índices de erosão correspondentes ao período de 21 de dezembro a 21 de março.

3.2.3. Tempo de recorrência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão.

Para o cálculo do tempo de recorrência, os índices anuais de erosão foram colocados em ordem decrescente de acordo com a fórmula de Kimbal, cuja expressão é a seguinte:

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

Determinou-se, então o tempo de recorrência (T), em anos, que um certo índice apresenta, sendo N, o número de anos de observação e m, o número de ordem na coluna, o qual varia de 1 a 20.

A probabilidade (P) de ocorrência foi calculada através do inverso de T e convertida em porcentagem, ou seja:

$$P = \frac{1}{T} \times 100.$$

3.2.4. Determinação das chuvas críticas

Na obtenção de chuvas críticas foi utilizada a relação de Yarnell (1935), que é a seguinte:

$$I - \frac{t}{100} \geq 0,2;$$

onde: I é a intensidade em pol/h e t , o tempo de duração em min. Esta relação foi aplicada a cada trecho em que foi dividida a representação cada precipitação.

3.2.5. Coeficiente de chuva e sua relação com o Índice de erosão

O coeficiente de chuva (p^2/P) foi calculado para cada mês, usando-se os valores médios da precipitação do mesmo período que foi usado para a obtenção do índice de erosão.

Buscou-se, então, uma correlação entre o índice de erosão médio mensal e o coeficiente de chuva, observando-se que a equação que melhor exprime esta relação é do tipo exponencial.

3.2.6. Cálculo do EI_{30} pela metodologia de Wilkinson

Inicialmente, efetuou-se, para todas as chuvas, um novo cálculo da energia cinética através da fórmula proposta por WILKINSON (1975), que é uma modificação da equação de Wischmeier, ou seja:

$$Ec' = (12,142 + 8,877 \log I_{30}) \times P$$

Nessa equação, I_{30} é a intensidade máxima em 30 min, em mm/h, e P, a precipitação total da chuva, em mm.

Tentou-se, então, uma regressão linear entre os dois valores de energia cinética; ou seja, o que foi calculado de acordo com Wischmeier e Smith (Ec) e o que foi calculado de acordo com Wilkinson (Ec').

A equação encontrada foi substituída na equação geral de cálculo do EI_{30} , tornando possível o cálculo do índice de erosão apenas com os valores de I_{30} e P.

4. RESULTADOS

A seguir, estão apresentados os dados obtidos assim como o seu estudo estatístico.

4.1. Índice de erosão

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores mensais e anuais dos índices EI_{30} e $KE > 25$, respectivamente.

O valor médio anual do índice EI_{30} , para um período de 20 anos, foi de 584,1 tm.mm/ha.h.ano, com um desvio padrão de 219,8, erro padrão da média de 49,2 tm.mm/ha.h.ano e um coeficiente de variação de 37,6 %. Nesse período, os valores variaram de 362,26 (1978) a 974,37 (1960) tm.mm/ha.h.

Tabela 2 - Valores mensais e anuais do Índice EI₃₀.

Mês Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total anual
1982	151,24	151,76	61,40	71,70	22,27	102,98	-	7,72	-	108,57	119,58	67,66	864,89
1981	146,81	40,71	23,65	73,70	14,08	24,03	-	-	-	49,31	119,89	140,79	632,97
1980	61,31	111,31	13,78	103,14	-	8,77	-	3,78	12,02	15,56	46,43	88,69	464,79
1979	50,77	92,99	43,81	44,36	38,09	-	1,12	9,90	27,11	21,77	28,86	35,07	393,85
1978	36,42	13,86	45,24	6,31	40,65	45,02	16,87	-	7,19	23,62	34,25	92,83	362,26
1977	153,09	37,74	103,17	15,61	-	17,26	-	-	42,44	28,56	36,14	61,56	495,57
1976	195,03	128,93	92,31	-	-	9,14	3,29	-	30,91	52,77	97,02	91,99	701,39
1975	127,86	204,80	14,92	27,86	-	-	-	-	18,22	22,22	128,42	295,18	839,48
1970	78,60	189,49	12,88	49,06	25,67	-	-	17,06	28,92	52,02	22,35	42,90	518,95
1967	125,81	99,86	85,22	-	-	14,03	-	-	40,15	99,54	21,74	61,81	548,16
1966	218,82	99,08	8,06	1,28	9,09	-	-	4,05	91,54	60,61	31,04	33,36	556,93
1965	191,16	44,29	30,98	13,28	16,68	-	-	-	81,19	8,33	17,55	223,82	627,28
1964	19,81	107,99	-	-	13,50	-	26,39	15,58	-	66,65	38,71	82,92	371,55
1963	122,94	40,16	17,15	-	-	-	-	-	1,60	74,95	60,53	193,23	510,56
1962	74,29	149,84	248,54	1,71	2,57	6,21	-	1,97	-	45,48	16,95	119,81	667,37
1961	69,41	69,70	55,70	34,10	-	-	-	-	-	3,56	50,89	79,29	362,65
1960	315,24	223,72	46,06	-	14,08	18,79	-	2,85	7,35	60,02	33,25	253,01	974,37
1959	134,93	72,79	196,99	1,95	1,44	0,98	-	19,99	8,34	16,89	195,69	101,04	751,03
1958	87,54	73,14	83,01	59,26	30,83	31,14	4,04	-	23,96	32,60	52,12	66,57	544,21
1957	142,55	31,98	85,84	15,11	-	5,24	3,35	4,77	22,79	11,94	0,29	169,45	493,31
Média mensal	125,18	99,22	63,44	25,92	11,45	14,18	2,75	4,38	22,18	42,75	57,58	115,05	584,08

Tabela 3 - Valores mensais e anuais do índice KE > 25.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total anual
1982	81,52	167,37	64,56	63,73	9,51	90,97	-	1,89	-	74,03	120,34	37,85	711,77
1981	168,13	45,38	17,26	42,88	10,99	3,31	-	-	-	26,22	113,63	142,63	570,64
1980	56,81	116,78	10,41	115,40	-	-	-	9,49	6,79	23,25	40,94	104,93	484,80
1979	44,33	106,62	53,52	63,21	38,19	-	2,74	6,65	40,83	22,37	36,40	28,05	442,91
1978	16,69	7,62	32,72	5,19	12,70	31,19	12,86	-	7,34	28,73	29,94	61,35	246,33
1977	139,54	48,51	76,89	5,07	-	9,39	-	-	27,16	9,39	26,74	63,48	406,17
1976	193,20	127,37	86,49	-	-	3,47	-	-	35,09	34,34	85,35	87,34	652,65
1975	101,10	142,97	25,98	30,28	-	-	-	-	5,61	38,26	130,16	278,45	752,81
1970	48,21	176,49	20,40	69,71	4,62	-	-	-	38,69	76,81	29,11	54,13	518,17
1967	103,44	138,21	93,95	-	-	8,87	-	-	31,95	68,90	32,45	77,19	554,96
1966	202,59	108,99	4,27	2,42	19,81	-	-	-	79,21	66,27	27,42	16,54	527,52
1965	152,06	49,93	25,62	14,89	6,66	-	-	-	47,14	23,50	7,43	194,11	521,34
1964	15,08	134,59	-	-	19,32	-	17,18	22,06	-	50,86	57,91	71,59	388,59
1963	150,95	32,60	22,17	-	-	-	-	-	6,67	62,58	38,53	200,88	514,38
1962	89,88	163,15	173,80	6,07	10,67	-	-	-	-	24,99	19,25	89,64	577,45
1961	70,41	70,02	69,93	21,94	-	-	-	-	-	6,00	50,50	121,38	410,18
1960	344,49	171,15	72,69	-	6,55	13,26	-	-	11,96	84,54	47,06	156,41	908,11
1959	117,30	76,74	188,78	5,19	2,42	-	-	13,29	6,66	-	130,65	104,48	652,51
1958	38,91	80,18	67,95	40,02	15,39	15,69	12,13	-	19,36	37,94	46,66	72,56	446,79
1957	67,96	21,10	63,30	14,94	-	4,65	-	-	19,52	7,74	1,58	174,96	375,75
Média mensal	110,13	99,29	58,53	25,05	7,98	9,04	2,25	2,67	19,19	38,34	53,95	106,89	533,19

Para o índice $KE > 25$, o valor médio anual foi de 533,2 tm.mm/ha.h.ano, com um desvio padrão de 150,6, erro padrão da média de 33,7 tm.mm/ha.h.ano e um coeficiente de variação de 28,2%. Os valores variaram de 246,3 (1978) a 908,1 (1960) tm.mm/ha.h.

Foi observado que os dados mensais e anuais dos índices EI_{30} e $KE > 25$ não apresentavam uma distribuição normal; assim, para a execução da análise estatística, após algumas tentativas, para que a normalidade fosse alcançada, optou-se pela seguinte transformação: $\log(x + 5,0000)$; sendo x o valor total mensal dos índices.

Na análise das médias anuais dos dois índices, foi comprovada estatisticamente a homogeneidade de suas variâncias. Testou-se, então, a igualdade das duas médias, não se tendo encontrado evidências que levassem à rejeição desta hipótese.

4.2. Distribuição mensal e estacional do índice de erosão

Na Figura 2, está representada a distribuição dos valores médios mensais dos índices EI_{30} e $KE > 25$; ambos mantêm um comportamento semelhante no decorrer do ano, sendo que em quase todos os meses, exceção a fevereiro, o $KE > 25$ apresenta-se menor do que o EI_{30} .

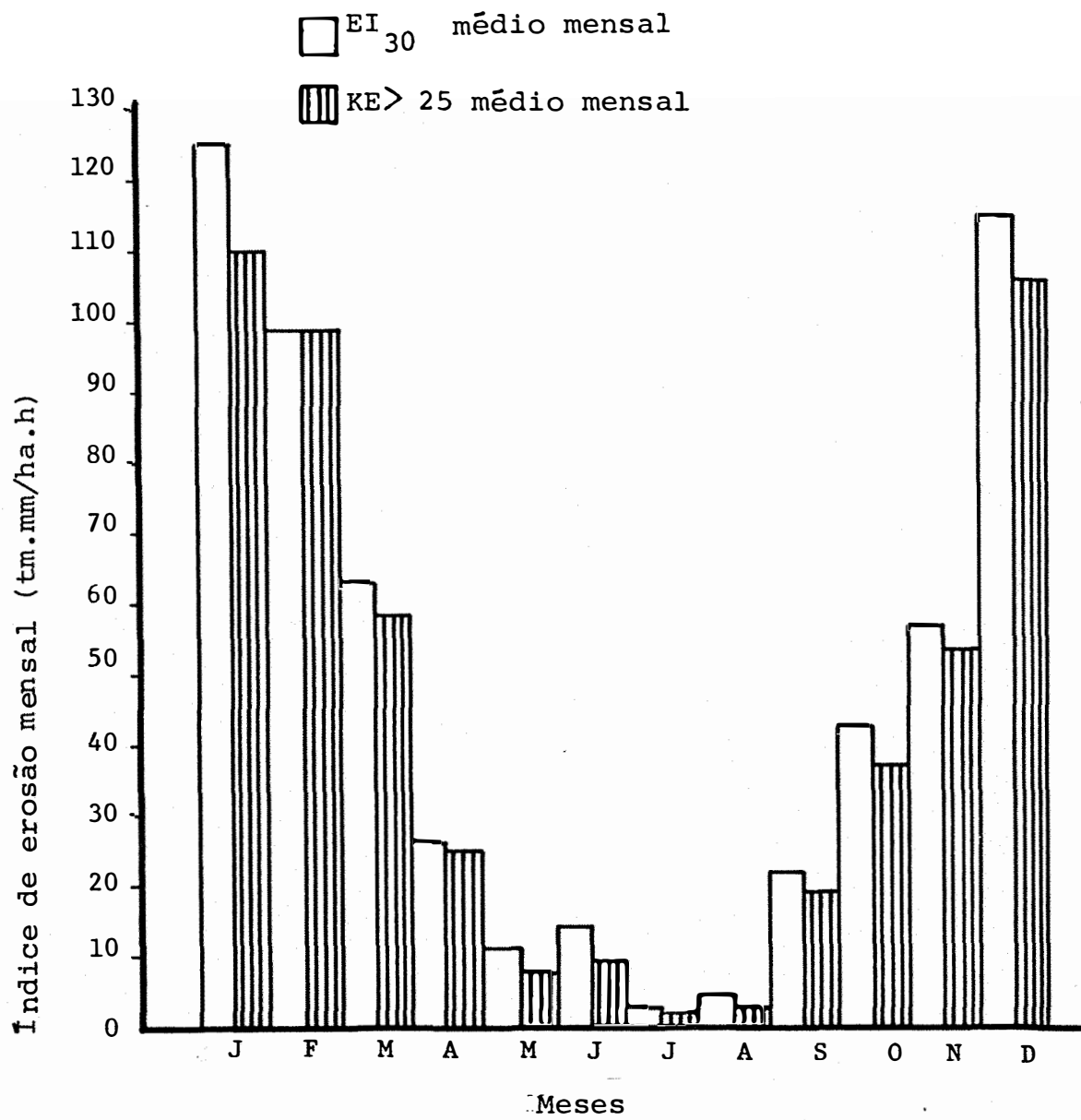


Figura 2 - Distribuição mensal dos índices EI_{30} e $KE > 25$.

Os valores mais elevados, para os dois índices, são os dos meses de dezembro a fevereiro e isso pode ser comprovado na Tabela 4, onde estão expressos os valores percentuais do índice médio mensal em relação ao total médio anual, além dos percentuais correspondentes às estações do ano. Observa-se nesta tabela que os valores da erosividade, nos meses de dezembro a fevereiro, correspondem a 58,0 e 59,3 % do total anual, para o EI_{30} e $KE > 25$, respectivamente.

Ainda, na Tabela 4 pode-se constatar que o verão é a estação com a mais elevada erosividade; a estação chuvosa, é responsável por 86,1 e 87,5 % do total anual do valor da erosividade, para ambos os índices.

Foi efetuada a análise de variância (teste F) entre os valores médios mensais dos índices, que se encontram na última coluna das Tabelas 2 e 3. Somente foi encontrada diferença significativa entre os meses de janeiro, junho e agosto, ao nível de 5 %, 1 % e 5 %, respectivamente.

Na Figura 3, estão apresentadas as curvas de distribuição dos índices de erosão acumuladas em função do tempo, sendo estas muito semelhantes no decorrer de todos os meses.

Tabela 4 - Distribuição mensal e estacional dos índices
 EI_{30} e $KE > 25$.

Mês	EI_{30} %	$KE > 25$ %
Janeiro	21,4	20,6
Fevereiro	16,9	18,6
Março	10,9	10,9
Abril	4,4	4,7
Maiο	1,9	1,5
Junho	2,4	1,7
Julho	0,5	0,4
Agosto	0,8	0,5
Setembro	3,8	3,6
Outubro	7,3	7,2
Novembro	9,9	10,1
Dezembro	19,7	20,1
Primavera	33,07	33,24
Verão	51,59	52,39
Outono	11,61	10,93
Inverno	3,73	3,43
Estação chuvosa	86,1	87,5
Estação seca	13,8	12,4

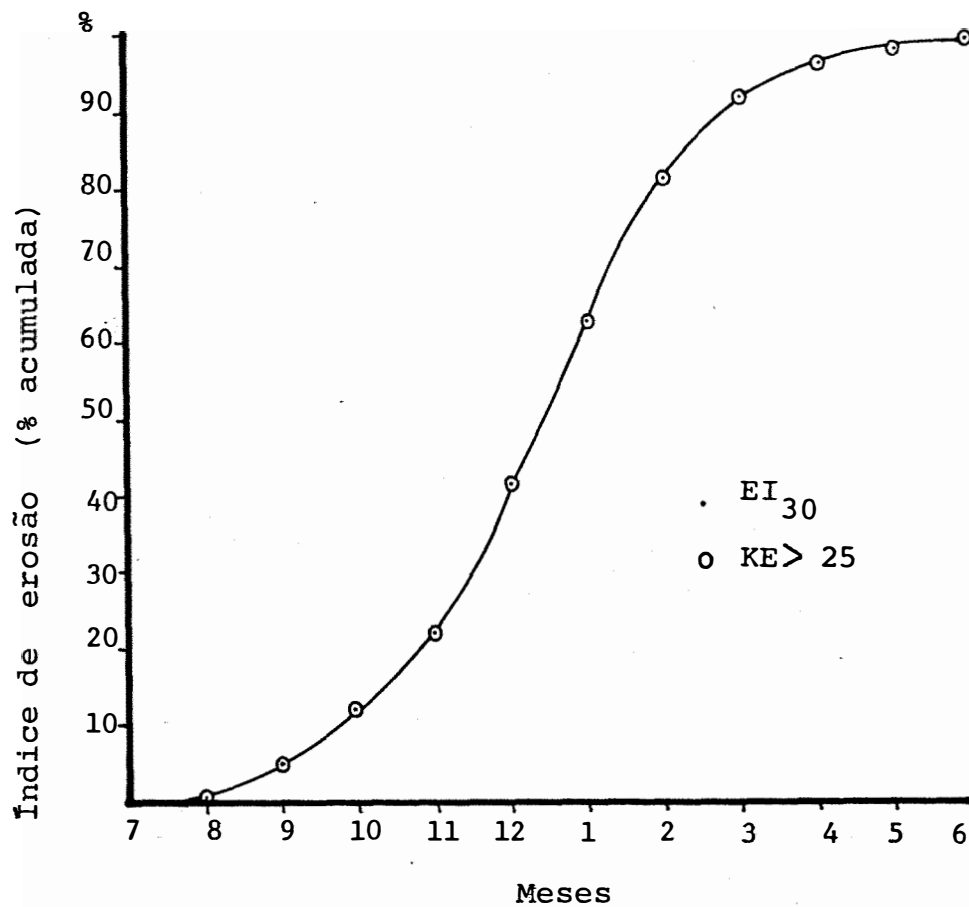


Figura 3 - Curvas de distribuição dos índices EI₃₀ e KE > 25.

Uma comparação entre a precipitação e o índice EI_{30} , ambos em percentagem do valor médio mensal, sobre o médio anual, é apresentada na Figura 4. Os valores do índice $KE > 25$ foram omitidos por serem muito próximos aos do EI_{30} . Observa-se que há um comportamento semelhante entre ambos, ou seja: onde a precipitação é elevada, o EI_{30} também é e quando diminui, como nos meses de julho e agosto, o mesmo ocorre ao EI_{30} . Nos meses de maio a outubro, é pronunciada a preponderância da precipitação sobre o EI_{30} , o inverso acontecendo nos demais meses.

4.3. Frequência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão

A seguir, está apresentada a frequência e a probabilidade de ocorrência dos valores anuais, mensais, médio mensal e máximo individual mensal dos índices de erosão.

Foram usados dados de 20 anos; uma vez que *WISCHMEIER (1958)* afirmou que esse período leva a uma aproximação aceitável da frequência do índice de erosão sendo, no entanto, desejável um período de 25 anos ou mais.

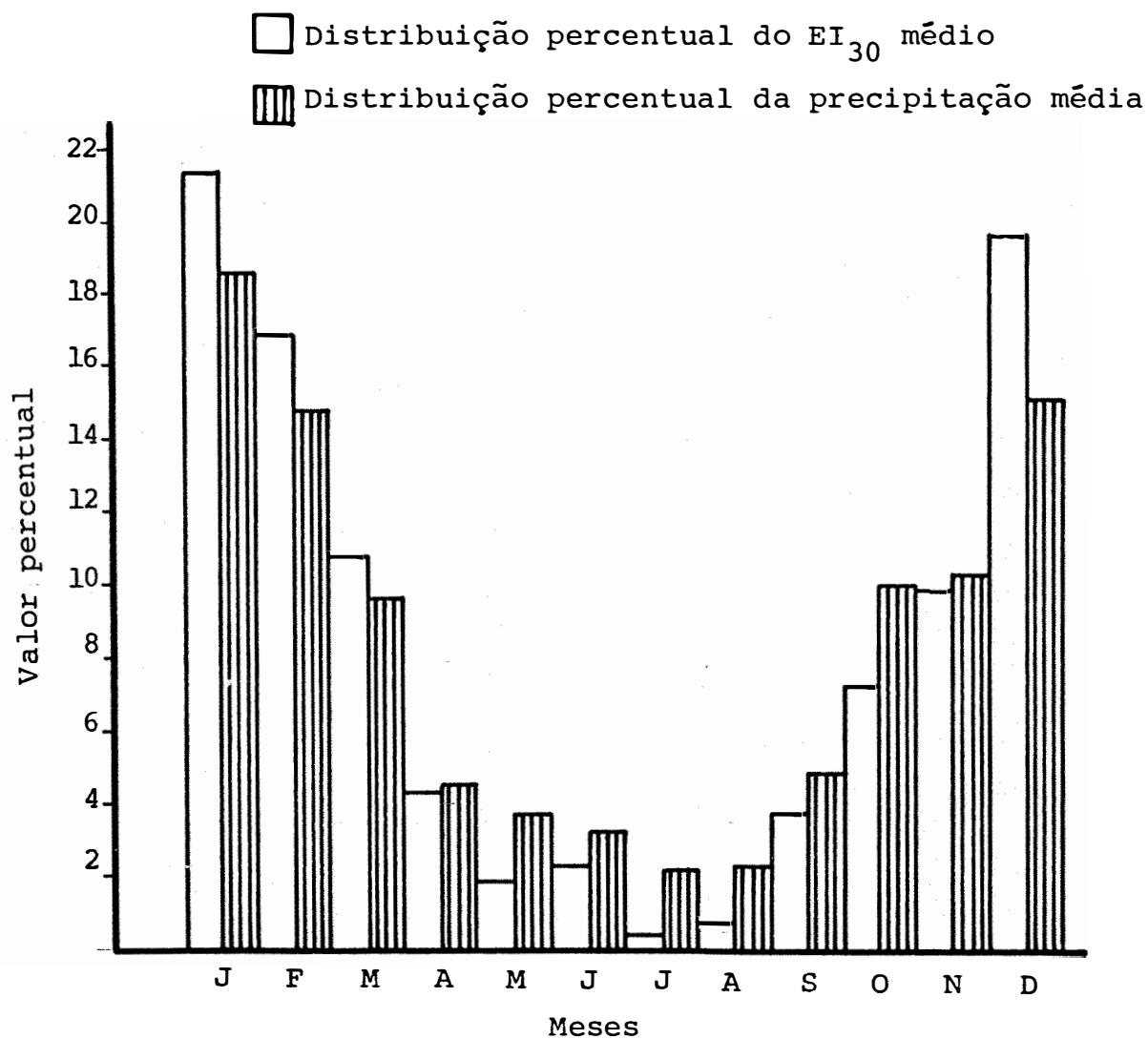


Figura 4 - Distribuição mensal percentual do EI_{30} e da precipitação em Piracicaba.

4.3.1. Valores anuais

A Tabela 5 apresenta os valores de frequência e probabilidade de ocorrência dos índices anuais de erosão.

Os valores máximo e mínimo de EI_{30} encontrados no período de anos estudados foram de 947,37 e 362,26 tm.mm/ha.h. De acordo com a Tabela 6, apresentam, para um período de 20 anos, a frequência de 21,0 e 1,05 anos e a probabilidade de ocorrência de 4,8 % e 95,2 %, respectivamente. Assim, espera-se que ocorra um valor igual ou superior a 947,37 tm.mm/ha.h uma vez em um período de 20 anos e igual ou superior a 362,26 tm.mm/ha.h cerca de 20 vezes para o mesmo período de tempo.

4.3.2. Valores mensais

Nas Figuras 5 e 6 estão representados graficamente os valores mensais, que deverão ocorrer a 3 níveis de probabilidade ou seja, 4,8 %, 47,6 % e 95,2 %, dos índices EI_{30} e $KE > 25$, respectivamente; os demais níveis de probabilidade não foram representados por seguirem tendências intermediárias. Os valores para a execução dos gráficos citados foram retirados das Tabelas 6 e 7, apresentadas no apêndice, que mostra a probabilidade de ocorrência dos valores mensais, para os dois índices.

Tabela 5 - Frequência e probabilidade de ocorrência do índice anual de erosão (EI₃₀ e KE > 25).

EI ₃₀		KE > 25		Número de ordem		Frequência	Probabilidade
Ano	Valor anual	Ano	Valor anual	m	T*	(ano)	%**
1960	947,37	1960	908,11	1	21,00		4,8
82	864,89	75	752,81	2	10,50		9,5
75	839,48	82	711,77	3	7,00		14,3
59	751,03	76	652,65	4	5,25		19,1
76	701,39	59	652,51	5	4,20		23,8
62	667,37	62	577,45	6	3,50		28,6
81	632,97	81	570,64	7	3,00		33,3
65	627,28	67	554,96	8	2,62		38,2
66	556,93	66	527,52	9	2,33		42,9
67	548,16	65	521,34	10	2,10		47,6
58	544,21	70	518,17	11	1,91		52,4
70	518,95	63	514,38	12	1,75		57,1
63	510,56	80	484,80	13	1,62		61,7
77	495,57	58	446,79	14	1,50		66,7
57	493,31	79	442,91	15	1,40		71,4
80	464,79	61	410,18	16	1,31		76,3
79	393,85	77	406,17	17	1,23		81,3
64	371,55	64	388,59	18	1,17		85,5
61	362,65	57	375,75	19	1,10		90,9
78	362,26	78	246,33	20	1,05		95,2

$$*T = \frac{N + 1}{m} \quad **P = \frac{1}{T} \quad \times 100$$

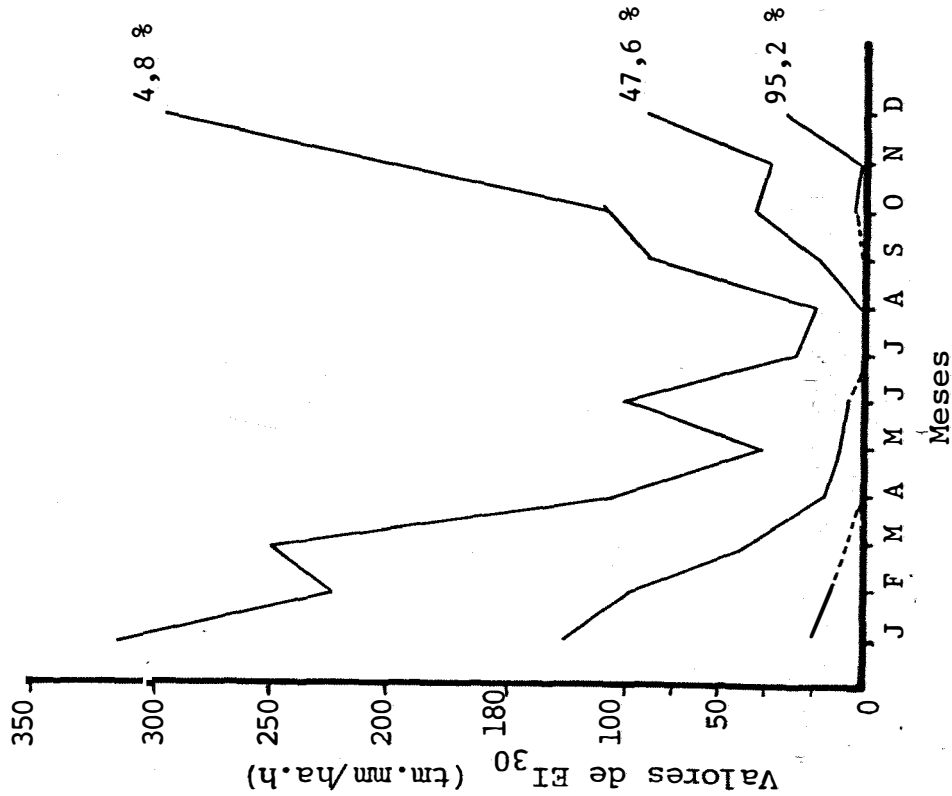


Figura 5 - Distribuição mensal do índice EI₃₀ em diferentes níveis de probabilidade de.

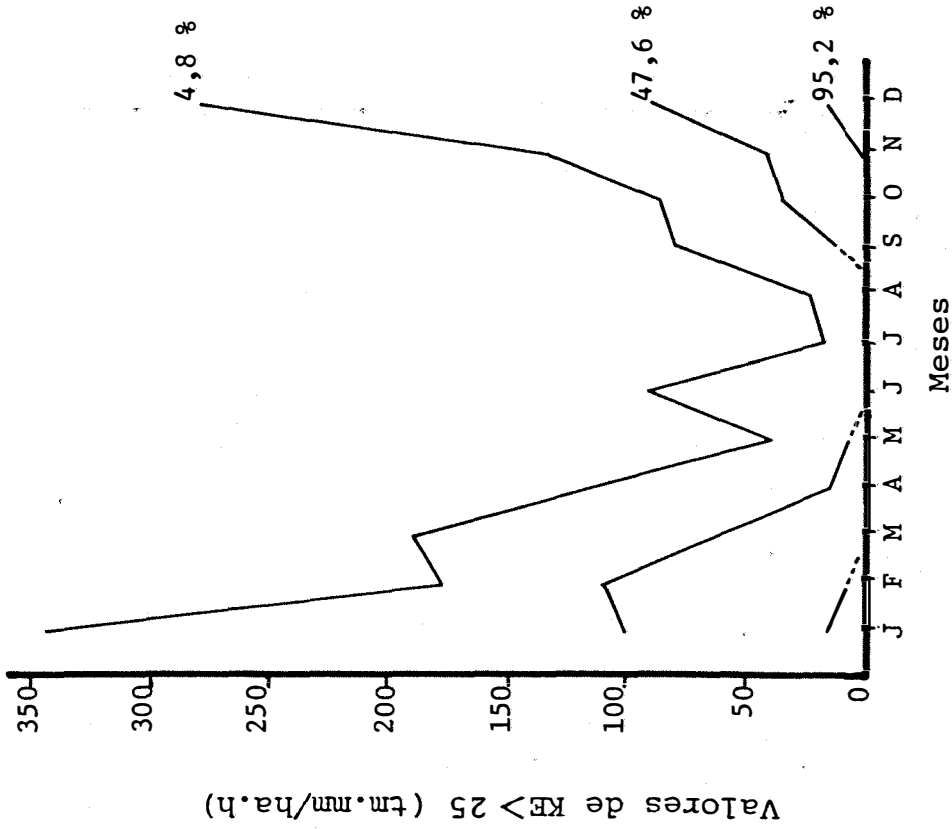


Figura 6 - Distribuição mensal do índice KE > 25 em diferentes níveis de probabilidade de.

Através de interpolação linear, chegou-se à probabilidade referente aos valores médio mensais dos índices EI_{30} e $KE > 25$ (Tabela 8, no apêndice).

4.3.3. Valores máximos individuais

Nas Figuras 7 e 8 estão representados graficamente os valores máximos individuais dos índices EI_{30} e $KE > 25$, nos meses do ano, que deverão ocorrer a 4 níveis de probabilidade ou seja, 4,8 %, 19,1 %, 47,6 % e 95,2 %. Estes valores foram retirados das Tabelas 9 e 10, apresentadas no apêndice, que mostram os valores máximos individuais dos dois índices, em cada mês dos anos estudados, bem como suas probabilidades de ocorrência.

4.4. Chuvas críticas

Observou-se que muitas das precipitações usadas para o cálculo do índice EI_{30} , ou seja aquelas maiores do que 12,5 mm ou, se menores, de intensidade superior a 25,0 mm/h, apresentavam um ou mais momentos críticos; assim, em algum momento da precipitação, a relação $I - t/100$ igualou ou excedeu a 0,2.

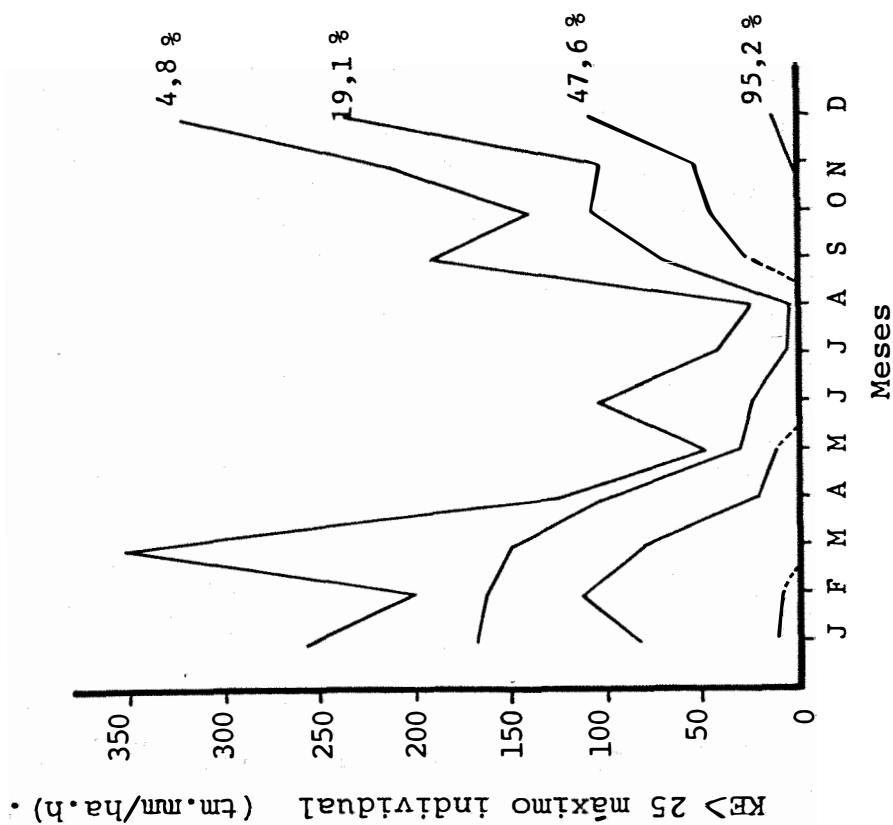


Figura.7 - Distribuição mensal dos valores máximos individuais do índice EI₃₀, em diferentes níveis de probabilidade.

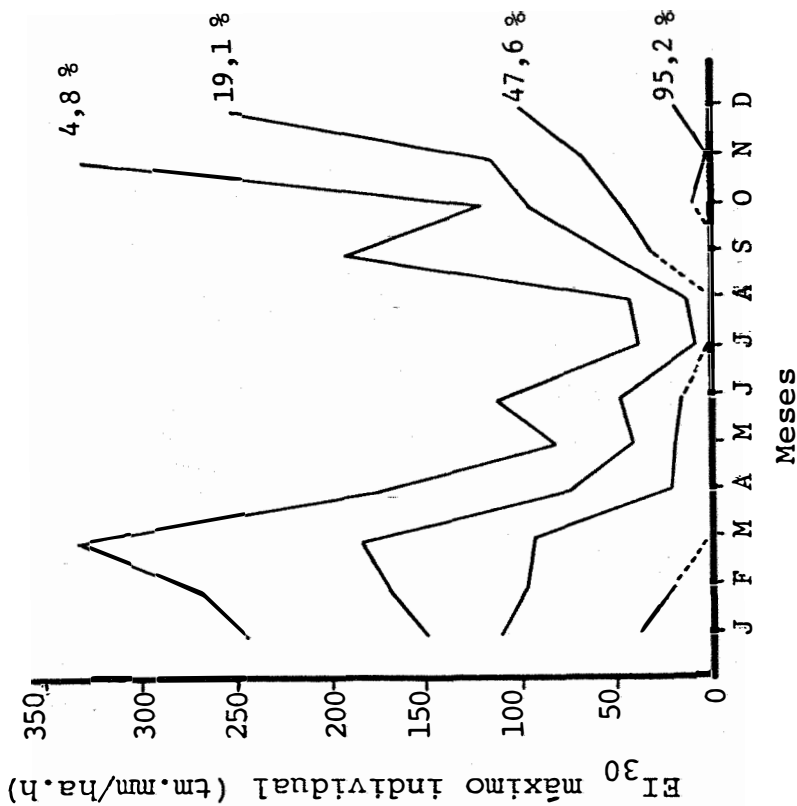


Figura 8 - Distribuição mensal dos valores máximos individuais do índice KE > 25, em diferentes níveis de probabilidade.

Na Tabela 11 estão apresentados os valores da precipitação total anual, da precipitação usada para o cálculo dos índices EI_{30} e $KE > 25$ e das que apresentaram um ou mais momentos críticos. É notória a proximidade entre os valores das precipitações usadas no cálculo do EI_{30} e das que apresentaram momentos críticos, chegando a coincidir em alguns anos (1982, 78, 75, 65, 63, 61 e 57).

4.5. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos

4.5.1. Índice de erosão e coeficiente de chuva

Na Figura 9 estão apresentadas graficamente as equações obtidas através de regressão linear entre o índice de erosão mensal e o coeficiente de chuva, $R_c (p^2/P)$. Numericamente, as equações obtidas para ambos foram:

$$EI_{30m} = 7,278 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,807} \dots\dots\dots r = 0,970^{**}$$

$$KE > 25m = 5,321 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,887} \dots\dots\dots r = 0,971^{**},$$

sendo :

EI_{30m} o índice EI_{30} médio mensal, $KE > 25 m$ o índice $KE > 25$ médio mensal, p a precipitação média mensal e P a

Tabela 11 - Precipitação total anual, erosivas e com chuvas críticas (mm).

Ano	Pt ⁽¹⁾	PEI ₃₀ ⁽²⁾	PKE > 25 ⁽³⁾	Py ⁽⁴⁾
1982	1.723,3	1.356,9	1.249,4	1.356,9
1981	1.235,7	1.063,0	785,6	1.012,0
1980	1.088,7	940,3	732,9	888,4
1979	1.000,2	761,3	561,2	708,2
1978	874,0	617,7	477,0	617,7
1977	1.276,6	866,8	698,6	839,7
1976	1.601,5	1.103,8	907,7	1.024,8
1975	1.275,6	919,6	829,5	919,6
1970	1.358,4	1.059,0	751,3	997,0
1967	1.291,0	971,1	863,1	928,7
1966	1.136,2	841,6	689,4	767,5
1965	1.402,0	1.046,2	810,1	1.046,2
1964	985,7	707,2	566,7	691,2
1963	910,5	731,5	618,5	731,5
1962	1.392,5	1.020,7	793,0	979,4
1961	960,7	646,9	589,6	646,9
1960	1.477,7	1.186,3	1.020,7	1.139,4
1959	1.275,0	1.093,6	859,5	1.066,5
1958	1.455,5	1.157,4	906,4	1.139,4
1957	1.243,8	1.019,0	909,4	1.019,0

(1) Pt = precipitação total do ano.

(2) PEI₃₀ = precipitação usada no cálculo do índice EI₃₀.

(3) PKE > 25 = precipitação usada no cálculo do índice KE > 25.

(4) Py = precipitação que apresenta algum momento crítico, segundo Yarnell.

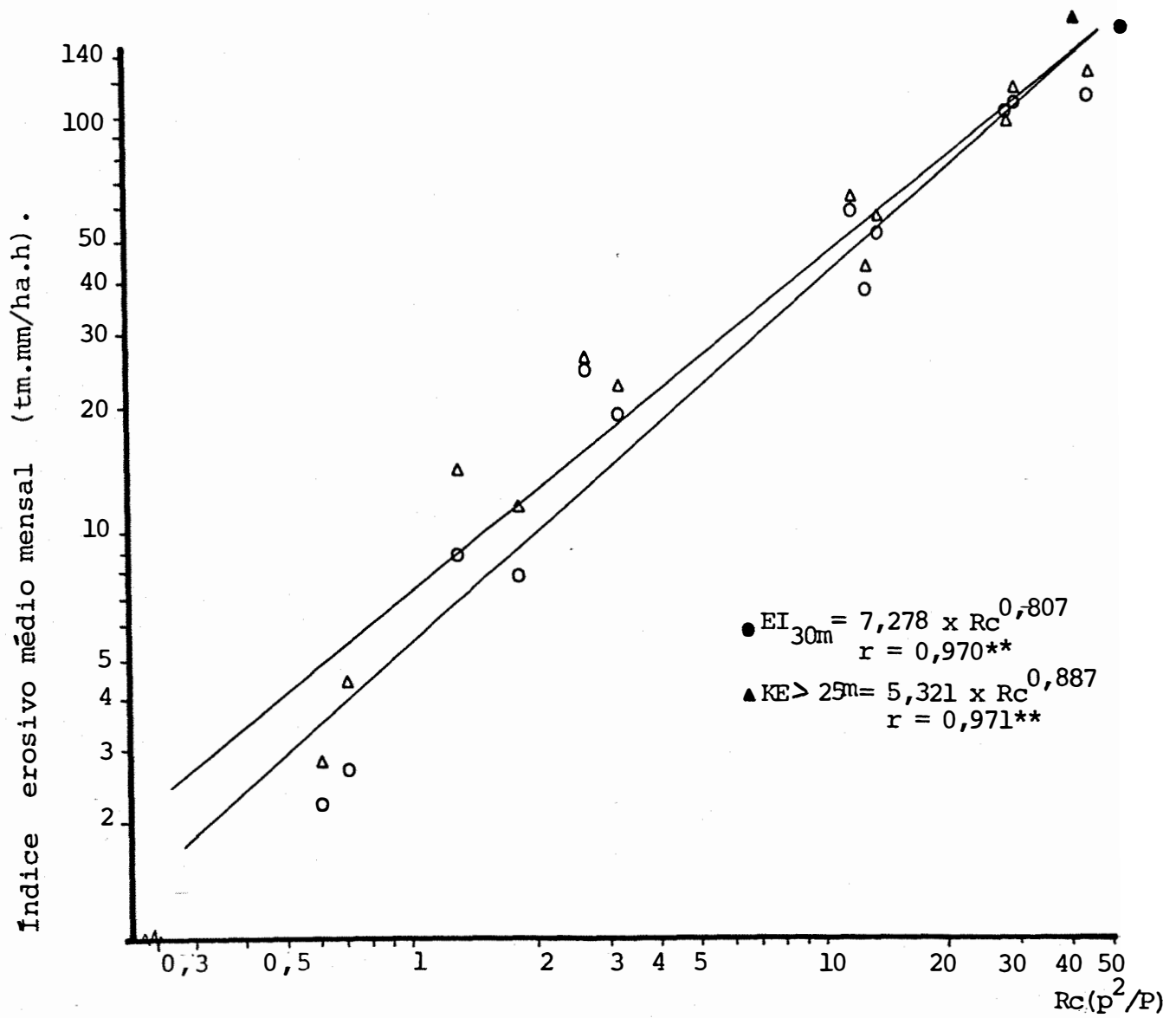


Figura 9 - Curvas de regressão entre os índices erosivos médios mensais (EI_{30m} e $KE > 25m$) e o coeficiente de chuva, $Rc (p^2/P)$.

precipitação média anual de Piracicaba, para um período de 20 anos de observação.

Como se observa na Figura 9, a curva geométrica descreve uma função potencial do tipo $y = \alpha \cdot x^\beta$, com $\beta \geq 1$. No entanto, ao deduzir-se a equação, o coeficiente de correlação encontrado foi muito inferior ao da equação onde se tem o $\beta < 1$. Optou-se, assim, por essa equação com o coeficiente de correlação elevada, significativo ao nível de 1%.

4.5.2. Índice de erosão e precipitação

Foi observado que existe um elevado coeficiente de correlação entre os índices de erosão médios anuais (EI_{30m} e $KE > 25m$) e a precipitação média mensal (P_m). As equações obtidas foram:

$$EI_{30m} = 0,609 P_m - 14,659 \dots\dots\dots r = 0,984^*$$

$$KE > 25m = 0,571 P_m - 14,948 \dots\dots\dots r = 0,979^{**}$$

No entanto, quando se buscou uma correlação entre os valores médio mensal dos índices (EI_{30m} e $KE > 25m$) e as respectivas precipitações utilizadas no seu cálculo (pre

precipitação útil: $P_{EI_{30m}}$ e $P_{KE > 25}$), observou-se que no caso do EI_{30m} a correlação mostrou-se muito baixa, ao contrário do $KE > 25m$ ou seja:

$$EI_{30m} = 21,659 + 0,339 P_{EI_{30}} \dots\dots\dots r = 0,477$$

$$KE > 25m = 0,735 P_{KE > 25} - 3,404 \dots\dots\dots r = 0,974*.$$

Foi encontrada, também, uma elevada correlação entre o índice EI_{30} médio mensal (EI_{30m}) e as precipitações médias mensais que apresentavam um ou mais momentos críticos, segundo Yarnell (Py). A equação obtida foi:

$$EI_{30m} = 0,751 Py - 6,511 \dots\dots\dots r = 0,980**.$$

As Figuras 10 e 11 representam graficamente as equações acima citadas, com exceção da relação entre EI_{30m} e $P_{EI_{30}}$.

4.6. Metodologia de Wilkinson para o cálculo do EI_{30}

Através da regressão linear entre as energias cinéticas calculadas segundo WISCHMEIER e SMITH (1958) e WILKINSON (1975), E_c e E_c' respectivamente, chegou-se a seguinte equação:

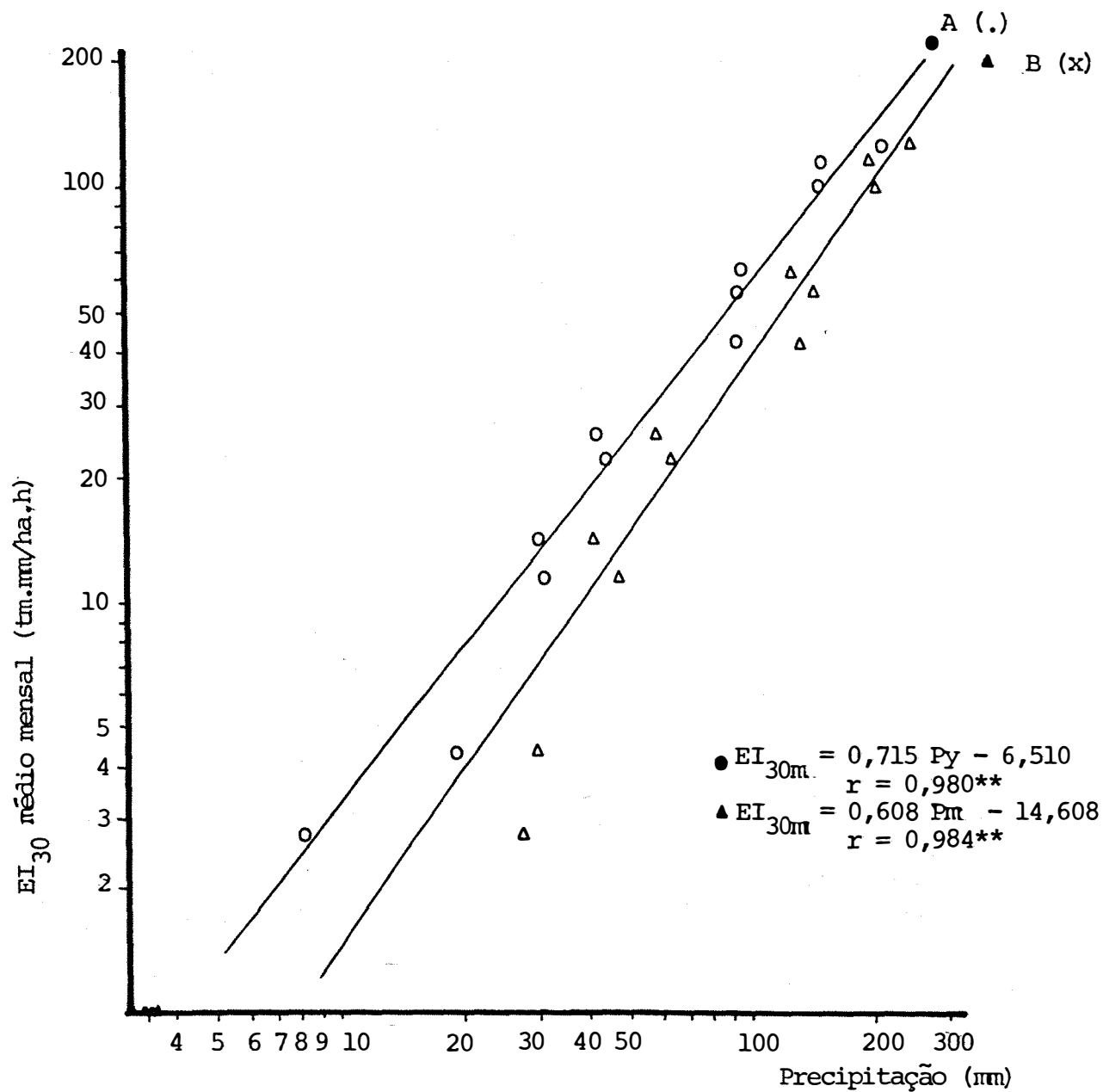


Figura 10 - Curvas de regressão entre o índice EI_{30m} médio mensal (EI_{30m}) e as precipitações média mensal (Pm) e as que continham momentos críticos (Py).

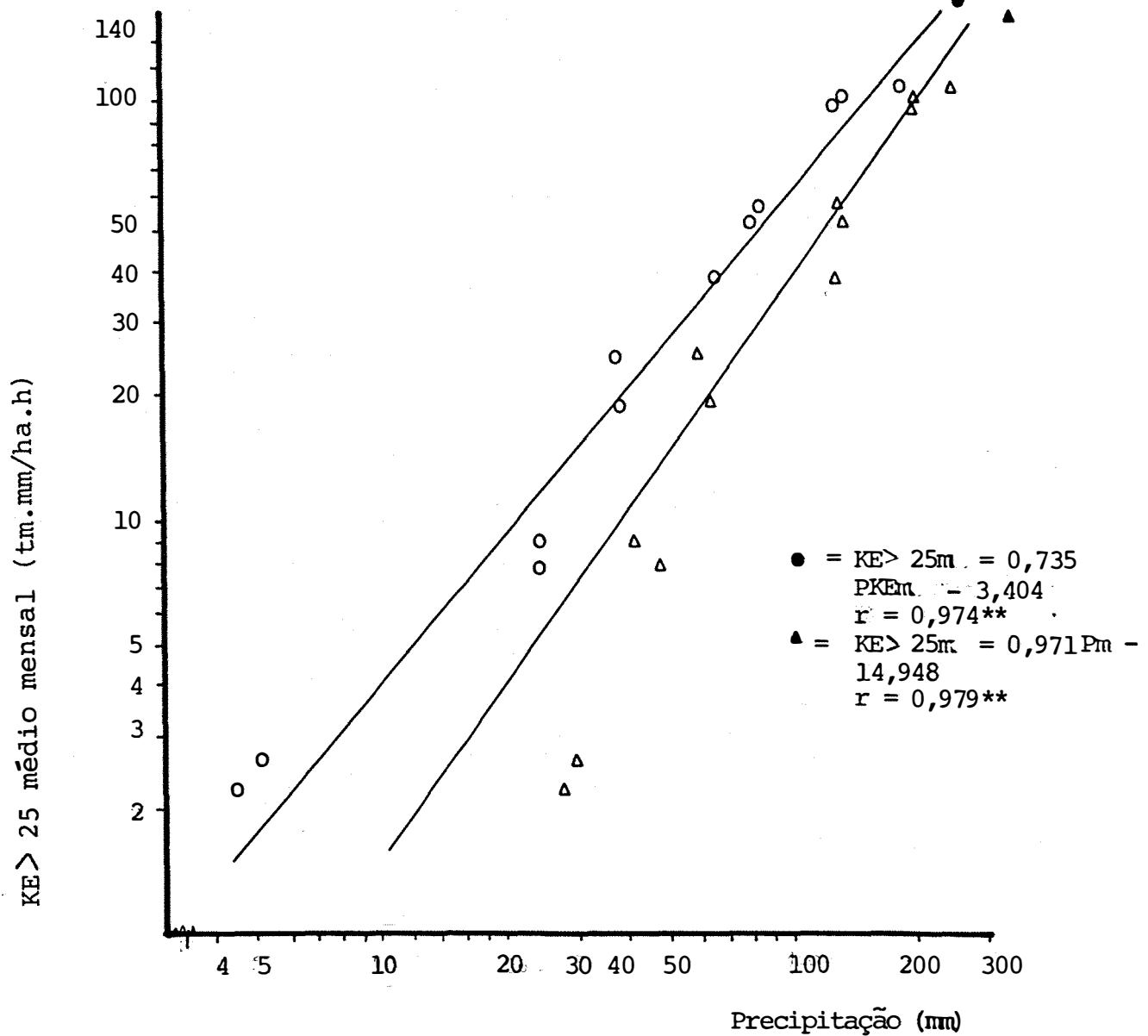


Figura 11 - Curvas de regressão entre o índice $KE > 25$ médio mensal ($KE > 25m$) e as precipitações média mensal (Pm) e útil ($PKE > 25 m$) .

$$Ec' = 1,127 Ec - 28,465 \quad \dots\dots\dots r = 0,989^{**},$$

sendo $Ec' = (12,142 + 8,877 \log I_{30}) \cdot P.$

A correlação encontrada é significativa ao nível de 1 % (teste t) e para sua obtenção foram utilizados os dados correspondentes a 5 anos de observação, escolhidos ao acaso (1957, 60, 70, 77 e 82), que totalizaram 209 pares de valores de energia cinética.

A equação de cálculo da energia cinética passa a ser, assim, expressa:

$$Ec = 25,346 + (10,822 + 7,912 \log I_{30}) \times P$$

e a equação geral do cálculo do índice EI_{30} adquire a seguinte forma:

$$EI_{30} = 25,257 + (10,774 + 7,877 \log I_{30}) \times P \times I_{30} \times 10^{-3}.$$

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Índice de erosão

Através dos coeficientes de variação dos valores médios anuais, apresentados no sub-capítulo 4.1, nota-se que os dados utilizados para a obtenção do valor médio do índice $KE > 25$ apresentavam-se mais uniformes do que os do EI_{30} ; assim é que o erro padrão da média para o $KE > 25$ se apresenta menor do que o do EI_{30} , devendo, pois, estar a média verdadeira mais próxima do valor estimado para aquele índice.

Não foi encontrada diferença significativa entre os valores médios anuais dos índices EI_{30} e $KE > 25$ (584,1 e 533,2 $mm/ha.h.ano$, respectivamente); assim, em termos estatísticos, não houve evidências que comprovassem a diferença entre os tratamentos, no caso os métodos de cálculo do índice de erosão, o que sugere que os dois valores foram retirados de uma mesma população de dados.

Apesar do cálculo do $KE > 25$ eliminar muitos trechos da precipitação, o que tornaria seu valor menor do que o EI_{30} , em certos anos (1980, 79, 67, 64, 63 e 61) isto não ocorreu ou seja, o $KE > 25$ apresentou-se maior que o EI_{30} . A explicação pode estar no fato de que no cálculo do EI_{30} multiplicou-se a somatória do produto $E_c \times P$ pela máxima intensidade em 30 min, enquanto que no cálculo do $KE > 25$ cada trecho de chuva foi multiplicado por sua intensidade própria que foi, nesses casos, superior à máxima em 30 min.

O valor de $KE > 25$ para Piracicaba, calculado por *SILVA e FREIRE (1978)*, com um período de dados de 10 anos de observação, foi de 552,7 tm.mm/ha.h.ano. Esse valor é muito próximo ao encontrado neste trabalho, para um período de dados de 20 anos (533,2 tm.mm/ha.h.ano); a explicação para essa diferença encontra-se, seguramente, na metodologia utilizada e no número de anos analisados.

Para Campinas, *LOMBARDI NETO (1977)* encontrou um valor de 690 para o índice EI_{30} (22 anos de observação); apesar da precipitação média anual de Campinas (1.343 mm, *AZEVEDO, 1974*) ser maior do que a de Piracicaba (1.259 mm), es

ta diferença não basta para explicar a variação nos valores de EI_{30} . A razão mais provável reside nas diferenças locais da precipitação, visto que o Estado de São Paulo se situa em região climática desuniforme, resultando diferentes tipos de chuvas de intensidades variáveis (SCHRÖDER, 1956).

5.2. Distribuição mensal e estacional do índice de erosão

A distribuição do índice de erosão, no decorrer do ano, é uma informação imprescindível para que o fator C da EUPS seja avaliado. Curva como a apresentada na Figura 3 é de grande valia na determinação de C, sendo típica sua forma para a condição climática vigente.

Foi observado que os índices EI_{30} e $KE > 25$ distribuem-se de forma semelhante no decorrer do ano (Figura 2), alcançando valores médios (Tabelas 2 e 3) e percentuais (Tabela 4) bastante próximos. Apenas os meses de janeiro, junho e agosto, apresentaram diferenças significativas (5 %, 1 % e 5 %) entre os métodos de cálculo, sendo que nos demais meses a diferença no cálculo dos índices não foi demonstrada.

Observou-se, ainda, uma certa concordância na distribuição do índice de erosão, no caso o EI_{30} , e da pre-

precipitação (Figura 4) ou seja, os meses de maior pluviosidade são os que apresentaram o índice mais elevado, sendo o inverno válido também. Nestes meses constatou-se uma grande diferença entre o percentual de chuva e do índice EI_{30} , em favor deste último, o que leva a se pensar na ocorrência de chuvas de elevada intensidade. Nos meses de baixa pluviosidade, quando o EI_{30} é muito pequeno, como em julho-agosto, espera-se que as chuvas apresentem baixa intensidade. Em outubro, apesar de um valor razoavelmente elevado para a precipitação, o EI_{30} manteve-se baixo, do que se deduz que as chuvas apresentaram baixa intensidade.

A estação chuvosa (primavera-verão), como era esperado, concentrou grande parte do potencial erosivo das chuvas, ultrapassando 80 % do total anual, devendo haver neste período grande risco de erosão.

5.3. Frequência e probabilidade de ocorrência do índice de erosão

5.3.1. Valores anuais

Observa-se, na Tabela 5, que valores de erosividade bem superiores ao fator R, para os dois índices, correspondem a elevadas frequências ou a baixos níveis de proba

bilidade; sendo o inverso, também, válido. Já o fator R, por ser resultante da média dos valores anuais, apresenta uma probabilidade de ocorrência, também, mediana, ao redor de 41 %, que corresponde a frequência de 2,4 anos.

5.3.2. Valores mensais

Na Figura 5, constata-se que no mês de janeiro seria de se esperar, a uma probabilidade de 4,8 %, um EI_{30} de valor correspondente a 315,24 tm.mm/ha.h ou seja, que ocorresse um valor igual ou superior a este, pelo menos uma vez, em um período de 20 anos; tal valor é muito elevado, equivalendo a mais da metade do valor médio anual (584,08 tm.mm/ha.h) e a cerca de um terço do valor anual do índice esperado a 4,8 % de probabilidade (947,37 tm.mm/ha.h).

Também nota-se que, pelo menos uma vez em 20 anos, o mês de junho apresenta um elevado potencial erosivo, da ordem de 102,98 tm.mm/ha.h; este valor é significativo quando comparado com a média mensal que é da ordem de 14,18 tm.mm/ha.h.

As outras duas curvas, correspondentes às probabilidades de 47,6 % e 95,2 %, não apresentam valores para determinados meses, como os de julho e agosto, porque em alguns anos estes meses não apresentaram chuvas erosivas.

A Figura 6, relativa ao índice $KE > 25$, mostra bastante similaridade com a Figura 5; no entanto, na curva de 4,8 % de probabilidade, o valor de $KE > 25$ para o mês de janeiro (344,49 tm.mm/ha.h) ultrapassou o apresentado pelo EI_{30} , excedendo em muito o valor médio mensal (110,13 tm.mm/ha.h) e alcançando 38 % do valor anual para este nível de probabilidade (908,11 tm.mm/ha.h).

Tanto na Figura 5 como na 6 fica notória a grande amplitude existente entre valores, nos meses em que os índices foram elevados. Nas Tabelas 6 e 7, onde os valores estão em ordenação decrescente, constata-se que, nos meses de dezembro e janeiro, o EI_{30} variou de 33,36 a 295,18 e 19,81 a 315,24 tm.mm/ha.h e o $KE > 25$, de 16,54 a 278,45 e de 15,08 a 344,49 tm.mm/ha.h.

5.3.3. Valores máximos individuais

Observa-se nas Figuras 7 e 8 que, ao nível de 4,8 % de probabilidade, o mês de março foi o que apresentou o maior valor individual para o EI_{30} e $KE > 25$: 133,6 e 140,85 tm.mm/ha.h, respectivamente. Estes valores, que ocorreram em março de 1959, ultrapassaram ao dobro do valor médio mensal (63,44 e 58,53 tm.mm/ha.h). O valor desta única chuva contribuiu em 68 % e 75 % do total mensal dos índices EI_{30} e $KE > 25$ (196,69 e 188,78 tm.mm/ha.h).

Estas comparações visam apenas enfatizar o elevado valor da erosividade de uma única chuva e apesar desta apresentar uma baixa probabilidade de ocorrência, deve-se esperar grandes perdas, caso o solo não esteja devidamente protegido.

Os mesmos comentários são válidos para as chuvas de elevada erosividade do meses de novembro e dezembro, considerando-se respectivamente o índice EI_{30} e $KE > 25$.

Observa-se que, nos demais níveis de probabilidade, para ambos os índices, os máximos valores individuais ocorreram nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro; constando-se, assim, que estes meses além de apresentarem maior número de chuvas erosivas e os maiores valores mensais, apresentam também chuvas individuais de elevada capacidade erosiva.

5.4. Chuvas críticas

Observa-se que os valores de precipitação que contêm momentos críticos e os usados para o cálculo do índice EI_{30} mostram-se muito semelhantes, chegando a coincidir em determinados anos (Tabela 11); isto mostra que o critério estipulado por WISCHMEIER e SMITH (1958) é semelhante, na

maioria das vezes, ao de Yarnell (BARNETT, 1958) para a identificação de chuvas com momentos críticos. Assim, quando se selecionam precipitações maiores do que 12,5 mm ou, se forem menores que este valor, as que apresentem em algum momento uma intensidade superior a 25 mm/h, estas apresentam, num dado instante, uma relação $I-t/100$ igual ou superior a 0,2.

Quanto aos valores da precipitação usados no cálculo do $KE > 25$, estes mostram-se inferiores tanto aos usados no cálculo do EI_{30} , devido à restrição imposta à intensidade, como aos que apresentam momentos críticos, Isto sugere que o critério de HUDSON (1971) seja mais rigoroso na seleção de chuvas erosivas, chegando a eliminar precipitações que apresentem momentos críticos; segundo Yarnell.

5.5. Estimativa do índice de erosão através de dados pluviométricos

5.5.1. Índice de erosão e coeficiente de chuva

É observada uma elevada correlação entre os índices de erosão médios mensais (EI_{30m} e $KE > 25m$) e o coeficiente de chuva ($Rc = p^2/P$). Assim, por meio das equações obtidas poder-se-ia, estimar, com certa margem de segurança, o índice erosivo de locais onde inexistem registros pluviográfi

cos e que apresentassem condições climáticas e fisiográficas semelhantes às de Piracicaba.

A equação que relaciona o EI_{30m} e Rc é muito semelhante à obtida por LOMBARDI NETO (1977) para Campinas ; no entanto, quando a esta foram aplicados os dados de Piracicaba, o valor anual do EI_{30} obtido foi de 645,6 tm.mm/ha.h. ano, o que mostra que superestimou o valor da erosividade.

5.5.2. Índice de erosão e precipitação

Apesar da erosividade ser uma medida complexa, dependendo de várias características da chuva, foi encontrada uma correlação altamente significativa entre os índices de erosão e as precipitações médias mensais. Tal fato, no entanto, não deve ser generalizado, devendo-se ressaltar que a erosividade da chuva apresenta-se altamente relacionada com a precipitação, especificamente para Piracicaba, ao se considerar um período de 20 anos de observação.

Quando se buscou uma relação entre o índice de erosão médio mensal e a precipitação média mensal útil , apenas o $KE > 25$ m apresentou boa correlação com a $PKE > 25m$. Utilizando-se a precipitação que continha momentos críticos (P_y), foi encontrado elevado coeficiente de correlação com o

EI_{30m} ; isto mostra que as precipitações críticas, segundo Yarnell (BARNETT, 1958), são as que realmente contribuem para o potencial erosivo da chuva. Na Tabela 13 observa-se, porém, que P_y e $P_{EI_{30}}$ são muito semelhantes; mas a correlação entre EI_{30m} e $P_{EI_{30m}}$ foi baixa. Logo, deve-se esperar que haja uma outra função, que não seja do primeiro grau, como a encontrada neste trabalho ($y = a + bx$), que expresse a relação entre EI_{30m} e $P_{EI_{30m}}$.

5.6. Metodologia de Wilkinson para o cálculo do EI_{30}

A metodologia de WILKINSON (1975) mostrou-se satisfatória para Piracicaba, quando se utilizaram dados correspondentes a 5 anos de observação. Assim, caso não tivesse sido calculado o índice EI_{30} pelo método de WISCHMEIER e SMITH (1958), poder-se-ia utilizar a equação obtida pela análise de 5 anos, segundo Wilkinson. Com esta equação só teriam que ser cotados os valores de I_{30} e precipitação dos demais anos de observação, o que simplificaria o moroso cálculo do índice EI_{30} .

A equação obtida por WILKINSON (1975), para a região oeste da Nigéria, e a obtida por CASTRO FILHO *et alii* (1982), para cinco localidades do Paraná, mostram-se muito

semelhantes à obtida neste trabalho; as variações observadas nos coeficientes de regressão são devido, certamente, às características das chuvas.

6. CONCLUSÕES

A seguir, estão apresentadas as conclusões obtidas a partir da discussão dos resultados.

6.1. Conclusão geral

Para Piracicaba, os índices EI_{30} e $KE > 25$ não são diferentes quanto ao valor médio anual, distribuição mensal, estacional e probabilidade de ocorrência. Foram encontradas, ainda, boas correlações entre o índice de erosão e a precipitação.

6.2. Conclusões parciais

1. Os valores médios anuais dos índices EI_{30} e $KE > 25$ (fator R), foram de 584,1 e 533,2 tm.mm/ha.h.ano, respectivamente.

2. Houve concordância entre erosividade e pre cipitação; ou seja: os meses mais chuvosos foram os que apre sentaram maior erosividade.

3. Foi constatada uma concentração do risco de erosão nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão), tendo o mês de janeiro a maior erosividade média mensal. Isto indica que práticas conservacionistas devem ser mantidas nesta época do ano, a fim de controlar a perda de solo.

Apesar dos meses de março e junho não serem comumente de alta erosividade, deve-se, no entanto, esperar que chuvas individuais muito erosivas possam ocorrer com uma baixa probabilidade.

4. Os critérios estipulados por Wischmeier e Smith, para a seleção das precipitações que devem ser utilizados no cálculo do EI_{30} , e por Yarnell, para a seleção das que contêm momentos críticos (Py), são coincidentes, em muitos casos, tendo sido encontrada uma alta correlação entre o índice EI_{30} médio mensal (EI_{30m}) e Py , a qual pode ser assim descrita:

$$EI_{30m} = 0,751 Py - 6,511 \dots\dots\dots r = 0,980^{**}.$$

5. O índice de erosão pode ser estimado, para locais que não apresentem dados pluviográficos e que possuam condições climáticas e fisiográficas semelhantes às de Piracicaba, por meio de uma das seguintes equações:

$$EI_{30m} = 7,278 \times (p^2/P)^{0,807} \dots\dots\dots r = 0,970^{**}$$

$$KE > 25 \text{ m} = 5,321 \times (p^2/P)^{0,887} \dots\dots\dots r = 0,971^{**}$$

$$EI_{30m} = 0,609 Pm - 14,659 \dots\dots\dots r = 0,984^{**}$$

$$KE > 25 \text{ m} = 0,571 Pm - 14,948 \dots\dots\dots r = 0,979^{**}.$$

6. A equação geral para o cálculo do índice EI_{30} através da metodologia simplificada de Wilkinson foi comprovada para as condições de Piracicaba, a qual toma, para dados de 5 anos de observação, a seguinte forma:

$$EI_{30} = 25,257 + (10,774 + 7,877 \log I_{30}) \times P \times I_{30} \times 10^{-3}.$$

LITERATURA CITADA

ATESHIAN, J.K.H., 1974. Estimation of rainfall erosion index. J.of the Irrigation and Drainage Division, Am. So. of Civil Engineers. Bekerly, 100(IR3): 293-307.

AZEVEDO, D.da C., 1974. Chuvas no Brasil - Regime, variabilidade e probabilidades de alturas mensais e anuis. Brasília, Departamento Nacional de Meteorologia, 520 p. (Dissertação de Mestrado).

BARNETT, A.P., 1958. How intense rainfall affects runoff and soil erosion. Agricultural Engineering. St. Joseph, 39: 703-711.

BAVER, L.D., 1947. Rainfall characteristics of Missouri in relation runoff and erosion. Soil Sci. So. of Am. Proc. Madison, 2(4): 533-536.

BERTONI, J. e F.I. PASTANA, 1964. Relação chuvas-perdas por erosão em diferentes tipos de solo. Bragantia. Campinas, 23(1): 3-11.

CASTRO FILHO, C. de; A. CAETANO e R.C.M. BISCAIA, 1982. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localizadas do Paraná. R. bras. Ci. Solo. Campinas, 6(3): 240-241.

CHAVES, I. de B. e O. FREIRE, 1978. Erosividade das chuvas na microregião homogênea brasileira Nº 98 (Estado da Paraíba). Revista da Agricultura. Piracicaba, 53(4): 255-260.

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

HUDSON, N., 1971. Soil conservation. Ithaca, Cornell University Press. 320 p.

LOMBARDI NETO, F., 1977. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Lafayette, Purdue University, 53 p. (Thesis MS).

- McGREGOR, K.C.; C.K. MUTCHLER e A.J. BOWIE, 1980. Annual R values in North Mississippi. J. of Soil and Water Conservation. Baltimore, 35(2): 81-84.
- PEREIRA, W.; T.C. ALVES da SILVA e F.R. GOMES, 1978. Avaliação da erosividade das chuvas em diferentes locais do estado de Minas Gerais. Revista Ceres. Viçosa, 25(142): 506-548.
- SCHRÖDER, R., 1956. Distribuição e curso anual das precipitações no estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, 15(18): 193-249.
- SILVA, J.R.C. e O. FREIRE, 1978. Fator chuva para a aplicação na equação universal de perdas de solo, em Piracicaba. Revista da Agricultura. Piracicaba, 53(4): 229-232.
- WILKINSON, G.E., 1975. Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of Western Nigeria. Expl. Agric. London, 11(4): 247-255.
- WISCHMEIER, W.H., 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 23(3): 246-249.

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

WISCHMEIER, W.H., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. J. of Soil and Water Conservation. Baltimore, 31(1): 5-9.

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

WISCHMEIER, W.H. e D.D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Washington, Sci. and Educ. Admin., U.S. Dept. Agric., 58 p. (Agriculture Handbook n^o 537).

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

APÉNDICE

Tabela 6 - Probabilidade de ocorrência dos valores mensais do índice EI₃₀.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Número de ordem	Probabilidade %
Mensal	315,24	223,72	248,54	103,14	40,65	102,98	26,39	19,99	91,54	108,57	195,69	295,18	1	4,8
	218,82	204,80	169,99	73,70	38,09	45,02	16,87	17,06	81,19	99,54	128,42	253,01	2	9,5
	195,03	189,49	103,17	71,71	30,83	31,14	4,04	15,58	42,44	74,95	119,89	223,82	3	14,3
	191,16	151,76	92,31	59,26	25,67	24,03	3,35	9,90	40,15	66,65	119,58	193,23	4	19,1
	153,09	149,84	85,84	49,06	22,27	18,79	3,29	7,72	30,91	60,61	97,02	169,45	5	23,8
	151,24	128,93	85,22	44,36	16,68	17,26	1,12	4,77	28,92	60,02	60,53	140,79	6	28,6
	146,81	111,31	83,01	34,10	14,08	14,03	-	4,05	27,11	52,77	52,12	119,81	7	33,3
Valor do	142,55	107,99	61,40	27,86	14,08	9,14	-	3,78	23,96	52,02	50,89	101,04	8	38,2
de	134,93	99,86	55,70	15,61	13,50	8,77	-	2,85	22,79	49,31	46,43	92,83	9	42,9
valor	127,86	99,08	46,06	15,11	9,09	6,21	-	1,97	18,22	45,48	38,71	91,99	10	47,6
de	125,81	92,99	45,24	13,28	2,57	5,24	-	-	12,02	32,60	36,14	88,69	11	52,4
de	122,94	73,14	43,81	6,31	1,44	0,98	-	-	8,34	28,56	34,25	82,92	12	57,1
de	87,54	72,79	30,98	1,95	-	-	-	-	7,35	23,62	33,25	79,29	13	61,7
de	78,60	69,70	23,65	1,71	-	-	-	-	7,19	22,22	31,04	67,66	14	66,7
de	74,29	44,29	17,15	1,28	-	-	-	-	1,60	21,77	28,86	66,57	15	71,4
de	69,41	40,71	14,92	-	-	-	-	-	-	16,89	22,35	61,81	16	76,3
de	61,31	40,16	13,78	-	-	-	-	-	-	15,56	21,74	61,56	17	81,3
de	50,77	37,74	12,88	-	-	-	-	-	-	11,94	17,55	42,90	18	85,5
de	36,42	31,98	8,06	-	-	-	-	-	-	8,33	16,95	35,07	19	90,9
de	19,81	13,86	-	-	-	-	-	-	-	3,56	0,29	33,36	20	95,2

Tabela 7 - Probabilidade de ocorrência dos valores mensais do índice KE > 25.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Número de ordem	Probabilidade %
	344,49	176,49	188,78	115,40	38,19	90,97	17,18	22,06	79,21	84,54	137,65	278,45	1	4,8
	202,59	171,15	173,80	69,71	19,81	31,19	12,86	13,29	47,14	76,81	130,16	200,88	2	9,5
	193,20	167,37	93,95	63,73	19,32	15,69	12,13	9,49	40,83	74,03	120,34	194,11	3	14,3
	168,13	163,15	86,49	63,21	15,39	13,26	2,74	6,65	38,69	68,90	113,63	174,96	4	19,1
	152,06	142,97	76,89	42,88	12,70	9,39	-	1,89	35,09	66,27	85,35	156,41	5	23,8
	150,95	138,21	72,69	40,02	10,99	8,87	-	-	31,95	62,58	57,91	142,63	6	28,6
	139,54	134,59	69,93	30,28	10,67	4,65	-	-	27,16	50,86	50,50	121,38	7	33,3
	117,30	127,37	67,95	21,94	9,51	3,47	-	-	19,52	38,26	47,06	104,93	8	38,2
	103,44	116,78	64,56	14,94	6,66	3,31	-	-	19,36	37,94	46,66	104,48	9	42,9
	101,10	108,99	63,30	14,89	6,55	-	-	-	11,96	34,34	40,94	89,64	10	47,6
	89,88	106,62	53,52	6,07	4,62	-	-	-	7,34	28,73	38,53	87,34	11	52,4
	81,52	80,18	32,72	5,19	2,42	-	-	-	6,79	26,22	36,40	77,19	12	57,1
	70,41	76,74	25,98	5,19	-	-	-	-	6,67	24,99	32,45	72,56	13	61,7
	67,96	70,02	25,62	5,07	-	-	-	-	6,66	23,50	29,94	71,59	14	66,7
	56,81	49,93	22,17	2,42	-	-	-	-	5,61	23,25	29,11	63,48	15	71,4
	48,21	48,51	20,40	-	-	-	-	-	-	22,37	27,42	61,35	16	76,3
	44,33	45,38	17,26	-	-	-	-	-	-	9,39	26,74	54,13	17	81,3
	38,91	32,60	10,41	-	-	-	-	-	-	7,74	19,25	37,85	18	85,5
	16,69	21,10	4,27	-	-	-	-	-	-	6,00	7,43	28,05	19	90,9
	15,08	7,62	-	-	-	-	-	-	-	-	1,58	16,54	20	95,2

Ordem crescente do Valor Mensal

Tabela 8 - Probabilidade de ocorrência do índice de erosão médio mensal.

Mês	EI ₃₀ médio mensal	Probabilidade de %	KE > 25 médio mensal	Probabilidade de %
JAN	125,18	53,4	110,13	40,6
FEV	99,22	46,8	99,39	53,7
MAR	63,44	37,7	58,53	49,9
ABR	25,92	38,9	25,05	36,4
MAI	11,45	45,1	7,84	41,0
JUN	14,18	33,1	9,04	27,0
JUL	2,75	25,0	2,25	19,9
AGO	4,38	31,1	2,67	23,0
SET	22,18	43,5	19,19	43,0
OUT	42,75	48,6	38,34	38,2
NOV	57,58	30,2	53,95	31,1
DEZ	115,05	34,5	106,89	37,6

Tabela 9 - Probabilidade de ocorrência de máximos valores individuais do índice EI₃₀.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	P %
97,68	107,58	133,60	70,92	32,62	45,02	15,36	16,92	16,92	76,60	48,60	132,43	130,91	4,8
88,39	107,17	86,97	57,96	30,51	43,78	14,35	12,39	12,39	60,33	42,18	68,35	120,69	9,5
88,24	91,39	75,07	44,78	25,67	31,14	4,04	7,72	7,72	28,46	37,81	50,79	106,34	14,3
59,38	67,19	73,50	29,97	16,21	19,19	3,35	4,83	4,83	21,26	37,69	46,01	100,11	19,1
56,97	58,85	48,19	28,05	14,22	17,26	3,29	4,05	4,05	19,85	30,59	35,66	92,27	23,8
55,44	58,39	39,16	27,86	14,08	14,56	1,12	3,09	3,09	18,22	29,14	31,55	78,84	28,6
52,19	48,94	38,49	25,46	12,46	9,89	-	2,85	2,85	17,78	26,13	29,82	78,16	33,3
45,23	44,35	38,35	23,67	9,34	9,14	-	1,97	1,97	17,39	21,30	27,14	46,58	38,2
45,23	43,01	37,68	15,11	7,96	8,77	-	1,95	1,95	12,59	19,99	26,38	40,19	42,9
44,27	38,76	37,21	8,42	7,81	6,21	-	-	-	11,97	18,32	25,87	39,08	47,6
39,98	34,88	28,63	7,63	2,57	5,24	-	-	-	10,93	15,14	25,70	38,82	52,4
38,63	34,18	25,44	6,31	1,44	0,98	-	-	-	10,67	13,25	19,39	33,86	57,1
38,34	32,23	14,92	1,95	-	-	-	-	-	8,34	12,97	19,17	31,73	61,7
37,56	24,91	13,03	1,71	-	-	-	-	-	5,92	12,58	16,88	31,38	66,7
36,89	22,67	11,31	1,28	-	-	-	-	-	3,70	11,94	16,71	31,14	71,4
30,62	22,26	8,09	-	-	-	-	-	-	1,60	9,66	12,35	26,74	76,3
30,30	21,87	8,06	-	-	-	-	-	-	-	9,21	12,00	24,75	81,3
21,82	21,58	7,73	-	-	-	-	-	-	-	7,51	8,78	22,29	85,5
19,81	19,89	5,29	-	-	-	-	-	-	-	3,56	6,57	17,67	90,9
15,59	7,54	-	-	-	-	-	-	-	-	3,49	0,29	7,56	95,2

Ordenação decrescente do valor máximo individual do EI₃₀

Tabela 10 - Probabilidade de ocorrência de máximos valores individuais do índice KE > 25.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	P %
102,55	79,17	140,85	51,04	18,62	41,22	17,18	9,14	76,64	55,16	85,82	129,11	4,8	
77,24	74,62	70,12	45,75	14,67	31,19	12,13	6,69	38,35	52,04	77,11	118,84	9,5	
68,00	70,46	69,94	42,88	14,20	15,69	7,81	6,65	35,09	50,46	55,27	113,48	14,3	
67,33	65,42	60,36	40,02	12,70	9,64	2,74	1,89	28,19	42,86	40,51	94,61	19,1	
63,81	55,15	57,58	38,94	10,99	9,39	-	-	20,47	33,75	38,51	82,98	23,8	
60,03	51,49	43,96	31,81	10,67	7,57	-	-	17,77	24,20	35,82	62,34	28,6	
58,48	51,39	36,02	30,28	8,74	4,64	-	-	16,91	23,73	30,93	58,85	33,3	
56,04	50,71	35,45	15,65	6,71	3,47	-	-	14,04	23,25	29,29	55,65	38,2	
44,92	49,08	34,96	14,94	6,66	3,31	-	-	12,10	19,50	22,25	44,91	42,9	
33,52	45,38	32,72	8,82	4,66	-	-	-	10,94	18,09	21,35	44,58	47,6	
31,15	39,99	29,99	6,07	4,62	-	-	-	7,81	14,30	20,97	39,17	52,4	
26,05	39,07	25,98	5,19	2,42	-	-	-	7,34	13,37	20,29	35,39	57,1	
26,04	36,06	12,28	5,19	-	-	-	-	6,79	13,30	19,85	31,17	61,7	
24,57	29,21	11,71	5,07	-	-	-	-	6,67	12,25	19,35	29,72	66,7	
24,55	26,84	9,72	2,42	-	-	-	-	6,66	9,87	17,18	25,76	71,4	
23,44	19,38	8,41	-	-	-	-	-	5,61	9,39	15,56	24,12	76,3	
19,32	18,79	7,39	-	-	-	-	-	-	9,33	15,04	23,43	81,3	
15,08	15,76	6,69	-	-	-	-	-	-	7,74	8,05	16,62	85,5	
12,11	8,61	4,27	-	-	-	-	-	-	6,00	4,69	14,68	90,9	
4,47	3,67	-	-	-	-	-	-	-	-	1,58	5,19	95,2	

Ordenação decrescente do valor máximo individual do KE > 25