



UNESP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

1210001191



**FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE
VOTUPORANGA - SP**

ALUNO: ARNALDO PEDROSO COELHO

ORIENTADOR: MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Te.1191

FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE VOTUPORANGA (SP)

ARNALDO PEDROSO COELHO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

1210001191



Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de Ilha
Solteira - Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho",
como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração
em Sistemas de Produção

Proc. 040/2001-NAD 066/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECAS E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
02.07.01	30.07.01
<i>Ailha</i>	<i>Te. 1191</i>
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
<i>Ilha Solteira</i> <i>Antônio</i> <i>R\$ 10,00</i>	<i>C 672f</i>

1070200 - Geografia

ILHA SOLTEIRA
Abril de 2001



FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE VOTUPORANGA (SP)

ARNALDO PEDROSO COELHO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA
SOLTEIRA - UNESP, COMO PARTE DAS EXIGÊNCIAS PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO
ORIENTADOR

Prof. Dr. ENES FURLANI JÚNIOR

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

ILHA SOLTEIRA
Abril de 2001



“Fator Erosividade da Chuva de Votuporanga – SP”

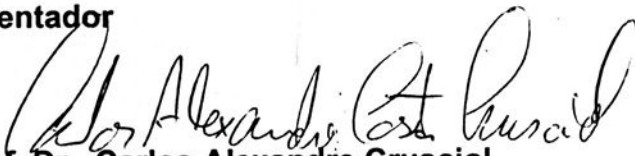
Arnaldo Pedroso Coelho

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE
ILHA SOLTEIRA – UNESP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA**

COMISSÃO EXAMINADORA:



**Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho
Orientador**



Prof. Dr. Carlos Alexandre Crusciol



Prof. Dr. Enes Furlani Júnior

**Ilha Solteira – SP
fevereiro de 2001**



À DEUS

*Aos meus Saudosos Pais
,BENEDITO JORGE COELHO e
ENOE PEDROSO COELHO, minhas
grandes inspirações, minha amada
Esposa Fabiana Alves da Silva
Coelho e meu filho José Arnaldo
Alves Coelho, por toda uma história
de amor, dedicação e incentivo que
me permitiram atingir este patamar e
outros que virão.*



AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho, pela amizade, confiança, orientação e apoio na realização desse trabalho.

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Ao Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo pela disponibilidade dos dados e aos seus funcionários pelo bom atendimento.

À Angela Maria Marcelino Kato e ao Domingos Pinto Carneiro, funcionários do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural.

Ao Arlindo Avanso Ursolin e à Maria de Fatima Sabino pela amizade.

Aos funcionários da Biblioteca Universitária, em especial ao João José Barbosa.

Aos amigos da pós-graduação, pelo convívio e alegria proporcionados durante nosso convívio.

Aos amigos Cassiano Garcia Roque e Gilberto Colodro.

Aos meus Padrinhos Emanuel Rocha Woiski e Isabel Cristina Rodrigues.

Aos meus amigos Cleuza Maria Chiesa Nishiyama, Wilson Roberto da Silva e Vicente Vieira Lombardi.

Ao amigo Cássio Roberto Macedo Maia.

À Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e à Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI.



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE QUADROS.....	vii
RESUMO.....	ix
SUMARY.....	xi
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 – Equação Universal de Perdas do Solo.....	4
2.2 – Índice de Erosividade EI_{30}	6
2.2.1 – Comparação entre o índice EI_{30} e outros índices estimadores da erosividade da chuva.....	7
2.2.2 – Distribuição espacial do fator R.....	9
2.2.3 – Distribuição temporal do fator R.....	12
2.2.4 – Período de retorno e probabilidade de ocorrência do fator R.....	15
2.2.5 – Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade.....	18
2.3 – Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola.....	23
2.3.1 – Chuva máxima diária.....	24
2.3.2 – Intensidade máxima da chuva em 15 minutos.....	24
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	28



4 – RESULTADOS.....	43
4.1 – Caracterização da erosividade da chuva.....	43
4.1.1 – Fator erosividade da chuva.....	43
4.2 – Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva.....	49
4.2.1 – Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva.....	49
4.2.2 – Curva de distribuição do índice de erosividade.....	57
4.2.3 – Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano.....	60
4.3 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade.....	61
4.3.1 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade.....	62
4.3.2 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais.....	67
4.3.3 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do ano.....	71
4.4 – Coeficiente de chuva: Correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal.....	78
4.5 – Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola.....	83
4.5.1 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias.....	83
4.5.2- Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos.....	87



5 – CONCLUSÕES.....	91
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93



LISTA DE FIGURAS

FIGURA.....	página
1 - Localização geográfica do município de Votuporanga no Estado de São Paulo.....	29
2.a - Vista geral da mesa digitalizadora e do computador utilizado.....	31
2.b - Detalhe do pluviograma anexado à mesa digitalizadora.....	31
3 - Registro pluviográfico parcial da chuva ocorrida em 11/01/83 em Votuporanga (SP).....	38
4 - Histograma de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} e da precipitação pluviométrica de Votuporanga (SP), durante o Período de 1975 a 1996.....	56
5 - Distribuição decendial do índice de erosividade de Votuporanga (SP), analisado durante o período de 1975 a 1996.....	59
6 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	66
7 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	70

- 8 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de Janeiro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 75
- 9 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de março do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 76
- 10 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de Dezembro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 77
- 11 - Curva de Regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 82
- 12 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 86
- 13 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 90



LISTA DE QUADROS

QUADROS

página

- 1 – Registro dos dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma, e ocorrida em 11/01/83 em Votuporanga (SP), e sua respectiva planilha de cálculo do EI_{30} 39
- 2 – Distribuição decendial dos valores do índice de erosividade EI_{30} da chuva (MJ.mm/ha.h.ano) de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 44
- 3 – Quantidade total anual de chuva (mm), e relativa utilizada para o cálculo do índice de erosividade EI_{30} , durante o período de 1975 a 1996 de Votuporanga (SP).48
- 4 – Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica (mm) de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 54
- 5 – Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 55
- 6 – Frequência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 22 anos de registro de dados durante o período de 1975 a 1996 do município de Votuporanga (SP)..... 60
- 7 – Índices anuais de erosividade EI_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 65
- 8 – Índices Máximos Anuais de erosividade EI_{30} , Período de retorno e Probabilidade de Ocorrência do Município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....69



9 – Índices máximos de erosividade El_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de janeiro o município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	72
10 - Índices máximos de erosividade El_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de março o município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	73
11 – Índices máximos de erosividade El_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de Dezembro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	74
12 – Valores dos máximos índices mensais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do município de Votuporanga (SP), avaliados de 1975 a 1996.....	78
13 – Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade El_{30} calculados, obtidos durante os anos de 1975 a 1996 do município de Votuporanga (SP)	81
14 – Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	84
15 – Intensidades máximas de chuva em 15 minutos, período de retorno e probabilidade de ocorrência do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.....	89



COELHO, A. P. Fator Erosividade da chuva de Votuporanga (SP). Ilha Solteira, SP, 2001. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

RESUMO

Foi estudado o Fator Erosividade da Chuva do município de Votuporanga (SP), quando foram separadas 954 chuvas individuais consideradas erosivas de uma série contínua de 22 anos de registros de dados pluviográficos. Todas as chuvas selecionadas foram cotadas, digitalizadas, e posteriormente analisadas através de programa computacional. O fator erosividade da chuva, ou o índice de erosividade EI_{30} médio anual calculado, foi de 7345 MJ.mm/ha.h.ano, o qual é esperado que ocorra no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%. Foi observada uma distribuição de 83,9% do total da erosividade anual durante o semestre de outubro a março, sendo que 47,6% deste total ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro, indicando que é esperada a maior parte das perdas anuais de solo neste período. Portanto, objetivando-se concordar com os corretos preceitos conservacionistas do solo, nessa época do ano devem ser estabelecidas e mantidas as práticas conservacionistas mais eficientes e que, por conseguinte, evitem ao máximo as perdas de solo por erosão. O período entre maio e agosto apresentou 5,8% do total da erosividade anual. Os valores dos índices anuais de erosividade de Votuporanga, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100

anos, foram respectivamente de 6893, 9327, 10939, 12485, 14486 e 15985 MJ.mm/ha.h.ano. Também, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 1108, 1837, 2320, 2783, 3383 e 3832 MJ.mm/ha.h. Para o local estudado, observou-se uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva. Portanto, a equação de regressão determinada permite que seja estimado, com boa margem de segurança, o fator R para outros locais que não possuam dados pluviográficos, mas que, entretanto, tenham dados pluviométricos e condições climáticas semelhantes às de Votuporanga (SP). Os valores da chuva máxima diária e da intensidade máxima diária em 15 minutos, calculados para o período de retorno de 10 anos, foram respectivamente de 103,8 mm e 94,0 mm/h. Tais dados poderão ser utilizados nos cálculos do dimensionamento da seção transversal do canal do terraceamento agrícola local.

Palavras Chave: Período de retorno, probabilidade de ocorrência, coeficiente de chuva, fator R, erosividade da chuva, fator erosividade, dimensionamento do canal do terraço agrícola, chuva máxima diária, intensidade máxima diária em 15 minutos.

COELHO, A. P. Rainfall Erosivity Factor in Votuporanga City (Sao Paulo State - Brazil). Ilha Solteira, 2001, 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

SUMMARY

Rainfall Erosivity Factor in Votuporanga (SP) City was studied, when a set of 954 erosive individual rains was selected, stem from a continuun of twenty-two years of recording rain gauge data. All the selected rains were computed by an specific computicional package. The rainfall erosivity factor computed was 7345 MJ.mm/ha.h.y, which is expected to occur at least once each 2.33 years, with a probability of occurence of 42.92%. The most annual soil loss is expected to occur between the months of October and March, as shown by the 83.9% where 47.6% occurs between december and february of the total annual erosivity for that period. Therefore, objectiving to agree with the corrects soil conservation principles, is recommended that the better soil conservation pratices be established and maintained throughout that particular period of the year for an effective erosion soil loss control. The values of the annual erosivity indexes at that site expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were respectively 6893, 9327, 10939, 12485, 14486 and 15985 MJ.mm/ha.h.y. Moreover, the annual maximum values of erosivity indexes at individual storms expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years were respectively 1108, 1837, 2320, 2783, 3383 and 3832 MJ.mm/ha.h. A high correlation was found between the montly average erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient at that site.



Therefore, the regression equation obtained allows a fair estimative of the R factor to be used for other regions where climatic conditions are similar to Votuporanga's and where there are no available data. The values of the maximum daily rainstorm and the maximum daily 15-minute intensity, computed for the return period of ten years, were respectively 103.8 mm and 94.0 mm/h. These data could be used in the transversal section calculation of the agricultural terracing channel.

Key-words: Return period, probability of occurrence, rainfall coefficient, R factor, rainfall erosivity, factor erosivity, calculation of the agricultural terracing channel, maximum daily rainstorm, maximum daily 15-minute.



1. INTRODUÇÃO

Ao se planejar, projetar, construir ou manter medidas de conservação do solo nas bacias hidrográficas, deparamo-nos diretamente com aspectos relativos à erosão. Dificuldades têm sido encontradas na avaliação quantitativa do processo erosivo, sendo que a mais séria fica por conta do próprio processo erosivo. Para que as taxas de erosão possam ser seguramente previstas, todas as variáveis envolvidas precisam ser conhecidas e levadas em consideração. O estudo das previsões das taxas de erosão e da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas, que é indispensável ao planejamento conservacionista do solo e da água, merece toda a atenção quando da elaboração de projetos de engenharia e agronomia (Lemos & Bahia, 1992).

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem o objetivo de prever a erosão (t/ha.ano) que poderá ocorrer em determinada área agricultada. Ela relaciona de forma diretamente proporcional, todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, que são: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau de declive (L e S), uso e manejo da cobertura do solo com cultura (C), e práticas conservacionistas (P)

(Wischmeier & Smith, 1965, 1978). Dessa forma, é de importância fundamental para o estabelecimento do correto uso e manejo do solo e, conseqüentemente, para a seleção de práticas conservacionistas (Carvalho, 1987).

O solo, sendo um dos recursos naturais mais intensamente utilizados para a produção de alimentos, pode ter sua capacidade produtiva limitada pela erosão devido a inadequação do respectivo uso e manejo. Desse modo, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para que o planejamento conservacionista seja estabelecido. Dentre esses fatores, a erosividade da chuva (fator R da equação universal de perdas de solo) constitui-se num dos parâmetros mais importantes, uma vez que representa o potencial ativo da chuva sobre a produção da erosão do solo. A sua determinação definirá a melhor época para o estabelecimento das práticas de manejo e conservação do solo (Val et al., 1986). Tal fator é dimensional, cujo valor é obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos (Wischmeier & Smith, 1978).

A pesquisa na área de conservação do solo tem indicado que quando todos os fatores da equação universal de perda de solo, com exceção da erosividade, são mantidos constantes, as perdas de solo de uma área agricultada causada por uma chuva qualquer, são diretamente proporcionais ao seu índice de erosividade (Carvalho, 1987).

O índice de erosividade EI_{30} desenvolvido nos EUA, tem sido calculado e testado em diversos países, sendo sua adaptabilidade questionada em países tropicais e subtropicais (Hudson 1973, Lal, 1976). No Brasil, o índice de erosividade EI_{30} tem sido amplamente determinado (Lombardi Neto, 1977; Castro Filho et al., 1982; Pereira, 1983; Margolis et al., 1985; Medina & Oliveira Jr., 1987; Carvalho, 1987; Moraes et al., 1988; Bertol, 1993; Pereira & Carvalho, 1997; Roque & Goelho, 1997; Colodro, 1999; Roque &

Carvalho, 1999; Roque, 1999). No Estado de São Paulo, o fator R foi estimado entre outras, para as seguintes localidades: Campinas, Mococa, Piracicaba, Pindorama, Teodoro Sampaio e Piraju.

Dentro desse enfoque, os objetivos do presente trabalho foram de obter para o município Votuporanga (SP), os seguintes parâmetros:

- a) Determinar o fator erosividade da chuva, através do El_{30} , contribuindo assim com o detalhamento e aprimoramento do mapa de linhas isoerosivas do Estado de São Paulo;
- b) Estudar a distribuição anual, sazonal, mensal e decendial do índice de erosividade;
- c) Definir o período de retorno e a probabilidade de ocorrência, tanto para os valores dos índices anuais de erosividade, como para os valores máximos anuais e mensais das chuvas individuais erosivas;
- d) Correlacionar o índice de erosividade El_{30} médio mensal com o coeficiente de chuva local, e
- e) Determinar a chuva máxima diária e a intensidade máxima diária em 15 minutos, no período de retorno de 10 anos, para posterior uso nos cálculos da seção transversal do canal do terraceamento agrícola local.



2. REVISÃO DE LITERATURA

2. 1. Equação Universal de Perdas de Solo

Segundo relatos de Wischmeier & Smith (1965, 1978), a equação universal de perdas de solo foi desenvolvida pelo *National Runoff and Soil Loss Data Center*, juntamente com a Universidade de Purdue (EUA). Uma cooperação entre os projetos de pesquisas estaduais e federal de 49 localidades norte-americanas, contribuiu com mais de 10000 parcelas anuais de dados de enxurrada e de perda de solo para esse acontecimento. A equação apresentada prediz a perda média anual de um solo de um local qualquer, através do produto de suas variáveis, cujos valores podem ser expressos numericamente. Sua representação no Sistema Internacional de Unidades (Foster *et al.*, 1981) foi a seguinte:

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

onde: **A** é a perda média anual de solo em t/ha.ano; **R** é o fator erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h.ano; **K** é o fator erodibilidade do solo em 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, e **P** é o fator prática conservacionista. As variáveis **L,S,C,P** são adimensionais. Do ponto de vista prático e aplicativo, sabe-se da inquestionável importância da utilização da equação universal de perda de solo à uma localidade agrícola qualquer. Elucidando essa importância, é relacionado o seguinte exemplo: supondo-se que no município de Pereira Barreto (SP) pretende-se cultivar milho sob um LATOSSOLO VERMELHO, através do plantio direto, com a cultivar estabelecida em nível, e com os terraços implantados de 50 em 50 m, numa área com 0,04 m/m de declividade. Assim as variáveis da equação universal de perda de solo local ficariam as seguintes: 1) Fator **R** = aproximadamente 6200 MJ.mm/ha.h.ano, obtido diretamente no mapa de linhas isoerosivas do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), 2) Fator **K** = 0,0173 t.ha.h/ha.MJ.mm, 3) Tolerância de perda de solo: 15 t/ha.ano, 4) Fator **LS** = 0,5940; 5) Fator **C** = 0,1376, e 6) Fator **P** = 0,5. Calculando-se a estimativa da perda de solo A_1 com tais variáveis, isto é, $A_1 = 6.200 \times 0,0173 \times 0,5940 \times 0,1376 \times 0,5$, resulta que $A_1 = 4,38$ t/ha.ano, ficando tal modalidade de agricultura local de forma correta, uma vez que a tolerância à perda desse solo é de 15 t/ha.ano. Finalmente, as dimensões necessárias à seção transversal triangular do canal do terraço em questão podem ser com uma base de 10m e uma altura de 0,66m.

A correlação entre a energia cinética da chuva e a perda de solo foi estudada por Wischmeier & Smith (1958), onde foi desenvolvida uma equação de regressão com elevada significância estatística:

$$E = 916 + 331. \log I \dots\dots\dots (r^2 = 0,98) \dots\dots\dots (2)$$



onde: E é a energia cinética em tf.pé/acre.pol e I é a intensidade da chuva em pol/h. Essa equação foi baseada em dados detalhados de distribuição do tamanho de gotas da chuva de Laws & Parsons (1943), como também na velocidade terminal de vários tamanhos de gotas, avaliados por Laws (1941) e também por Gunn & Kinzer (1949). A conversão da equação (2) para o Sistema Internacional de Unidades foi a seguinte, conforme Foster *et al.* (1981):

$$E = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \dots\dots\dots (r^2 = 0,98) \dots\dots\dots (3)$$

onde: E é a energia cinética em MJ/ha.mm, e I é a intensidade da chuva em mm/h.

2. 2. Índice de erosividade EI_{30}

A erosividade da chuva é a sua habilidade potencial em causar erosão. Ocorre em função das características físicas das chuvas. Em condições semelhantes de solo pode-se comparar quantitativamente uma chuva qualquer em relação a outra, possibilitando a criação de uma escala numérica de valores de erosividade (Hudson, 1973). Portanto, o fator erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva em produzir erosão (FAO, 1967).

O cálculo da energia cinética total da chuva, como um componente do índice de erosividade, requer a definição exata de **chuva individual erosiva**. O tempo mínimo e ótimo, definido como o intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração do solo, após o término do primeiro evento, sendo que esse tempo varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações do EI_{30} com a perda de solo foram obtidas quando

as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tomadas como únicas (Wischmeier, 1959). A conceituação de chuva individual erosiva foi bastante simplificada quando omitiu-se do cálculo do fator R as chuvas menores que 12,7 mm (0,5 polegada), e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse o caso de 6,4 mm (0,25 polegada) em 15 minutos (Wischmeier & Smith, 1978).

A soma dos EI_{30} das chuvas individuais erosivas, em um determinado período de tempo, constitui-se na erosividade da chuva de tal período. Devido ao padrão cíclico aparente dos dados pluviais, previamente descrito por Newman (1970), os índices de erosividade médios anuais norte-americanos foram publicados com base em amostras contínuas de 22 anos. O somatório dos índices de erosividade das chuvas individuais erosivas de um determinado mês constitui-se no seu EI_{30} mensal. Da mesma forma, o somatório dos EI_{30} mensais constitui-se no EI_{30} anual. Finalmente, o índice EI_{30} médio anual, quando oriundo de uma série contínua de pelo menos 22 anos de dados, constitui-se no fator erosividade da chuva, ou fator R (Wischmeier & Smith, 1965, 1978).

A função do fator R é a de quantificar a correlação existente entre a força erosiva da chuva e da enxurrada. O índice utilizado para representá-lo deve ser estatisticamente consolidado através da análise de longo período de dados meteorológicos. Desta forma, o índice EI_{30} comportou-se como o melhor avaliador da erosividade da chuva, por ter proporcionado as mais elevadas correlações com a perda de solo (Wischmeier, 1972).

2. 2. 1. Comparação entre o índice EI_{30} e outros índices estimadores da erosividade da chuva



Medina & Oliveira Jr. (1987) estudaram a aplicabilidade de alguns índices erosivos em um LATOSSOLO AMARELO de Manaus (AM), mediante correlação simples com as perdas de solo, utilizando dados pluviográficos diários de uma série de 3 anos. Observaram que o índice EI_{30} foi o que apresentou a menor correlação com as perdas de solo, dentre todos analisados. Os de melhor correlação foram o Ai_m ($r=0,73$) e o $EI_{7,5}$ ($r=0,70$), ambos significativos a 1% de probabilidade. A baixa correlação do índice EI_{30} ocorreu porque a relação empírica usada para computar o índice erosivo não considerou o efeito do vento, que pode influenciar notadamente tanto a energia cinética como o ângulo de impacto da gota da chuva, conforme preconizado por Lal (1976).

O índice EI_{30} foi considerado bom estimador da erosividade da chuva por Dedeczek (1988), ao estudar os diversos fatores de erosividade nas condições de cerrado do Distrito Federal, utilizando uma série contínua de 8 anos de dados.

Morais *et al.* (1988) correlacionaram os índices EI_{25} e EI_{30} com perdas de solo e observaram não haver diferença significativa entre ambos. Sendo assim, concluíram que o índice EI_{30} ainda foi o mais adequado para estimar o potencial erosivo das chuvas nas condições estudadas.

Carvalho (1992) testou a eficiência do EI_{30} para o Estado de São Paulo, concluindo que tal índice atendeu de maneira satisfatória às conveniências práticas e aos interesses do desenvolvimento da equação universal de perdas do solo para o local. Do mesmo modo, para o agreste de Pernambuco, Cantalice & Margolis (1993) correlacionaram o índice EI_{30} e o $KE>25$ com as perdas de solo. Concluíram que o índice que melhor se correlacionou com tais perdas foi o EI_{30} ($r = 0,75$).



Albuquerque *et al.* (1994) recomendaram o índice de erosividade EI_{30} para estimar as perdas de solo, quando estudaram as correlações das características físicas da chuva com as perdas de solo por erosão, em Caruaru (PE).

2. 2. 2. Distribuição espacial do fator R

A erosividade da chuva de Campinas (SP), localizada na latitude $22^{\circ} 51'S$ e na longitude $47^{\circ} 04'W$, foi estudada por Lombardi Neto (1977) através do EI_{30} . Foram utilizados dados de 22 anos de precipitação pluviográfica, obtendo-se um fator R de 6667 MJ.mm/ha.h.ano. Os índices anuais de erosividade apresentaram respectivamente os valores de desvio padrão e erro padrão da média de 2243 e 520 MJ.mm/ha.h.ano, e um coeficiente de variação de 35,8%.

Lombardi Neto *et al.* (1980) apresentaram o mapa de linhas isoerosivas do Estado de São Paulo através do índice EI_{30} . Observaram que a erosividade aumentou no sentido oeste - leste, assim como no sentido sudoeste - nordeste. Estimaram valores de 6000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, no oeste e leste, sendo tais valores o dobro daqueles observados para os Estados Unidos da América do Norte, por Wischmeier & Smith (1978).

Pereira (1983) estudou a erosividade da chuva de Piracicaba (SP), localizada na latitude $22^{\circ} 44'S$ e na longitude $47^{\circ} 33'W$, através do índice EI_{30} , estimando um fator R de 5729 MJ.mm/ha.h.ano. Foram obtidos valores de 2158 e 481 MJ.mm/ha.h.ano para o desvio padrão e erro padrão da média respectivamente, e um coeficiente de variação de 37,6%.



Na estimativa dos fatores da equação universal de perdas do solo para Caruaru (PE), Margolis *et al.* (1985) utilizaram o índice de erosividade EI_{30} numa série de dados pluviográficos de 4 anos, encontrando um fator R igual a 2100 MJ.mm/ha.h.ano.

Val *et al.* (1986) estudaram a erosividade das chuvas de Lavras (MG), situada na latitude $21^{\circ} 14'S$ e longitude $45^{\circ} 00'W$. Utilizaram os índices EI_{30} e o $KE > 25$, com dados pluviográficos de um período de 21 anos. Os valores obtidos pelos dois métodos não diferiram estatisticamente, sendo de 6837 e 6483 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para o EI_{30} e $KE > 25$.

A erosividade da chuva do Estado do Paraná foi estudada por Rufino (1986), através do EI_{30} . O autor encontrou valores que variaram na magnitude de 5000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente no nordeste e sudoeste do Estado.

Sosa (1987) estudou a erosividade da chuva de Pindorama (SP), situada na latitude $21^{\circ} 31'S$ e na longitude $48^{\circ} 55'W$, utilizando a metodologia do EI_{30} . O valor obtido para o fator R local foi de 6143 MJ.mm/ha.h.ano.

Carvalho *et al.* (1989a) estudaram a erosividade da chuva de Mococa (SP) (latitude $21^{\circ} 28'S$ e longitude $47^{\circ} 01'W$) pelo índice EI_{30} . Observaram um fator R de 7747 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores do desvio padrão e erro padrão da média foram de 2064 e 474 MJ.mm/ha.h.ano respectivamente, e o coeficiente de variação foi de 26,6%.

Morais *et al.* (1991) estimaram o índice de erosividade EI_{30} para o sudoeste do Estado de Mato Grosso, através de dados pluviográficos de dois postos meteorológicos do município de Cáceres. O tempo de registro de dados foi de 9 e 7 anos, e os fatores R determinados foram de 8493 e 7830 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Barranquinhos e Flechas. As curvas de distribuição relativa acumulada, do índice de erosividade médio mensal

desses dois postos, indicaram uma concentração do potencial erosivo nos meses de novembro a março, respectivamente com 76,0 a 81,0% do total.

Campos Filho *et al.* (1992) estudaram a erosividade da chuva do agreste de Pernambuco, através do índice EI_{30} , com dados de uma série de 10 anos. Os autores encontraram o fator R de 3551 MJ.mm/ha.h.ano. Observaram que esse baixo valor não foi devido a quantidade de água precipitada, mas sim a intensidade das chuvas, conforme preconizado por Chaves & Diniz (1981). Lopes & Brito (1993) também obtiveram um baixo valor do fator R para Caatinga, Bebedouro e Mandacaru, três localidades do Médio São Francisco (PE). Os valores do fator R, encontrados para essas localidades através do EI_{30} , foram respectivamente de 3619, 3657 e 4039 MJ.mm/ha.h.ano.

O índice EI_{30} tem sido utilizado para avaliação do fator R no sul do Brasil. Assim, foram obtidos valores de 5694 e 6329 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Lages e Campos Novos, localidades do Estado de Santa Catarina (Bertol, 1993, 1994).

A erosividade de Bauru (SP) foi estudada por Lima (1995) através do índice EI_{30} . O fator R estimado foi de 8170 MJ.mm/ha.h.ano, com um coeficiente de variação de 18,8%.

Carvalho *et al.* (1996) estimaram a erosividade da chuva de Botucatu (SP) através de 21 anos de registro de dados pluviométricos, utilizando a equação obtida através do coeficiente de chuvas do município de Mococa (Carvalho *et al.*, 1991). O fator R observado foi de 7468 MJ.mm/ha.h.ano. Também para Selvíria (MS), foi estimada a erosividade da chuva por Carvalho *et al.* (1997), utilizando essa mesma metodologia, para 16 anos de registros de dados pluviométricos locais, e o fator R estimado foi de 6728 MJ.mm/ha.h.ano. Já para Araçatuba, com a mesma metodologia, Pereira & Carvalho (1997), utilizando uma



série de 21 anos de registro de dados pluviométricos locais, sendo o fator R calculado de 6954 MJ.mm/ha.h.ano.

Roque & Coelho (1997) estimaram a erosividade da chuva de Pereira Barreto (SP) (latitude 20° 38' 43,7" S e longitude 51° 06' 35"W) pelo índice EI_{30} , através de 16 anos de registro de dados pluviométricos, utilizando a equação obtida através do coeficiente de chuvas do município de Mococa. O valor obtido para o fator R local foi de 7056 MJ.mm/ha.h.ano. Utilizando a mesma metodologia, Roque & Carvalho (1999) estimaram a erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP) (latitude 21° 28' 02"S e longitude 49° 13' 17" W) através de 16 anos de registro de dados pluviométricos, e o fator R obtido foi de 7044 MJ.mm/ha.h.ano.

Colodro (1999) estimou a erosividade da chuva de Teodoro Sampaio (SP) (latitude 22° 37'S e longitude 52° 10'W) pelo índice EI_{30} , através de dados pluviográficos com uma série contínua de 20 anos. O valor obtido para o fator R local foi de 7172 MJ.mm/ha.h.ano.

Roque (1999) estimou a erosividade da chuva de Piraju (SP) (latitude 23° 13'S e longitude 49° 14'W) pelo índice EI_{30} , através de dados pluviográficos com uma série contínua de 23 anos. O valor obtido para o fator R local foi de 7074 MJ.mm/ha.h.ano.

2. 2. 3. Distribuição Temporal do Fator R

Lombardi Neto (1977) estimou a distribuição do fator R de Campinas (SP), verificando que 62,0% do seu valor ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro. Para o semestre de outubro a março a quantia observada foi de 90,7%. Concluiu que é esperada uma grande perda de solo por erosão nesta época.



Pereira (1983) observou para Piracicaba (SP) que durante a primavera e o verão foram concentrados 86,1% do EI_{30} médio anual. Também, para o trimestre de dezembro a fevereiro ocorreu 58,0% do total do referido índice, permitindo concluir que grande risco de erosão é esperado neste período.

Margolis *et al.* (1985) estimaram os fatores da equação universal de perdas do solo para Caruaru (PE). Para a determinação do fator R e sua distribuição mensal utilizaram pluviogramas de um período de 6 anos (1970 a 1975). A distribuição mensal da erosividade observada concentrou-se entre janeiro a julho, com a quantia de 95,0% do total.

Para Pindorama (SP) a distribuição da erosividade anual foi estudada por Sosa (1987). Foi observada uma distribuição de 83,3% durante o semestre de outubro a março.

Carvalho *et al.* (1989b) observaram para Mococa que 85,0% do EI_{30} médio anual ocorreu de outubro a março, correspondendo a 80,1% do total anual da chuva. Também, para o trimestre de dezembro a fevereiro ocorreram as quantias de 51,4% e 48,1%, respectivamente do EI_{30} médio anual e do total anual de chuva.

Lopes & Brito (1993) estimaram a distribuição mensal do EI_{30} para a região do Médio São Francisco (PE). Segundo os autores, 65,0% do EI_{30} médio anual ocorreu durante o trimestre de fevereiro a abril, sendo que somente o mês de março respondeu por 38,0% desse total. Também, o período de outubro a abril representou aproximadamente 93,0% do EI_{30} médio anual.

Foi estudada a distribuição mensal do fator R de Botucatu (SP) e Selvíria (MS) por Carvalho *et al.* (1996, 1997), os autores observaram que em relação ao semestre de outubro a março, essas distribuições foram nas proporções de 80,4% e 84,3%, respectivamente para esses locais.



Pereira & Carvalho (1997) observaram para Araçatuba (SP) (Latitude $21^{\circ} 03' S$ e Longitude $50^{\circ} 28' W$ que 84,02% do total de índice de erosividade e 77,55% do total de precipitação pluviométrica anual, ocorreram no período de outubro a março. Para o trimestre de novembro a janeiro ocorreram 45,44% e 41,09%, respectivamente, do índice de erosividade média anual e do total de precipitação pluviométrica anual.

Roque & Coelho (1997) observaram para Pereira Barreto (SP) que 84,78% do total de índice de erosividade e 78,27% do total de precipitação pluviométrica anual, ocorreram no período de outubro a março. Para o trimestre de novembro a janeiro ocorreram 55,89 e 48,28%, respectivamente do índice de erosividade médio anual e do total de precipitação pluviométrica anual.

Na estimativa do fator R para Teodoro Sampaio (SP), Colodro (1999) verificou que 45,7% do total da erosividade ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro. Também, para o semestre de outubro a março ocorreu 74,0% desse total. Já para Piraju, Roque (1999) verificou que 46,9% do total da erosividade ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro, e que para o semestre de outubro a março ocorreu 78,5% do total; concluindo que neste período o risco de ocorrência de erosão atinge o mais alto nível.

Roque & Carvalho (1999) observaram para Novo Horizonte que 85,7% do total de índice de erosividade e 78,9% do total de precipitação pluviométrica anual, ocorreram no período de outubro a março. Para o trimestre de novembro a janeiro ocorreram 53,7 e 46,7%, respectivamente do índice de erosividade médio anual e do total de precipitação pluviométrica anual.

2. 2. 4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência do fator R

Lombardi Neto (1977) determinou o período de retorno do fator R para o município de Campinas (SP); obteve o valor de 2,1 anos para o período de retorno, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 47,0%. Assim, foi concluído que é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 47,0%, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior a 6677 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. Determinou os valores dos índices anuais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 6368, 8511, 9930, 11290, 13052 e 14372 MJ.mm/ha.h.ano. Determinou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 1033, 1476, 1769, 2051, 2415 e 2688 MJ.mm/ha.h.

Sosa (1987) estudou o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R para o município de Pindorama (SP). O autor observou que é esperado ocorrer neste local um valor de erosividade anual igual ou superior ao do fator R pelo menos uma vez a cada 2,1 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 47,0%. Determinou os valores dos índices anuais de erosividade esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 5666, 8234, 11565 e 15259 MJ.mm/ha.h.ano. Determinou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 912, 1462, 2175 e 2966 MJ.mm/ha.h.ano.

Para Mococa (SP), o período de retorno e a probabilidade de ocorrência foram determinados para o fator R local (Carvalho *et al.* 1989b). Os autores encontraram um período de retorno de 2,4 anos com probabilidade de ocorrência de 42,0%. Portanto, é



esperado que ocorra com uma probabilidade de 42,0%, um valor do EI_{30} médio anual igual ou superior a 7747 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 2,4 anos. Entretanto, para o dimensionamento do terraceamento agrícola nesse local, podem ser utilizados valores mais convenientes do EI_{30} médio anual, e com período de retorno de 5, 20 e 100 anos, que são respectivamente de 9151, 11455 e 14062 MJ.mm/ha.h.ano. Determinaram também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 862, 1211, 1657 e 2166 MJ.mm/ha.h.ano.

Lima (1995) determinou o fator R para Bauru (SP) um período de retorno de 2,3 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 43,0%. Determinou também os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 7918, 9276, 10174, 11037, 12153 e 12989 MJ.mm/ha.h.ano.

O fator R de Botucatu (SP), que foi de 7468 MJ.mm/ha.h.ano determinada por Carvalho *et al.* (1996), é esperado que ocorra com uma intensidade igual ou superior com uma probabilidade de ocorrência de 43,4%, e um período de retorno de 2,3 anos.

Carvalho *et al.* (1997) estudaram o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R para Selvíria (MS). Os autores observaram que é esperado que ocorra neste local um valor de erosividade anual igual ou superior ao do fator R (6728 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,3 anos, e com uma probabilidade de ocorrência de 42,9%.

Já para Araçatuba (SP) Pereira & Carvalho (1997) estudaram o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R, sendo que os autores observaram que é esperado ocorrer nesse local um valor de erosividade igual ou superior ao fator R (6954 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,45 anos, com uma probabilidade de



ocorrência de 41%. Determinaram também os valores dos índices anuais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, sendo respectivamente de 6771, 7753, 8404, 9027, 9835 e 10440 MJ.mm/ha.h.ano. Da mesma forma, Roque & Coelho (1997) realizando o mesmo estudo, observaram que o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R (7056 MJ.mm/ha.h.ano) de Pereira Barreto (SP), de pelo menos uma vez a cada 2,1 anos e 48% respectivamente. Esses autores determinaram também os valores dos índices anuais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, sendo respectivamente de 6850, 7958, 8691, 9394, 10304 e 10986 MJ.mm/ha.h.ano e também respectivamente com uma probabilidade de ocorrência de 56, 28, 17, 7, 2 e 1,5%.

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência, determinados para o fator R (7172 MJ.mm/ha.h.ano) de Teodoro Sampaio (SP) (Colodro, 1999), foram de 2,33 anos e 42,9%, respectivamente. Portanto, nos cálculos pertinentes a engenharia da conservação do solo e da água, visando-se solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 8666, 9877, 11046, 12546 e 13675 MJ.mm/ha.h.ano. Determinou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente de 1223, 1853, 2274, 2675, 3195 e 3585 MJ.mm/ha.h. Para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do ano, observou que o mês de dezembro apresentou os maiores valores dos máximos índices mensais de erosividade para chuvas individuais. Seus valores esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos foram respectivamente de 670, 1417, 1912, 2387, 3001 e 3461 MJ.mm/ha.h.



Roque & Carvalho (1999) estudaram o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R para Novo Horizonte (SP). Os autores observaram que é esperado ocorrer nesse local um valor de erosividade igual ou superior ao fator R (7044 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,4 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 42%. Determinaram também os valores dos índices anuais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, sendo respectivamente de 6749, 8341, 9394, 9989, 10405 e 11714 MJ.mm/ha.h.ano.

Roque (1.999) determinou o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R para o município de Piraju (SP), os quais foram de 2,33 anos e 42,92%, respectivamente. Da mesma forma portanto, nos cálculos pertinentes a engenharia da conservação do solo e da água, visando-se solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 6696, 8730, 11367, 13039 e 14292 MJ.mm/ha.h.ano. Determinou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente de 1194, 1825, 2243, 2644, 3163 e 3551 MJ.mm/ha.h. Já para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do ano, observou que o mês de janeiro apresentou os maiores valores dos máximos índices mensais de erosividade para chuvas individuais. Seus valores esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos foram respectivamente de 627, 1183, 1552, 1905, 2363 e 2705 MJ.mm/ha.h.

2. 2. 5. Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade



Fournier¹, citado por Lombardi Neto (1977), obteve uma estreita correlação entre o que chamou de degradação específica, ou total de erosão anual e um coeficiente de distribuição de chuva c , expresso como:

$$c = p^2 / p_n \dots\dots\dots(4)$$

onde: p é a média mensal de chuva dos meses chuvosos do ano e p_n é a média anual de chuva.

Numa tentativa de se obter uma estimativa precisa do EI_{30} , uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existem pluviógrafos, Lombardi Neto (1977) determinou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Campinas (SP) com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da equação (4), dado pela seguinte expressão:

$$R_c = P_m^2 / P_a \dots\dots\dots(5)$$

onde: R_c é o coeficiente de chuva em mm; P_m é a precipitação média mensal em mm, e P_a é a precipitação média anual. Assim a equação obtida foi a seguinte:

$$ei_{30} = 67,414 \cdot R_c^{0,850} \dots\dots\dots(r = 0,991) \dots\dots\dots(6)$$

onde: ei_{30} é o índice de erosividade médio mensal em MJ.mm/ha.h, e r é o coeficiente de correlação. Para uma localidade que possua uma distribuição de chuva semelhante a de Campinas, assim como uma série pluviométrica contínua de no mínimo 20 anos, foi concluído que tal equação pode apurar precisamente os valores médios do EI_{30} , usando-se apenas dados de quantidade de chuva.

¹ FOURNIER, F. Climate et Erosion. Pres Universitaires de France, Paris, 1960. 201p.



Pereira (1983) estudou a relação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva de Piracicaba (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação obtida foi a seguinte:

$$ei_{30} = 71,397 \cdot R_c^{0,807} \dots\dots\dots(r = 0,970; p < 0,01) \dots\dots\dots(7)$$

onde: $p < 0,01$ é a significância a 1,0%. Concluiu-se que tal equação foi muito semelhante à obtida por Lombardi Neto (1977) para Campinas (SP). Dessa forma, ao aplicar os dados de Piracicaba na equação (6) do referido autor, foi encontrado um valor de 6337 MJ.mm/ha.h.ano para o local estudado. Deste modo, ficou evidenciado que o modelo matemático de Campinas estimou o valor da erosividade de Piracicaba em 11,0% a mais que seu valor real.

Sosa (1987) obteve, para um período contínuo de 16 anos de dados de chuva de Pindorama, a seguinte equação:

$$ei_{30} = 122,973 \cdot R_c^{0,598} \dots\dots\dots(r = 0,988) \dots\dots\dots(8)$$

Carvalho *et al.* (1991) estudaram a relação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva de Mococa (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação obtida foi a seguinte:

$$ei_{30} = 111,173 \cdot R_c^{0,691} \dots\dots\dots(r = 0,991; p < 0,01) \dots\dots\dots(9)$$

Morais *et al.* (1991) estudaram a relação entre o índice EI_{30} médio mensal e o coeficiente da chuva de Barranquinho e Flechas, do Estado de Mato Grosso (MT). As equações obtidas foram respectivamente as seguintes:

$$ei_{30} = 56,115 \cdot R_c^{0,9504} \dots\dots\dots(r = 0,9327; p < 0,01) \dots\dots\dots(10)$$

$$ei_{30} = 36,849 \cdot R_c^{1,0852} \dots\dots\dots(r = 0,9165; p < 0,01) \dots\dots\dots(11)$$

Observaram que os coeficientes obtidos para as equações (10) e (11) diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). Assim, apesar da proximidade geográfica entre tais localidades, não foi proposta uma equação única, que pudesse estimar o EI_{30} para os dois locais. Houve portanto, a necessidade da aplicação daquela que melhor se ajustou aos dados de distribuição pluviométrica local.

Bertol (1993) determinou uma equação linear entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuvas para Lages (SC). A equação obtida foi a seguinte:

$$ei_{30} = 0,01 \cdot R_c + 6,93 \dots\dots\dots(r = 0,61; p < 0,01) \dots\dots\dots(12)$$

O coeficiente de correlação foi não significativo, provavelmente devido a grande dispersão dos dados médios mensais do EI_{30} , quando comparados à menor dispersão da precipitação média mensal. Esse fato é normal para as condições do local em estudo, uma vez que os meses com chuvas de alta intensidade média produzem elevados EI_{30} , não apresentando necessariamente elevadas precipitações médias mensais correspondentes. Concluiu que para Lages (SC), com os dados utilizados no referido trabalho, ainda não foi possível recomendar esse método de obtenção do EI_{30} para outras localidades.

Bertol (1994) determinou uma equação linear entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuvas para Campos Novos (SC). A equação obtida foi a seguinte:



$$ei_{30} = 22,626 \cdot R_c + 238,585 \dots (r = 0,50; p < 0,01) \dots (13)$$

O coeficiente de correlação foi não significativo, indicando preliminarmente que esse método não é recomendável para a obtenção do EI_{30} de Campos Novos.

Colodro (1999) estudou a relação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva de Teodoro Sampaio (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos, determinando a equação linear seguinte:

$$ei_{30} = 106,8183 + 46,9562 \cdot R_c \dots (r = 0,9634; p < 0,01) \dots (14)$$

Concluiu que as equações obtidas para Campinas (SP), Piracicaba (SP), Pindorama (SP), Mococa (SP), Barranquinho (MT) e Flexas (MT), respectivamente, determinadas por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho et al. (1991) e Moraes et al. (1991) não podem ser utilizadas para estimativa do fator R local de Teodoro Sampaio (SP). Por outro lado, a equação do coeficiente de chuva obtida para Teodoro Sampaio (SP) também não pode ser utilizada para a estimativa do fator R das localidades de Mococa (SP) e Pindorama (SP).

Roque (1999) também estudando a relação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva, para Piraju (SP), com um período contínuo de análise de dados de 23 anos, determinou a seguinte equação potencial:

$$ei_{30} = 72,5488 \cdot R_c^{0,8488} \dots (r=0,9629; p<0,01) \dots (15)$$

Concluiu que as equações de Mococa, Barranquinho e Flechas, respectivamente determinadas por Carvalho et al. (1991) e Moraes et al (1991), podem ser utilizadas para estimativa do fator



R de Piraju. Por outro lado, aplicando-se a equação de Piraju aos dados de coeficiente de chuva de Mococa, Pindorama e Teodoro Sampaio, determinados respectivamente por Carvalho et al. (1991), Sosa (1987) e Colodro (1999), verificou-se que a mesma não pode ser utilizada para a estimativa dos fatores R das referidas localidades.

2.3. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

Quando a chuva excede a capacidade de infiltração de água do solo, o excesso de água escoar sobre a superfície do terreno formando a enxurrada, que vai em direção aos canais, represas, ribeirões e rios (Lombardi Neto, 1989). Ao projetar canais, diques e outras obras do terreno para controlar a enxurrada, é necessário ter informações da provável quantidade de água esperada. Se o objetivo é reter ou armazenar a água, pode ser suficiente apenas o conhecimento do volume total de água esperada. Porém, o que é usual nos problemas conservacionistas, é conduzir a água de um lugar para outro. Neste caso, a intensidade da enxurrada é mais importante, particularmente a enxurrada máxima que pode ocorrer. Essa enxurrada, que pode ocorrer num determinado local, depende implicitamente também da respectiva máxima intensidade da chuva. Esta determinação é normalmente efetuada com base em um grande número de observações e nas características da bacia hidrográfica, tais como declividade, solo, cobertura vegetal, que determinam a proporção em que as chuvas penetram no perfil do solo e a velocidade de seu escoamento. A área da bacia reflete no volume de enxurrada a ser gerado, pois quanto maior a bacia, maior a quantidade de chuva que atinge o solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).



2.3.1. Chuva máxima diária

Conforme Schwab et al. (1981), o método de predição da taxa do pico da enxurrada, normalmente calculado através da fórmula racional da vazão, é dado através da seguinte equação:

$$V_e = C.h.A \dots\dots\dots(16)$$

Onde: V_e é o volume crítico da enxurrada (m^3) causado pela chuva máxima diária, esperada num período de retorno de 10 anos; C é o coeficiente de enxurrada; h é a altura pluviométrica (m) da chuva máxima diária, esperada num período de retorno de 10 anos, e A é a área de drenagem entre dois terraços (m^2)

2.3.2. Intensidade máxima da chuva em 15 minutos

De acordo com Schwab et al. (1981), o método de predição da taxa do pico da enxurrada, normalmente calculado através da fórmula racional de Ranser, foi dado para os propósitos norte-americanos através da seguinte equação:

$$q = C_i A \dots\dots\dots(17)$$

onde: q é a taxa do pico da enxurrada (pés cúbicos por segundo); C é o coeficiente de enxurrada; i é a intensidade da chuva (polegadas por hora) esperada num determinado período de retorno, e com duração equivalente ao tempo de concentração da bacia

hidrográfica, e A é a área da bacia hidrográfica (acres). Entretanto, para a utilização deste método nas condições brasileiras, Cruciani (1989) utilizou a seguinte equação:

$$Q = CIA/360 \dots\dots\dots(18)$$

onde: Q é a taxa do pico da enxurrada (m^3/s); C é o coeficiente de enxurrada; i é a intensidade da chuva (mm/h) esperada num determinado período de retorno, e com duração equivalente ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, e A é a área da bacia hidrográfica (ha).

Para Schwab et al. (1981), o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é aquele compreendido entre o início do escoamento da enxurrada, presente no local mais longínquo desta bacia, até o seu local de deságüe (aporte). É assumido que, quando a duração da chuva mais intensa é igualada ao tempo de concentração da enxurrada, toda a bacia hidrográfica esta simultaneamente contribuindo para o deságüe. Um dos métodos mais amplamente aceitos para se calcular o tempo de concentração da enxurrada foi desenvolvido por Kirpich, resumido pela seguinte expressão:

$$T_c = 0,0195 (L_{max})^{0,77} (S_h)^{-0,385} \dots\dots\dots(19)$$

onde : T_c é o tempo de concentração da enxurrada (min); L_{max} é o comprimento máximo do lançante, no qual haverá escoamento da enxurrada (m), e S_h é o gradiente hidráulico, dado em m/m , e definido pelo quociente entre a distância vertical e a distância horizontal entre o ponto mais longínquo da bacia até o local de deságüe (aporte).

Os terraços em gradiente apresentam em geral um comprimento de 500 a 600 m, podendo tal gradiente ir no máximo até sete por mil, sendo mais comum o uso de três por mil. A velocidade da enxurrada no canal do terraço varia de 0,60 a 0,75 m/s, para evitar que ocorra erosão ou, por outro lado também para que não ocorra excessiva deposição de sedimentos no fundo do canal. Portanto, levaria de 11 a 19 minutos para a enxurrada percorrer do início ao final do terraço. Assim, deve-se escolher o tempo de 15 minutos como aquele referente ao tempo de concentração, para determinar a intensidade máxima da chuva que irá resultar na enxurrada máxima diária (Lombardi Neto, 1989).

Segundo Cruciani (1989), o conceito de tempo de concentração da enxurrada, de uma área de contribuição do escoamento superficial, deve ser necessariamente ligado ao percurso possível da água sobre uma superfície irregular, tanto no declive quanto na rugosidade. Bertoni & Lombardi Neto (1990) conceituaram o tempo de concentração como sendo a duração da chuva que corresponde ao pico máximo da enxurrada. Assim, pode-se defini-lo como sendo o tempo que uma gota de água da enxurrada leva para movimentar-se desde as partes mais longínquas da bacia até o ponto de deságüe. Realmente, neste momento, ocorre a máxima concentração da enxurrada, uma vez que estão chegando nesse ponto as gotas de todas as partes da bacia. Desde aquelas de precipitação mais próximas, como também as mais remotas ao referido ponto. A chuva de interesse, para o cálculo da enxurrada máxima, é aquela que pode ser precipitada num tempo igual ao tempo de concentração.

Roque (1999), determinou a probabilidade de ocorrência e o período de retorno das máximas intensidades de chuva em 15 minutos com um período de dados de 23 anos, quando observou para a maior intensidade de chuva em 15 minutos ter sido de 120,4 mm/h, com um período de retorno de 24,0 anos e uma probabilidade de ocorrência de 4,17%. Da mesma forma, para o menor valor de intensidade de chuva em 15 minutos observado, foi de 56,0



mm/h, com um período de retorno de 1,04 anos e uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Também, os valores das intensidades de chuva em 15 minutos, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 84,3, 100,4, 111,1, 121,4, 134,7 e 144,7 mm/h.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Material utilizado

3. 1. 1. Caracterização do local de origem dos dados

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados pluviográficos e pluviométricos do município de Votuporanga (SP), obtidos junto ao Departamento Estadual de Água e Energia Elétrica – DAEE, pertencente à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. O município de Votuporanga encontra-se nas coordenadas 22° 19' de latitude Sul e longitude 49° 02' W (Figura 1). Sua altitude média é de 510m. A precipitação média anual é de 1.405 mm, (São Paulo, 1993). O tipo climático predominante na região é o Cfa, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado por apresentar-se como mesotérmico úmido (Brasil, 1960).

3. 1. 2. Pluviômetro, pluviógrafo e pluviogramas utilizados

O pluviômetro utilizado foi o Ville de Paris. O pluviógrafo utilizado, tipo sifão IH e modelo Hillman-4 registra incrementos sucessivos de chuva, assim como o total acumulado. Possui autonomia para registrar chuvas ocorridas num intervalo de 24 horas, sendo movido a corda através de um mecanismo de relógio. As chuvas individuais erosivas

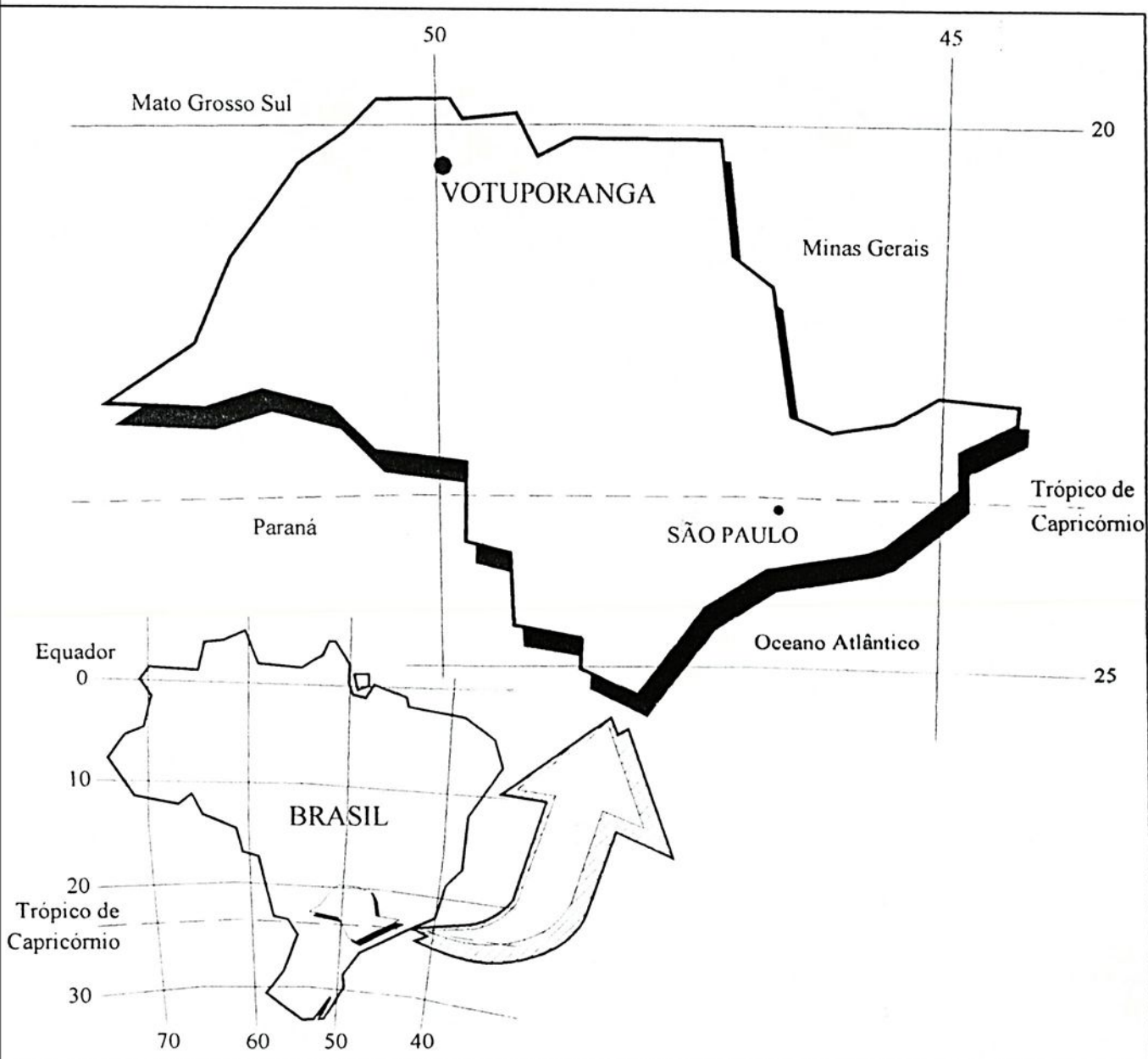


Figura 1 - Localização geográfica do município de Votuporanga no Estado de São Paulo.

estudadas (Wischmeier, 1959; Wischmeier & Smith, 1978, Cabeda, 1976) foram obtidas em pluviograma do modelo CED-RE-843, que possui o registro da quantidade de chuva e o tempo de ocorrência, respectivamente, na ordenada e na abscissa. Sua amplitude de registro varia de zero a 10,2 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante 24 horas, com unidade de 10 em 10 minutos.

3. 1. 3. Mesa digitalizadora e programas computacionais utilizados

A digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva foi efetuada em uma mesa digitalizadora, modelo OP1812, que opera pelo princípio da indução eletromagnética, conectada a um microcomputador do tipo PS/1 486 SX (Figuras 2a e 2b), no Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira (UNESP). Para tanto, a mesa foi configurada para operar o programa computacional de interpretação gráfica de mesa digitalizadora (IGMD), no Polo Computacional da Faculdade de Ciências Agronômicas do Câmpus de Botucatu (UNESP). O referido programa foi montado em linguagem PASCAL, de forma a fornecer a mesma precisão de leitura que a do olho humano, isto é, com o volume da chuva em décimo de milímetro e o tempo em minuto. A mesa digitalizadora é basicamente constituída de um tampo ou superfície de digitalização, e um cursor de teclas. A área ativa disponível do tampo é de 139354,56 mm² (457,2 mm x 304,8 mm). O cursor, constituído de 6 teclas, é ligado à mesa por um cabo RS-232 com 25 pinos. O modo de operação trabalhado foi o ponto a ponto, que envia um único par de coordenadas a cada vez que a tecla registradora é acionada, com uma precisão de $\pm 0,254$ mm. Posteriormente, os pares coordenados, representantes de cada um dos pontos de inflexão de intensidade das chuvas, foram passados pela consistência,



FIGURA 2a – Vista geral da mesa digitalizadora e do computador utilizado

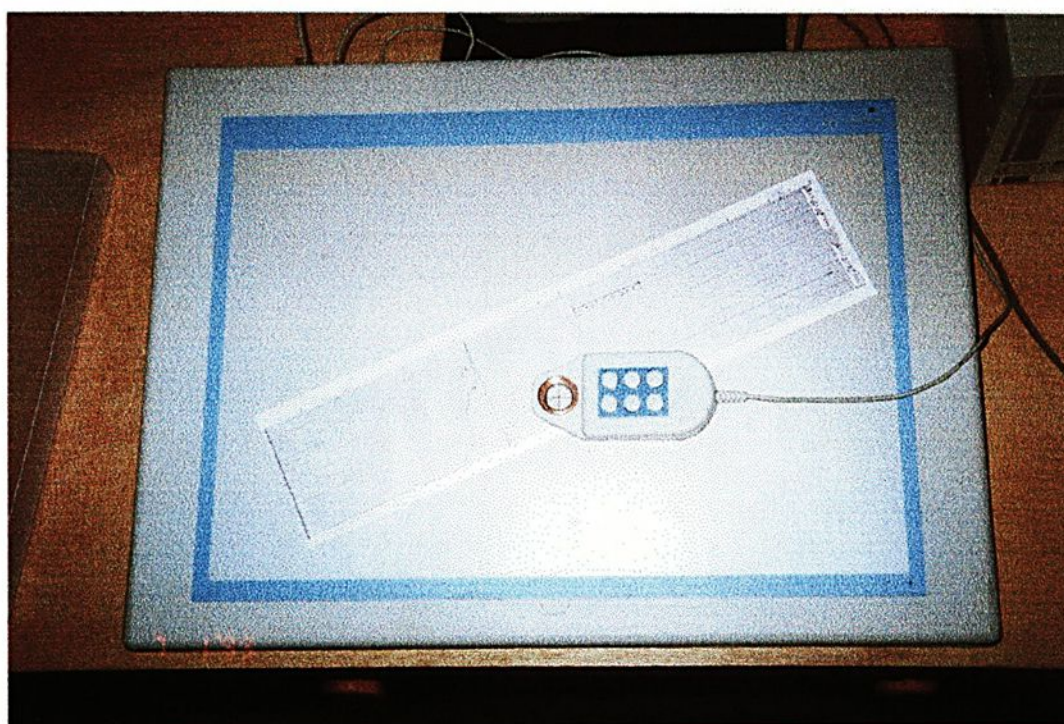


FIGURA 2b – Detalhe do pluviograma anexado à mesa digitalizadora

correção através da digitalização e/ou digitação e processamento dos cálculos da erosividade da chuva. Para tanto, foi utilizado o programa computacional de Cataneo et al. (1982). A análise estatística e a regressão dos dados foram efetuadas no programa estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997).

3. 2. Métodos Empregados

3. 2. 1. Obtenção das características da chuva

A obtenção das características da chuva foi efetuada segundo a seguinte rotina:

3. 2. 1. 1. Determinação do número total de chuvas estudadas

Foram analisados dados pluviográficos do município de Votuporanga (SP), acumulados durante o período de 01/01/1975 a 31/12/1996, assim como dados pluviométricos acumulados durante o período de 01/01/1975 a 31/12/1996, obtidos junto ao Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE, pertencente a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Em posse do conjunto de pluviogramas, procedeu-se a separação das chuvas estudadas, isto é, as chuvas individuais erosivas. Assim, tais chuvas foram tomadas como sendo aquelas registradas individualmente num único pluviograma, que totalizaram 954 delas. Os critérios de seleção utilizados foram os mesmos que os de Wischmeier (1959), Wischmeier & Smith (1978) e Cabeda (1976), com pequenas modificações sugeridas por Carvalho (1987), relacionados a seguir:

a) foram tomadas as chuvas que apresentaram um volume de 10,0 mm ou mais; e



b) foram também tomadas as chuvas que apresentaram menos de 10,0 mm, se o seu volume em 15 minutos fosse de 6,0 mm ou mais.

3. 2. 1. 2. Cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Após selecionar e separar os pluviogramas das 954 chuvas estudadas, efetuou-se o cotamento dos pontos de inflexão da intensidade. Para tanto, foram estabelecidas a lápis, sobre a curva da chuva traçada no pluviograma, cotas em todos os pontos em que o volume de chuva variou em função do tempo, isto é, todos os pontos nos quais houve alteração do ângulo de inclinação da curva. Tal passo visou fixar e homogeneizar o ponto de coleta do par de coordenadas cartesianas pela mesa digitalizadora.

3. 2. 1. 3. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Após o cotamento de todos os pluviogramas, procedeu-se a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva. Para tanto, os pluviogramas foram fixados sobre o tampo da mesa digitalizadora, sob a sua capa plástica. Encontrando-se ligado o conjunto mesa - computador, procedeu-se a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade, ponto por ponto, deslocando-se o cursor no sentido da origem para o final da abscissa, no pluviograma. As chuvas foram digitalizadas uma por uma, e registradas em arquivos individuais, conforme a rotina estabelecida pelo programa de digitalização IGMD. Assim, o registro do volume de chuva foi efetuado com a unidade de décimo de milímetro e o tempo em minuto.



3. 2. 1. 4. Passagem dos pontos de inflexão da intensidade da chuva pela consistência, correção e redigitalização

Seguidamente, as chuvas foram passadas por um programa de consistência, que acusava erros de lógica contidos nos registros dos pontos de inflexão da intensidade. Estes erros foram originados provavelmente pela digitação errada das coordenadas do pluviograma, digitalização dupla de um único ponto, e falhas do sistema eletrônico do conjunto mesa - computador. Entre eles, o programa acusava: a) tempo negativo; b) volume negativo de chuva; c) precipitação fora do intervalo estabelecido; d) tempo igual ao ponto anterior; e) tempo decrescente e, f) precipitação decrescente. Desta forma, foram efetuadas as correções das chuvas que apresentavam erros através da deleção, redigitação dos pontos, e redigitalização da chuva quando necessário.

3. 2. 1. 5. Energia cinética total da chuva (E)

Os pontos de inflexão da intensidade foram individualmente registrados com a unidade de décimo de milímetro para o volume da chuva (ordenada), e de minuto para o seu tempo total (abscissa). Assim, a energia cinética total da chuva foi obtida através do programa desenvolvido por Cataneo *et al.* (1982), segundo a metodologia de Wischmeier & Smith (1958), da seguinte forma:

- a) foram subtraídas sucessiva e cronologicamente, as leituras referentes ao tempo e ao volume precipitado, obtendo-se a variação de tempo (minutos) e a variação do volume (mm), para todos os segmentos de intensidade uniforme;



- b) foi calculada a intensidade (mm/h), para todos os segmentos de intensidade uniforme, multiplicando-se a variação do volume (mm) do segmento por 60 e dividindo-se tal produto pela respectiva variação de tempo (minuto);
- c) foi calculada a energia cinética do segmento de intensidade uniforme (MJ/ha.mm), através da equação (3) (Wischmeier & Smith, 1958), e reajustada ao Sistema Internacional de Unidades por Foster et al. (1981), dada por:

$$E = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I$$

onde: **E** é a energia cinética do segmento (MJ/ha.mm), e **I** é a intensidade do respectivo segmento (mm/h). Foi estipulado o valor máximo de energia cinética igual a 0,2832 MJ/ha.mm, para todos os segmentos com intensidade igual ou superior a 76,0 mm/h, de acordo com Wischmeier & Smith (1978).

- d) foi multiplicada a energia cinética do segmento de intensidade uniforme (MJ/ha.mm) pelo respectivo volume de chuva (mm), obtendo-se a energia cinética total de cada segmento (MJ/ha), e
- e) foram somados os valores de energia cinética total (MJ/ha) de todos os segmentos de intensidade uniforme, resultando a energia cinética total da chuva (MJ/ha).

3. 2. 1. 6. Intensidade máxima em 15 minutos (I_{15})

A intensidade máxima da chuva em quinze minutos foi calculada conforme a seguinte expressão (Carvalho, 1987):



$$I_{15} = \left(\sum_{i=1}^n i_n t_n \right) / 15 \dots\dots\dots(20)$$

onde: I_{15} é a intensidade máxima em 15 minutos (mm/h); i_n é o valor da intensidade de ordem n (mm/h), ocorrida dentro do tempo de 15 minutos; t_n é o tempo de ocorrência da intensidade de ordem n , ocorrida dentro do tempo de 15 minutos, e 15 é o espaço de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima.

3. 2. 1. 7. Intensidade máxima em 30 minutos (I_{30})

A intensidade máxima da chuva em trinta minutos foi também calculada conforme a seguinte expressão (Carvalho, 1987):

$$I_{30} = \left(\sum_{i=1}^n i_n t_n \right) / 30 \dots\dots\dots(21)$$

onde: I_{30} é a intensidade máxima em 30 minutos (mm/h); i_n é o valor da intensidade de ordem n (mm/h), ocorrida dentro do tempo de 30 minutos; t_n é o tempo de ocorrência da intensidade de ordem n ocorrida dentro do tempo de 30 minutos, e 30 é o espaço de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima.

3. 2. 1. 8. Índice de erosividade da chuva (EI_{30})



O índice de erosividade da chuva EI_{30} foi obtido (MJ.mm/ha.h) de acordo com Wischmeier & Smith (1958), através do produto entre a energia cinética total da chuva (E em MJ/ha) e a intensidade máxima em 30 minutos (I_{30} em mm/h).

3. 2. 1. 9. Exemplo de cálculo da erosividade de uma chuva

Para melhor compreensão da metodologia utilizada para a extração dos dados brutos da chuva, e seu posterior cálculo de erosividade, são apresentados o seguinte: a) Figura 3, que contém o registro parcial da chuva ocorrida em 11/01/83 em Votuporanga (SP), e b) Quadro 1, que contém o registro dos dados da mencionada chuva e a respectiva planilha de cálculo do EI_{30} .

Ct



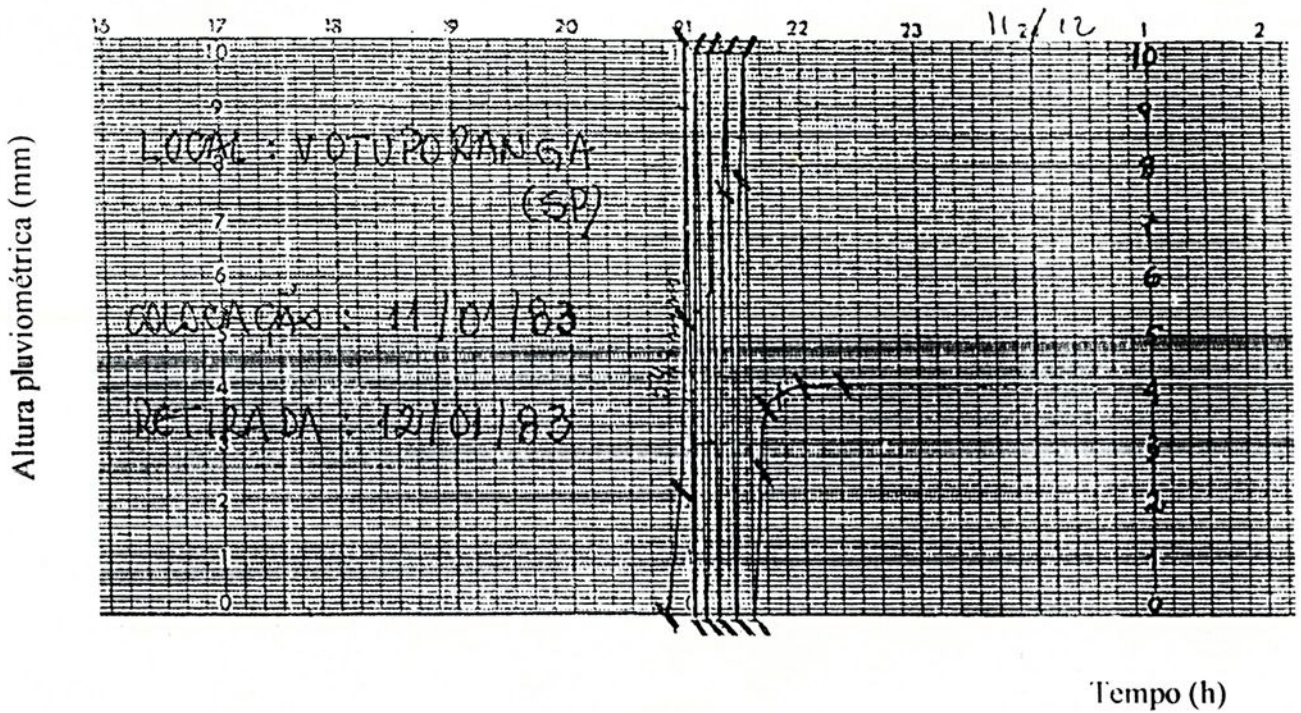


Figura 3 - Registro pluviográfico parcial da chuva ocorrida em 11/01/83 em Votuporanga (SP).

Quadro 1 - Registro dos dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma, e ocorrida em 11/01/83 em Votuporanga (SP), e sua respectiva planilha de cálculo do EI₃₀.

EROSIVIDADE DA CHUVA							
Local: Votuporanga (SP)							
Data da chuva : 11/01/83							
LINHA	LEITURAS DA CARTA (Pluviôgrafo)		SEGMENTOS COM DECLIVE UNIFORME			ENERGIA CINÉTICA	
	TEMPO (1)	CHUVA (2)	INTERVALO DE TEMPO (min) (3)	INTERVALO PARCIAL DE CHUVA (mm) (4)	INTENSIDADE DE CHUVA (mm/h) (5)	POR INTENSIDADE (MJ ha.mm) (6)	POR INCREMENTO (MJ ha) (7)
1	20:47	0,1	-	-	-	-	-
2	20:54	2,2	7	2,1	18,00	0,2286	0,4800
3	20:58	5,4	4	3,2	48,00	0,2658	0,8505
4	21:00	10,1	2	4,7	141,00	0,3066	1,4411
5	21:00	-0,1	-	-	-	-	-
6	21:07	10,0	7	10,1	86,57	0,2881	2,9101
7	21:07	-0,1	-	-	-	-	-
8	21:13	10,0	6	10,1	101,00	0,2063	2,0836
9	21:13	-0,1	-	-	-	-	-
10	21:18	7,5	5	7,6	91,20	0,2901	2,2048
11	21:23	10,0	5	2,5	30,00	0,2480	0,6199
12	21:23	-0,1	-	-	-	-	-
13	21:29	7,7	6	7,8	78,00	0,2842	2,2166
14	21:32	9,9	3	2,2	44,00	0,2625	0,5774
15	21:32	-0,1	-	-	-	-	-
16	21:38	2,5	6	2,6	26,00	0,2425	0,6306
17	21:40	3,7	2	1,2	36,00	0,2549	0,3058
18	22:00	4,0	20	0,3	0,9	0,1150	0,0345
19	22:20	4,1	20	0,1	0,3	0,0733	0,0078
TOTAL	-	-	93	54,5	-	-	14,3627

Duração total (min.) = 93 min.
Precipitação total (mm) = 54,5 mm
Energia cinética total (MJ/ha) = 14,3627 MJ/ha
 $I_{15} \text{ (mm/h)} = (2 \cdot 141 + 7 \cdot 86,57 + 6 \cdot 101) / 15 = 99,60 \text{ mm/h}$
 $I_{30} \text{ (mm/h)} = (2 \cdot 141 + 7 \cdot 86,57 + 6 \cdot 101 + 5 \cdot 91,20 + 5 \cdot 30 + 5 \cdot 78) / 30 = 83,00 \text{ mm/h}$
 $EI_{30} \text{ (MJ.mm/ha.h)} = 1192,1041 \text{ MJ.mm/ha.h}$



3. 2. 2. Probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos índices de erosividade

As análises do período de retorno e da probabilidade de ocorrência destinadas aos índices de erosividade, chuvas máximas diárias e às máximas intensidades da chuva em 15 minutos, foram efetuadas utilizando-se a lei da probabilidade logarítmica e a teoria dos valores extremos, preconizadas em Schwab *et al.* (1981). Para tanto, foram utilizadas as seguintes equações para determinar respectivamente, o período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o valor teórico do índice de erosividade, para um dado período de retorno dadas a seguir:

$$T = (N + 1)/m \dots\dots\dots(22)$$

onde: **T** é o período de retorno no qual o índice de erosividade será igualado ou superado; **N** é o número de anos de registro de dados (tamanho da série), e **m** é o número de ordem do índice de erosividade, quando a série é colocada em rol decrescente de magnitude;

$$Pr = 100/T \dots\dots\dots(23)$$

onde : **Pr** é a probabilidade de ocorrência do evento, em porcentagem, e **T** é o seu período de retorno em anos;

$$X_e = X (1 + cv \cdot k) \dots\dots\dots(24)$$

onde: **X_e** é o valor teórico do índice de erosividade para um determinado período de retorno; **X** é a média aritmética dos índices de erosividade, **cv** é o coeficiente de variação dos índices de erosividade e **k** é o fator de frequência do índice de erosividade para o período de retorno desejado, dado por:

$$k = (-2,45 \cdot (\gamma + \ln(\ln T - \ln(T - 1)))) / \pi \dots \dots \dots (25)$$

onde: γ é a constante de Euler (0,577) e T é o período de retorno em anos.

Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores dos índices de erosividade observados. Também, para a determinação do número adequado de anos de registro de chuvas para o cálculo de erosividade foi utilizada a equação de Mokus, relatada em Schwab *et al.* (1981), dada por:

$$Y = (4,30 \cdot t \cdot \log \theta)^2 + 6 \dots \dots \dots (26)$$

onde: Y é o número mínimo de anos de chuvas para o cálculo da erosividade; t é o valor tabelado (distribuição “t” de Student) para um dado nível de significância, normalmente com $p < 0,10$, 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.

3. 2. 3. Coeficiente de chuva

Foi calculado, para cada mês do ano o coeficiente de chuva, usando-se os valores pluviométricos médios mensais referentes ao mesmo período utilizado para a obtenção do índice de erosividade, isto é, valores referentes ao período de 1975 a 1996. O coeficiente empregado nos cálculos foi o mesmo que o utilizado por Lombardi Neto (1977), cuja expressão foi dada pela equação (5).

Em seqüência, através do programa estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) procedeu-se ao ajuste dos dados dos índices de erosividade médios mensais e do coeficiente de chuva, às funções dos seguintes tipos: linear, potencial, exponencial,

quadrática, logarítmica e semi-logarítmica. Desta forma, foram apresentados os coeficientes de ajuste para o modelo matemático que apresentou o maior coeficiente de determinação (r^2). Finalmente foi efetuada a análise da variância com o objetivo de se verificar a significância do ajuste em questão.

3. 2. 4. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

3. 2. 4. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias

Utilizando-se o programa de Cataneo et al. (1982) foram obtidas as chuvas máximas diárias de Votuporanga durante o período de 1975 a 1996. Seguidamente, foram efetuados os estudos de sua probabilidade de ocorrência e do período de retorno, da mesma forma como descrito previamente no item 3.2.2 do presente estudo.

3. 2. 4. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

Utilizando-se o programa de Cataneo et al. (1982) foram calculadas as máximas intensidades da chuva em 15 minutos. Seguidamente, também foram efetuados os estudos de sua probabilidade de ocorrência e do período de retorno, da mesma forma como descrito previamente no item 3.2.2 do presente estudo.



4. RESULTADOS

4. 1. Caracterização da erosividade da chuva

4. 1. 1. Fator erosividade da chuva

A soma dos índices de erosividade de todas as chuvas do ano de um determinado local representa a sua erosividade anual. A média aritmética dos índices de erosividade, quando oriunda de uma amostra com 20 ou mais anos de dados, representa o fator R ou fator erosividade da chuva (Wischmeier, 1959). Apesar de ser preconizada a utilização de uma amostra com pelo menos 22 anos de dados (Newman, 1970), a adequação do número de anos de registros de dados de erosividade revelou ser de 13,6 anos ($p < 0,10$), ou de 17,1 anos ($p < 0,05$) os tempos mínimos aceitáveis de dados para obtenção do fator R de Votuporanga (SP), de acordo com a equação (26), contida em Schwab et al. (1981).

No quadro 2 está contida a distribuição decendial mensal e total anual dos índices de erosividade EI_{30} , bem como o fator erosividade da chuva de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.



Quadro 2 - Distribuição decendial dos valores do índice erosividade EI_{30} da chuva (MJ.mm/ha.h.ano) de Votuporanga-SP, durante o período de 1975 a 1996.

Mês	Decêndio											Anos										Média			
		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Decendial	Mensal
JAN	1	129	0	630	325	88	459	185	913	481	22	40	155	32	452	758	1101	200	63	178	37	470	98	310	
	2	0	1378	46	184	791	674	211	135	1528	48	99	489	0	447	597	0	2032	1368	15	127	0	160	470	1244
	3	72	699	245	181	326	246	173	17	630	422	651	718	0	350	402	526	1490	445	742	650	584	655	465	
FEV	1	581	651	0	803	14	0	48	327	145	275	155	48	0	521	1291	33	2530	209	210	928	1095	0	448	
	2	261	166	0	43	153	54	121	13	2071	142	0	356	0	1399	421	40	275	136	764	0	783	73	331	1024
	3	544	365	0	70	30	85	0	281	750	0	1035	0	0	0	295	379	0	104	993	468	0	0	245	
MAR	1	17	553	0	311	0	0	97	228	3955	281	68	22	0	186	0	39	521	160	0	1539	41	665	395	
	2	366	223	0	0	111	45	461	833	945	0	140	1086	0	415	349	163	123	117	466	411	95	1924	376	1182
	3	1330	1657	945	155	0	0	276	446	0	1552	0	654	0	39	49	211	132	54	74	406	719	346	411	
ABR	1	384	215	143	0	459	61	0	0	180	412	668	0	525	801	55	0	89	0	999	0	618	128	261	
	2	0	10	117	63	0	89	437	0	71	0	377	0	89	166	382	597	415	199	672	90	130	308	192	548
	3	0	0	194	37	116	0	336	0	318	73	349	243	0	257	0	0	85	77	0	27	0	0	96	
MAI	1	0	23	0	0	605	0	0	0	0	197	0	93	0	0	44	393	0	339	38	0	0	31	80	
	2	0	102	0	367	0	0	0	28	210	0	0	150	0	0	0	25	0	0	0	0	0	325	55	202
	3	0	489	0	100	85	17	0	170	401	0	15	0	39	0	0	0	0	88	43	0	0	30	67	
JUN	1	0	0	18	113	0	0	248	0	196	0	0	0	0	0	212	0	0	0	111	0	0	0	41	
	2	0	0	0	0	0	57	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	54
	3	23	18	0	0	0	119	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	13	9	
JUL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	6	
	2	0	0	0	168	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	51
	3	0	0	0	698	11	0	0	0	0	53	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	18	37	
AGO	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0	0	0	0	7	
	2	0	769	0	0	208	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	62	49	115
	3	0	0	908	0	52	0	0	85	0	200	0	14	0	0	18	19	0	0	0	0	0	0	59	
SET	1	0	45	260	48	33	0	0	0	459	0	136	0	0	0	47	0	0	84	0	0	0	107	55	
	2	0	431	0	0	101	39	0	75	369	0	0	0	0	0	0	0	0	327	118	0	0	0	66	217
	3	36	0	67	0	60	184	0	42	0	0	0	430	514	0	0	162	18	0	514	0	40	38	96	
OUT	1	0	910	0	0	0	72	212	521	15	10	0	11	123	0	0	0	354	230	35	0	68	154	123	
	2	226	48	123	0	0	11	341	101	203	855	0	67	0	213	69	566	0	17	25	26	106	200	145	633
	3	0	39	306	825	132	51	248	662	98	0	187	25	40	313	92	0	127	335	79	4450	0	0	364	
NOV	1	130	383	51	242	284	120	201	0	128	0	593	0	580	0	178	754	30	137	129	260	66	398	212	
	2	96	181	705	748	11	0	230	858	58	259	0	86	43	198	24	10	268	0	0	253	0	288	197	342
	3	516	1124	337	0	372	179	21	475	111	613	597	128	1265	205	741	456	33	870	283	708	490	0	433	
DEZ	1	1084	816	526	513	0	27	722	323	591	139	517	213	695	0	558	553	1059	180	178	681	0	0	426	
	2	0	889	0	76	366	0	28	165	671	143	970	440	330	145	1564	478	77	30	379	424	395	1056	392	1233
	3	0	411	554	1217	150	687	269	524	179	253	78	81	1030	527	343	163	244	794	356	243	388	626	414	
Total		5793	12596	6175	7288	4562	3275	4908	7222	14776	5967	6678	5613	5304	6635	8550	6667	10249	6364	7433	11748	6087	7701	7345	7345

O fator erosividade da chuva de Votuporanga, apresentado no Quadro 2 e sendo de 7345 MJ.mm/ha.h.ano, foi superior àqueles de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Teodoro Sampaio e Piraju, respectivamente calculados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Colodro (1999) e Roque (1999). Entretanto, foi inferior aos de Mococa e Bauru, respectivamente calculados por Carvalho (1987) e Lima (1995). Em relação ao mapa de linhas isoerosivas do Estado de São Paulo elaborado por Lombardi Neto et al. (1980), o município de Votuporanga está localizado geograficamente próximo à linha de 6377 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, o valor estimado pelo referido mapa para o fator R de Votuporanga foi 15,2% inferior ao valor real.

O coeficiente de variação calculado para o fator R de Votuporanga, extraído do Quadro 7 e tendo a magnitude de 37,5%, foi 0,1% menor do que o de Piracicaba (Pereira, 1983). No entanto, foi 1,7; 5,0; 8,6; 10,9 e 18,7% respectivamente maior do que os de Campinas (Lombardi Neto, 1977), Piraju (Roque, 1999), Teodoro Sampaio (Colodro, 1999), Mococa (Carvalho, 1987) e Bauru (Lima, 1995). O desvio padrão do fator R de Votuporanga (2754 MJ.mm/ha.h.ano), foi 16,4; 18,5; 21,6; 24,6 e 25,0%, respectivamente maior do que os de Piraju (Roque, 1999), Campinas (Lombardi Neto, 1977), Piracicaba (Pereira, 1983), Teodoro Sampaio (Colodro, 1999) e Mococa (Carvalho, 1987). O erro padrão da média do fator R de Votuporanga (587 MJ.mm/ha.h.ano) foi 11,4; 18,1; 18,1; 18,9 e 19,2% maior do que o de Campinas (Lombardi Neto, 1977), Piracicaba (Pereira, 1983), Piraju (Roque, 1999), Teodoro Sampaio (Colodro, 1999) e Mococa (Carvalho, 1987).

A quantidade de chuva incluída no cálculo do fator R de Votuporanga (Quadro 3) representou 69,7% da precipitação pluviométrica média anual, sendo esse valor inferior aos encontrados para Teodoro Sampaio, Mococa, Piraju e Campinas, que foram respectivamente de 82,4%; 79,0%; 74,3 e 74,0%. Portanto, concluiu-se que o volume médio

de chuva não utilizado no cálculo do presente fator R, isto é, o volume de chuvas não erosivas, segundo a aplicação dos critérios de *chuva individual erosiva* de Wischmeier (1959) e Wischmeier & Smith (1978), que representou a quantia de 30,3%, foi mais próximo de Piraju e Campinas, com 74,3 e 74,0% respectivamente, por outro lado, mais distante de Teodoro Sampaio e Mococa, com 82,4 e 79,0% respectivamente. Desse modo, para as condições do Estado de São Paulo, assim como provavelmente para as condições brasileiras, a aplicação de tais critérios de erosividade pouparia em termos médios, 30,3% do trabalho total necessário. Em termos práticos, em locais com a mesma distribuição de chuvas que Votuporanga, na determinação da sua erosividade, tem-se menos trabalho nessa determinação quando comparativamente em cálculos com a mesma distribuição de chuva de Teodoro Sampaio e Campinas.



Quadro 3 - Quantidade total anual de chuva (mm) e relativa utilizada para o cálculo do índice de erosividade EI_{30} , durante o período de 1975 a 1996 de Votuporanga (SP).

Ano	Quantidade de chuva		Índice de erosividade	
	Total	Usada no cálculo do EI_{30}		
			Absoluta	Relativa
				(EI_{30})
	mm		%	MJ.mm/ha.h.ano
1975	1130,4	730,3	64,6	5793
1976	1905,5	1395,4	73,2	12596
1977	1422,8	904,1	63,5	6175
1978	1620,3	1170,5	72,2	7288
1979	1390,1	897,4	64,5	4562
1980	1128,7	673,0	59,6	3275
1981	1111,8	838,8	75,4	4908
1982	1549,6	1181,6	76,2	7221
1983	1964,1	1461,7	74,4	14776
1984	1127,9	809,6	71,8	5967
1985	1227,1	882,9	71,9	6677
1986	1234,2	805,9	65,3	5613
1987	1304,4	631,2	48,4	5304
1988	1224,5	879,9	71,8	6635
1989	1750,8	1303,2	74,4	8549
1990	1304,3	1017,5	78,0	6667
1991	1494,0	1174,6	78,6	10249
1992	1259,0	956,7	76,0	6364
1993	1366,8	957,9	70,1	7433
1994	1399,2	1064,5	76,1	11748
1995	1514,5	979,6	64,7	6087
1996	1482,0	930,6	62,8	7701
Média	1405,1	983,9	69,7	7345
DP ⁽¹⁾	-	-	-	2754
CV ⁽²⁾	-	-	-	0,3749

⁽¹⁾ DP = Desvio Padrão ; ⁽²⁾ CV = Coeficiente de Variação

4. 2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

4. 2. 1 Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva

O estudo da distribuição do potencial erosivo da chuva, bem como a distribuição da quantidade de chuva, é de grande importância para o manejo e o desenvolvimento das culturas. No período em estudo, os valores extremos dos índices anuais de erosividade variaram de 3275 a 14776 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 51 e 1244 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para os meses de julho e janeiro (Quadro 2).

Os Quadros 4 e 5 e a Figura 4 apresentam durante o período de 1975 a 1996 respectivamente: a) a distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996; b) distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996, e c) distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996. Pelos dados apresentados, pode-se observar que 83,9 % do índice de erosividade ocorreram nos meses de outubro a março. Em contraposição, no semestre complementar, essa quantia foi de apenas 16,1 %, assim como no trimestre de junho a agosto de apenas 3,0 %. Por outro lado em relação à precipitação, o semestre outubro - março correspondeu a 79,6% da quantidade total anual de chuva. A Figura 4 indica haver uma concordância harmônica entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Votuporanga (SP)

A distribuição da precipitação pluviométrica anual de Votuporanga seguiu um padrão semelhante ao unimodal, conforme descrição apresentada por Hudson (1973). Esse fato se assemelhou com as distribuições de Campinas, Mococa e Piraju respectivamente determinadas por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987) e Roque (1999), que apresentaram um padrão com tendência ao tipo unimodal. No entanto, apresentou ligeiro contraste com a distribuição de Teodoro Sampaio determinada por Colodro (1999), a qual apresentou um padrão com tendência ao tipo bimodal. Dessa forma, a quantia de 79,6% do total anual de chuva (Quadro 4, Figura 4) que ocorreu no período entre outubro e março foi menor do que as observadas para Mococa e Campinas, que foram respectivamente de 80,1% e 90,7%, e maior do que a observada para Teodoro Sampaio e Piraju, que foram respectivamente de 64,8% e 69,1%. Portanto, pôde-se concluir que para o local estudado, podem-se esperar sérios problemas de erosão do solo no período em que se concentra a maior quantidade das chuvas de elevada intensidade, fato esse que já havia sido constatado para essas mesmas localidades.

Foi confirmado existir para Votuporanga a mesma concordância entre as distribuições da erosividade média mensal e da precipitação pluviométrica média mensal (Figura 4), conforme previamente relatado para Campinas, Piracicaba, Mococa, Teodoro Sampaio e Piraju respectivamente por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Carvalho (1987), Colodro (1999) e Roque (1999). Assim, no semestre de elevado índice de erosividade (outubro - março), a precipitação acompanhou esse fato. Por outro lado, ocorreu também o mesmo no semestre de baixa erosividade (abril - setembro). O fator R de Votuporanga, quando comparado em ordem decrescente de magnitude em relação aos de Mococa, Teodoro Sampaio, Piraju, Campinas, Pindorama e Piracicaba, ocupou a posição entre a primeira e a segunda localidades. Assim, tais valores foram de 7747, 7345, 7172, 7074, 6667, 6143 e 5729 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Votuporanga, Teodoro Sampaio, Piraju,



Campinas, Pindorama e Piracicaba. Por outro lado, em relação à precipitação pluviométrica, Votuporanga ocupou a quarta posição no seguinte rol decrescente: Mococa, Piraju, Pindorama, Votuporanga, Campinas, Teodoro Sampaio e Piracicaba. As respectivas precipitações médias locais foram de 1584, 1483, 1426, 1405, 1349, 1282 e 1259 mm.

A distribuição de 83,9% do total do índice de erosividade (Quadro 2), ocorrida durante o semestre de outubro a março, indicou que nesse período é esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Votuporanga. Em termos absolutos, essa quantia ocupou a segunda posição em relação àquelas de Mococa, Teodoro Sampaio, Campinas, Pindorama, Piraju e Piracicaba, respectivamente determinadas por Carvalho (1987), Lombardi Neto (1977), Colodro (1999), Sosa (1987), Roque (1999) e Pereira (1983). Dessa forma, tais quantias foram de 6616, 6158, 6047, 5545, 5307, 5117 e 4933 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Votuporanga, Campinas, Piraju, Teodoro Sampaio, Pindorama e Piracicaba. Por outro lado, em termos relativos, essa quantia ocupou a quarta posição no referido rol de localidades. Tais valores foram de 90,7%, 86,1%, 85,4%, 83,9%, 83,3%, 78,5% e 74,0%, respectivamente para Campinas, Piracicaba, Mococa, Votuporanga, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio. Portanto, pôde-se concluir que em termos absolutos, são esperadas as maiores perdas de solo por erosão em Campinas, quando comparada àquela de Votuporanga. Já em termos relativos, são esperadas as maiores perdas do solo por erosão em Campinas, Piracicaba e Mococa.

Em relação à maior distribuição da erosividade trimestral (Quadro 2), Votuporanga apresentou o valor de 47,7% no trimestre dezembro - fevereiro. Assim, tais meses apresentaram os valores proporcionais de erosividade iguais a 16,8%; 16,9% e 13,9%, respectivamente, em dezembro, janeiro e fevereiro. Essa distribuição trimestral de Votuporanga, quando comparada à de outras localidades do Estado de São Paulo, apresentou-



se como a terceira menor. Dessa forma, o rol crescente das maiores distribuições trimestrais foi de 45,7%; 46,9%; 47,7%; 50,6%; 52,5%; 53,9%; 58,0%; 59,0% e 62,5%, respectivamente, para as seguintes localidades: Teodoro Sampaio (Colodro, 1999), Piraju (Roque, 1999), Votuporanga, Botucatu (Carvalho et al., 1996), Pindorama (Sosa, 1987), Selvíria (Carvalho et al., 1997), Piracicaba (Pereira, 1983), Mococa (Carvalho et al., 1989b) e Campinas (Lombardi Neto, 1977). Em relação ao mês de maior erosividade, Votuporanga apresentou a quantia de 16,9% para janeiro. Este valor ocupou a última colocação, entre as seguintes localidades que também apresentaram o respectivo mês como o mais erosivo: Campinas (24,7%), Piracicaba (21,4%), Selvíria (20,1%), Piraju (19,3%) e Botucatu (19,0%). Ainda, com relação ao mês de maior erosividade de Votuporanga (janeiro, 16,9%), este valor quando comparado àquelas de outras localidades nas quais o mês de maior erosividade foi o de dezembro, situou-se também em último lugar entre os seguintes locais: Mococa (23,0%), Teodoro Sampaio (22,0%), e Pindorama (18,0%). Por outro lado, em relação ao mês de menor distribuição da erosividade, Votuporanga apresentou os meses de junho e julho com 0,7% do total anual, sendo tal valor a quinta maior entre outras localidades paulistas, que foram de 0,2%; 0,4%; 0,5%; 0,6%; 1,1%; 1,2%; 1,3% e 1,7%, respectivamente, para Mococa, Selvíria, Piracicaba, Campinas, Pindorama, Botucatu, Piraju e Teodoro Sampaio. Em relação aos extremos de distribuição quantitativa decendial, os valores de Votuporanga foram de 6,4% e 0,1%, enquanto que os extremos de Piraju foram de 6,9% e 0,1%, já para os de Teodoro Sampaio foram de 9,8% e 0,3%, e os de Campinas de 10,3% e zero.

Em relação ao quadrimestre maio - agosto, período em que de forma geral, para todo o estado a erosividade da chuva é baixa, Votuporanga apresentou a quantia absoluta de 422 MJ.mm/ha.h.ano, equivalente a 5,8% do fator R local (Quadro 2). Tal valor foi, entre outras localidades paulistas a sexta maior em termos absolutos. Assim, a erosividade da chuva

desse período em ordem decrescente, comportou-se da seguinte forma: 958, 883, 800, 490, 431, 422, 372, 321 e 294 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Teodoro Sampaio (Colodro, 1999), Piraju (Roque, 1999), Botucatu (Carvalho et al., 1996), Pindorama (Sosa, 1987), Mococa (Carvalho et al., 1989b), Votuporanga, Selvíria (Carvalho et al., 1997), Piracicaba (Pereira, 1983) e Campinas (Lombardi Neto, 1977). Entretanto, no quadrimestre de junho - setembro, a erosividade da chuva de Votuporanga foi maior, sendo da ordem de 437 MJ.mm/ha.h.ano, equivalente a 5,9% do fator R local. Relativamente às três últimas localidades, que apresentaram no mencionado quadrimestre as erosividades variando entre 294 e 372 MJ.mm/ha.h.ano, Votuporanga apresentou uma erosividade superior da ordem de 143,5% e 113,4%, em relação àquelas de Campinas e Selvíria. Em relação às cinco primeiras localidades que apresentaram no referido quadrimestre, erosividades variando de 958 a 431 MJ.mm/ha.h.ano, Votuporanga apresentou uma erosividade inferior da ordem de 44,1 e 97,9%. Portanto, considerando-se que os solos do noroeste do Estado de São Paulo são de elevada erodibilidade, e que sobretudo em relação à localidade estudada, exista uma considerável erosividade no período de maio a agosto, pode-se concluir que neste local apareçam os maiores problemas de erosão no período considerado, quando comparados com as localidades de Selvíria, Piracicaba e Campinas. No entanto, quando comparada com Teodoro Sampaio, Piraju, Botucatu, Pindorama e Mococa esperam-se menores problemas de erosão.



Quadro 4 - Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica (mm) de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Precipitação pluviométrica																							
Ano	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Média
Mês	mm																						
Janeiro	132,7	313,6	254,5	251,0	248,4	344,5	218,2	208,0	329,7	161,8	239,0	206,8	249,3	304,4	342,2	289,7	453,8	259,7	180,4	303,2	154,1	136,1	253,7
Fevereiro	160,3	321,2	43,7	135,1	89,4	99,6	51,9	161,4	249,9	110,7	193,4	133,4	174,0	241,4	350,3	97,3	291,3	146,6	238,9	184,1	499,9	100,0	185,2
Março	204,8	200,4	111,8	171,2	69,1	35,4	176,7	308,2	338,3	208,1	163,3	213,3	120,1	148,2	137,2	125,9	239,0	128,3	175,0	242,8	80,9	247,8	174,8
Abril	80,0	59,5	110,0	32,1	104,9	69,1	90,4	29,5	126,8	103,5	189,9	58,2	111,7	154,8	87,3	111,7	117,4	77,8	170,3	66,6	162,4	138,8	102,4
Maio	2,8	106,2	28,9	181,8	84,3	20,1	2,6	88,5	110,9	58,8	49,3	81,5	39,9	25,4	24,3	66,7	30,8	96,8	32,7	16,1	16,7	93,5	57,2
Junho	0,0	16,5	36,1	30,5	0,0	60,6	77,9	17,1	54,3	0,0	12,0	0,3	1,6	9,5	68,5	5,9	6,4	0,0	53,2	13,2	21,2	19,5	22,9
Julho	21,3	15,1	0,0	135,0	32,5	0,2	0,0	7,4	56,6	14,9	7,0	33,7	10,4	0,0	29,9	12,1	0,0	10,2	1,1	20,4	11,0	6,9	19,3
Agosto	0,0	93,9	7,6	0,0	58,8	8,3	0,5	30,4	0,0	59,5	0,0	61,8	8,0	0,0	14,9	47,6	0,0	14,3	18,2	0,0	0,0	21,9	20,3
Setembro	1,9	137,4	170,6	36,0	102,1	82,2	3,6	43,1	154,9	32,5	23,4	44,2	83,8	1,3	49,8	37,6	11,0	131,9	123,3	2,7	39,7	113,3	64,8
Outubro	120,6	160,7	74,7	119,4	52,9	77,9	189,6	262,7	140,4	82,2	34,0	64,0	95,9	126,0	70,5	123,2	88,7	66,6	44,5	167,6	135,4	106,4	109,3
Novembro	149,4	171,2	196,3	180,0	174,0	127,8	127,1	212,3	129,4	120,2	176,7	65,7	206,5	68,9	186,7	169,4	67,1	171,8	62,8	197,8	129,6	257,9	152,2
Dezembro	256,6	309,8	388,6	348,2	373,7	203,0	173,3	181,0	272,9	175,7	139,1	271,3	203,2	144,6	389,2	217,2	188,5	155,0	266,4	184,7	263,6	239,9	242,9
Total Anual	1.130,4	1.905,5	1.422,8	1.620,3	1.390,1	1.128,7	1.111,8	1.549,6	1.964,1	1.127,9	1.227,1	1.234,2	1.304,4	1.224,5	1.750,8	1.304,3	1.494,0	1.259,0	1.366,8	1.399,2	1.514,5	1.482,0	1.405



Quadro 5 - Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Mês	Decêndios	Índice de erosividade	
		Decendial	Mensal
		%	
Janeiro	1	4,2	16,9
	2	6,4	
	3	6,3	
Fevereiro	1	6,1	13,9
	2	4,5	
	3	3,3	
Março	1	5,4	16,1
	2	5,1	
	3	5,6	
Abril	1	3,5	7,4
	2	2,6	
	3	1,3	
Maio	1	1,1	2,8
	2	0,7	
	3	1,0	
Junho	1	0,5	0,7
	2	0,1	
	3	0,1	
Julho	1	0,1	0,7
	2	0,1	
	3	0,5	
Agosto	1	0,1	1,6
	2	0,7	
	3	0,8	
Setembro	1	0,7	2,9
	2	0,9	
	3	1,3	
Outubro	1	1,7	8,7
	2	2,0	
	3	5,0	
Novembro	1	2,9	11,5
	2	2,7	
	3	5,9	
Dezembro	1	5,8	16,8
	2	5,4	
	3	5,6	
Total	-	100,0	100,0

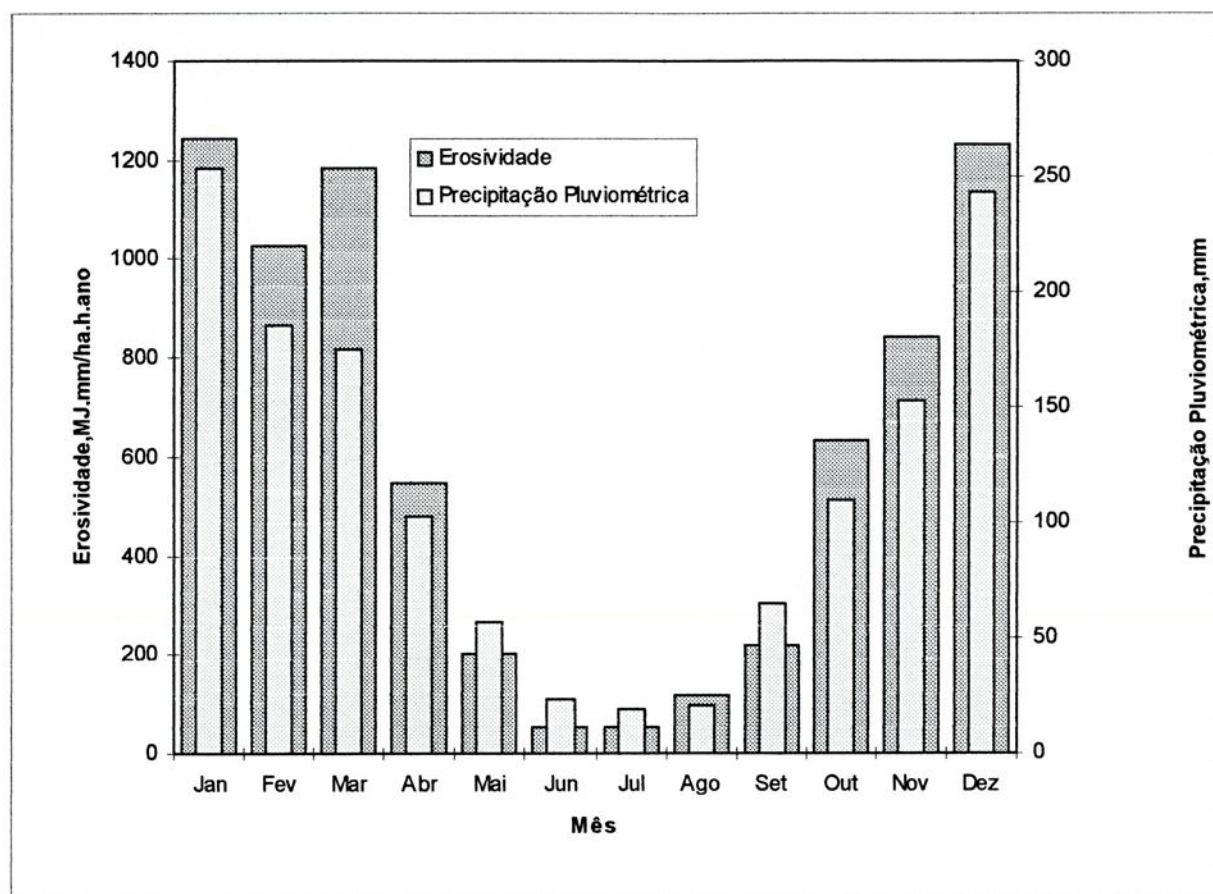


Figura 4. Histograma de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} e da precipitação pluviométrica de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

4. 2. 2. Curva de distribuição do índice de erosividade

A Figura 5 apresenta a distribuição da erosividade relativa da chuva de Votuporanga (SP). Evidencia-se que realmente, no semestre de outubro a março, ocorreu a maior parte da referida erosividade, uma vez que o seu terço médio se apresenta com maior inclinação.

A curva de distribuição da erosividade da chuva, apresentada na Figura 5, assim como os dados que a originaram (Quadro 5), fornecem informações de extrema validade para a determinação do fator uso e manejo da cultura (fator C), da equação universal de perda de solo para Votuporanga (Wischmeier & Smith, 1965, 1978; Lombardi Neto, 1977; Carvalho, 1987). Isto porque, para a determinação do referido fator, deve-se obter um termo que seja originado dos somatórios dos produtos entre os seguintes fatores, período por período de desenvolvimento da cultura: 1) razão de perda do solo, considerada no período de desenvolvimento da cultura, e 2) índice de erosividade da chuva desse período (Wischmeier & Smith, 1965, 1978). A distribuição da erosividade da chuva de Votuporanga, quando comparada com as distribuições de Selvíria (Carvalho et al., 1997), Mococa (Carvalho, 1987), Piracicaba (Pereira, 1983) e Campinas (Lombardi Neto, 1977) manifestou-se de forma mais regular, resultando no fato de que a curva de distribuição do índice de erosividade do local estudado (Figura 5) comportou-se de forma menos inclinada ao longo do ano, do que todas as referidas localidades. Entretanto, quando comparada com a distribuição de Teodoro Sampaio (Colodro, 1999), Piraju (Roque, 1999), Botucatu (Carvalho et al., 1996) e Pindorama (Sosa, 1987), manifestou-se de forma mais inclinada. Essas observações também puderam ser constatadas através da distribuição relativa da erosividade da chuva (Quadro 5) durante o período entre outubro a março. Como já discutido previamente, nesse período ocorreu em

Votuporanga a quantia de 83,9% do fator R, enquanto que para Teodoro Sampaio, Piraju, Botucatu, Pindorama, Selvíria, Mococa, Piracicaba e Campinas foram observadas as respectivas quantias de 74,0%, 78,5%, 80,4%, 83,3%, 84,2%, 85,4%, 86,1% e 90,7%. Portanto, num período em que em termos de proteção, o solo se encontra extremamente vulnerável à erosão, pode-se concluir que em Votuporanga poderá ocorrer a menor perda de solo entre as seguintes localidades analisadas: Selvíria, Mococa, Piracicaba e Campinas. Contudo, em relação a Teodoro Sampaio, Piraju, Botucatu e Pindorama, a referida perda será maior.



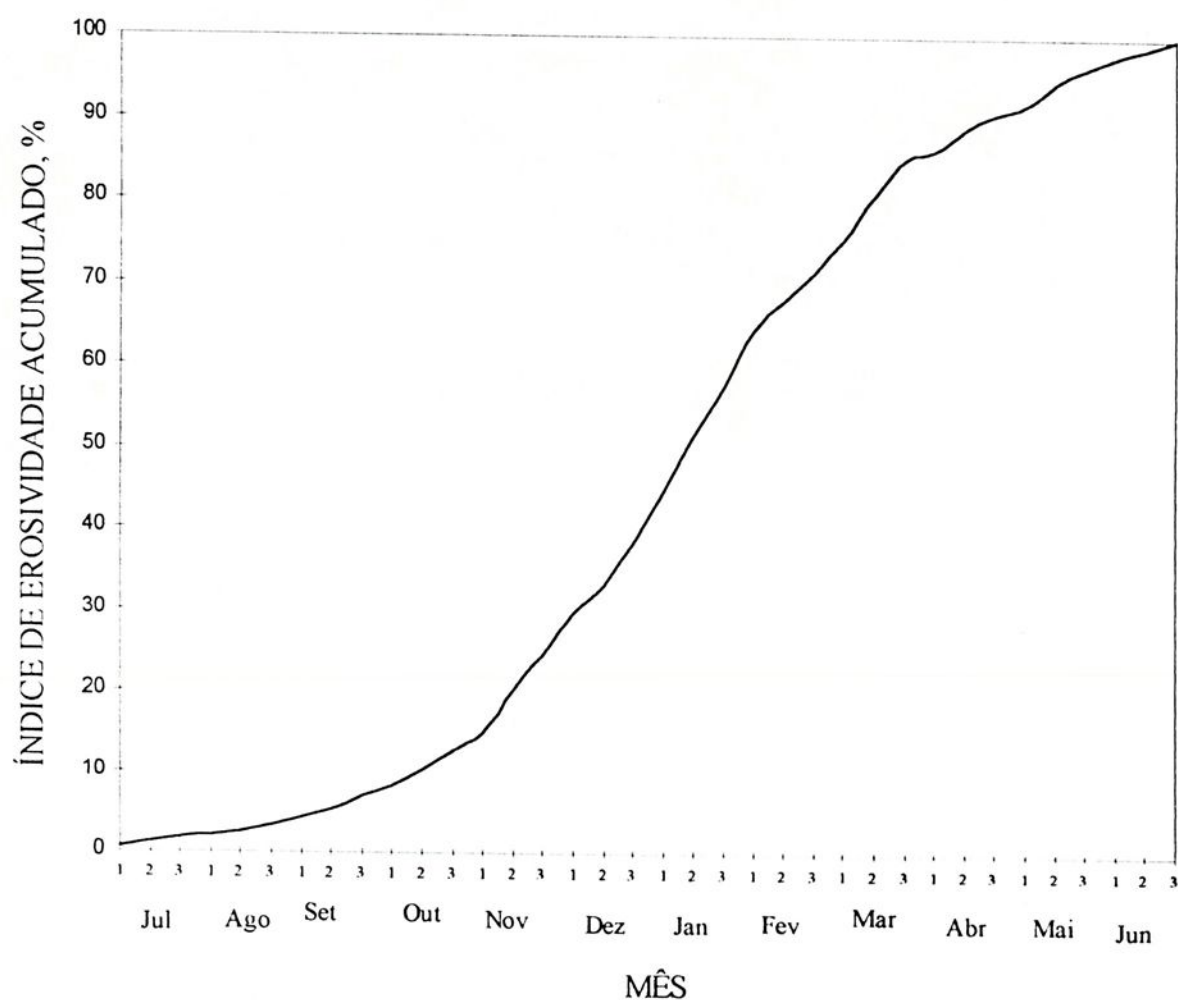


Figura 5. Distribuição decencial do índice de erosividade de Votuporanga (SP), analisado durante o período de 1975 a 1996.

4. 2. 3. Frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

O Quadro 6 apresenta a frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano, durante o período de 1975 a 1996. Conforme se observa, o mês de março foi o de maior frequência de ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano, sendo de 6 vezes por mês. O mês de dezembro apresentou uma frequência de 5 vezes por mês. O mês de janeiro apresentou uma frequência de 4 vezes. Os meses de fevereiro e outubro apresentaram uma frequência de 2 vezes por mês, sendo os meses de abril, agosto e novembro os de menor frequência, com apenas 1 vez para cada um.

Quadro 6 - Frequência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico.

Análise de 22 anos de registro de dados durante o período de 1975 a 1996 do município de Votuporanga (SP).

Mês	Frequência mensal
Janeiro	4
Fevereiro	2
Março	6
Abril	1
Maio	-
Junho	-
Julho	-
Agosto	1
Setembro	-
Outubro	2
Novembro	1
Dezembro	5
Total	22

A análise do Quadro 6 reforçou a conclusão de que no período de outubro - março a erosividade da chuva é extremamente crítica para Votuporanga. Isto porque, além da referida época ser aquela em que a probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, também é aquela de maior frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano. Pôde-se observar que ocorreram 20 chuvas individuais mais erosivas do ano, representando assim 91% do total. Comportamentos semelhantes foram observados para Mococa, Piraju e Campinas, constatando-se respectivos índices de 89,5; 91,0 e 95,5% de chuvas neste período, conforme relatado respectivamente por Carvalho (1987), Roque (1999) e Lombardi Neto (1977). Por outro lado, o presente trabalho concordou parcialmente com os dados de Pindorama e Teodoro Sampaio, onde houve todas essas chuvas neste período, conforme estudado respectivamente por Sosa (1987) e Colodro (1999).

O mês de março apresentou a maior frequência mensal da chuva individual mais erosiva do ano para Votuporanga, sendo observadas 6 delas neste mês. Assim, este fato ficou de acordo com os dados coletados por Colodro (1999) para Teodoro Sampaio, onde o mês de março, também apresentou-se como de maior frequência (6 vezes). Já para Mococa, (Carvalho, 1987) e Pindorama (Sosa, 1987), observaram que o mês de maior frequência foi o de dezembro, com 6 vezes, enquanto que Campinas (Lombardi Neto, 1977) e Piraju (Roque, 1999), observaram que o mês de janeiro foi o de maior frequência, com 7 e 8 eventos respectivamente.

4. 3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade



4.3.1 Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade

No Quadro 7 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para o maior índice de erosividade anual observado (14776 MJ.mm/ha.h.ano) foram respectivamente 23,0 anos e 4,34%. Da mesma forma, os valores para o menor índice anual de erosividade observado (3275 MJ.mm/ha.h.ano) foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição de probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 6, a qual foi ajustada através da equação (24) de acordo com indicação de Schwab et al. (1981). Os valores dos índices anuais de erosividade, para qualquer outro período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 6, ou calculados através da aplicação da equação (24). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno do fator erosividade da chuva (R) de Votuporanga foi 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Os valores dos índices de erosividade anual, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 6893, 9327, 10939, 12485, 14486 e 15985 MJ.mm/ha.h.ano.

A curva de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade de Votuporanga (Figura 6) seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959), corroborado por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Lima (1995), Carvalho et al. (1996, 1997), Colodro



(1999) e Roque (1999). Os valores dos índices anuais de erosividade de Votuporanga, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, no geral variaram entre aqueles de outras localidades do Estado de São Paulo, para as quais houve também o mesmo estudo. Em relação a tais localidades, foi observado o seguinte: a) para o período de retorno de 2 anos os valores foram de 5668, 6368, 6563, 6696, 6831, 6893, 7247 e 7355 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Pindorama (Sosa, 1987), Campinas (Lombardi Neto, 1977), Selvíria (Carvalho et al., 1997), Piraju (Roque, 1999), Teodoro Sampaio (Colodro, 1999), Votuporanga, Botucatu (Carvalho et al., 1996) e Mococa (Carvalho, 1987); b) para o período de retorno de 5 anos, os valores foram de 7451, 8238, 8438, 8511, 8666, 8730, 9145 e 9327 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Pindorama, Campinas, Botucatu, Teodoro Sampaio, Piraju, Mococa e Votuporanga; c) para o período de retorno de 10 anos, os valores foram de 8039, 9226, 9930, 9877, 9941, 10076, 10331 e 10939 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Campinas, Teodoro Sampaio, Pindorama, Piraju, Mococa e Votuporanga; d) para o período de retorno de 20 anos, os valores foram de 8603, 9982, 11046, 11290, 11367, 11468, 11573 e 12485 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Campinas, Piraju, Mococa, Pindorama e Votuporanga; e) para o período de retorno de 50 anos, os valores foram de 9334, 10961, 12546, 12940, 13039, 13052, 13687 e 14486 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Mococa, Piraju, Campinas, Pindorama e Votuporanga, e f) para o período de retorno de 100 anos, os valores foram de 9881, 11695, 13675, 14043, 14292, 14372, 15270 e 15985 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Mococa, Piraju, Campinas, Pindorama e Votuporanga.

De acordo com o Quadro 7, o maior valor do índice anual de erosividade observado para Votuporanga (14776 MJ.mm/ha.h.ano) apresentou um período de retorno de

23,0 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,34%. Da mesma forma, para o menor índice anual de erosividade, que apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de 96,15%, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,15% , um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 3275 MJ.mm/ha.h.ano pelo menos uma vez a cada 1,04 anos.

O fator R de Votuporanga (Quadros 2 e 7) apresentou um período de retorno de 2,33 anos. Esse valor foi muito próximo daqueles obtidos para Campinas (2,1 anos), Piracicaba (2,1 anos), Pindorama (2,1 anos), Mococa (2,4 anos), Bauru (2,3 anos), Botucatu (2,3 anos), Selvíria (2,3 anos), Teodoro Sampaio (2,3 anos) e Piraju (2,3 anos), respectivamente, determinados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho (1987), Lima (1995), Carvalho et al. (1996, 1997), Colodro (1999) e Roque (1999). Portanto, pode-se concluir que é possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de 42,92%, um valor anual do índice de erosividade igual ou superior ao fator R estimado (7345 MJ.mm/ha.h.ano), pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.



Quadro 7 – Índices Anuais de erosividade EI_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Ano	Índice de erosividade EI_{30}	Número de ordem (m)	Período de retorno (T)	Probabilidade (Pr) de ocorrência
	MJ.mm/ha.h.ano		Anos	%
1983	14776	1	23,00	4,34
1976	12596	2	11,5	8,69
1994	11748	3	7,66	13,05
1991	10249	4	5,75	17,39
1989	8550	5	4,60	21,73
1996	7701	6	3,83	26,10
1993	7433	7	3,28	30,48
1978	7288	8	2,87	34,84
1982	7222	9	2,55	39,21
1985	6678	10	2,30	43,47
1990	6667	11	2,09	47,84
1988	6635	12	1,91	52,35
1992	6364	13	1,76	56,81
1977	6175	14	1,64	60,97
1995	6087	15	1,53	65,36
1984	5967	16	1,43	69,93
1975	5793	17	1,35	74,07
1986	5613	18	1,27	78,74
1987	5304	19	1,21	82,64
1981	4908	20	1,15	86,95
1979	4562	21	1,09	91,74
1980	3275	22	1,04	96,15
Média	7345	-	-	-
$Cv^{(3)}$	0,3749	-	-	-
$DP^{(4)}$	2754	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23) ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto); ⁽⁴⁾ DP =

Desvio Padrão.

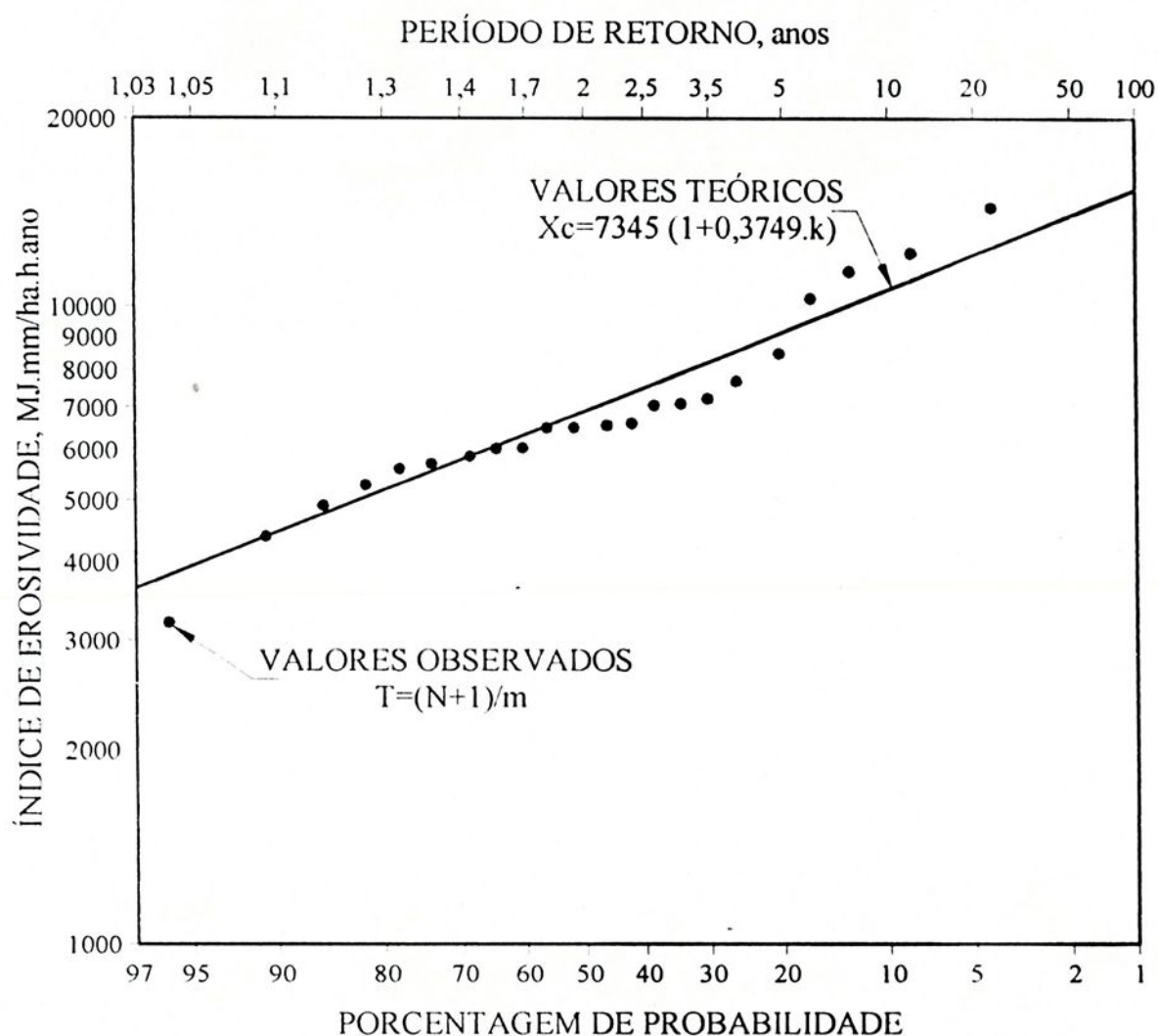


Figura 6 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

4. 3. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

No Quadro 8 e na Figura 7 estão, respectivamente, a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e a distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais de Votuporanga (SP), no período de 1975 a 1996. Dessa forma, em relação ao referido valor médio (1243 MJ.mm/ha.h.ano), foi observado um período de retorno de 2,33 anos, sendo equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Por outro lado, os valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 1108, 1837, 2320, 2783, 3383 e 3832 MJ.mm/ha.h. Tais valores foram determinados através da equação (24).

A curva de distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais de Votuporanga (Figura 7) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959), confirmado por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Carvalho et al. (1996, 1997), Colodro (1999) e Roque (1999). Os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais de Votuporanga, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram entre outras localidades paulistas, maiores do que os de Mococa, Pindorama e Campinas. No entanto, tais valores variaram com aqueles de Teodoro Sampaio e Piraju. Em relação a tais localidades, foi observado o seguinte: a) para o período de retorno de 2 anos, os valores foram de 862, 912, 1033, 1108, 1194 e 1223 MJ.mm/ha.h., respectivamente, para Mococa (Carvalho, 1987); Pindorama (Sosa, 1987), Campinas

(Lombardi Neto, 1977), Votuporanga, Piraju (Roque, 1999), e Teodoro Sampaio (Colodro, 1999); b) para o período de retorno de 5 anos, os valores foram de 1210, 1462, 1476, 1825, 1837 e 1853 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Pindorama, Campinas, Piraju, Votuporanga e Teodoro Sampaio; c) para o período de retorno de 10 anos, os valores foram de 1441, 1769, 1826, 2243, 2274 e 2320 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju, Teodoro Sampaio e Votuporanga; d) para o período de retorno de 20 anos, os valores foram de 1663, 2051, 2175, 2644, 2675 e 2783 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju, Teodoro Sampaio e Votuporanga; e) para o período de retorno de 50 anos, os valores foram de 1949, 2415, 2627, 3163, 3195 e 3383 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju, Teodoro Sampaio e Votuporanga, e f) para o período de retorno de 100 anos, os valores foram de 2164, 2688, 2966, 3551, 3585 e 3832 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju, Teodoro Sampaio e Votuporanga. Portanto, pode-se concluir que entre todas as localidades comparadas, são esperados os maiores problemas de perda de solo por erosão em Votuporanga, Teodoro Sampaio e Piraju, em todos os períodos de retorno considerados, uma vez que os índices de erosividade estimados foram os maiores.

De acordo com o Quadro 8, o maior dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais observado para Votuporanga (4308 MJ.mm/ha.h) apresentou um período de retorno de 23,00 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,34%. O menor dos valores máximos anuais do índice de erosividade (650 MJ.mm/ha.h.ano) para chuvas individuais, apresentou um período de retorno de 1,04 anos, e uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Já para o valor médio dos valores máximos anuais de erosividade para chuvas individuais (1243 MJ.mm/ha.h.ano), o período de retorno observado foi de 2,33 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 42,92%.



Quadro 8 – Índices Máximos Anuais de erosividade EI_{30} , Período de Retorno e Probabilidade de Ocorrência do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Data	Índice de erosividade EI_{30}	Número de ordem (m)	Período de retorno ⁽¹⁾ (T)	Probabilidade ⁽²⁾ de ocorrência (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
28/10/94	4308	1	23,00	4,34
07/01/83	2504	2	11,50	8,69
16/03/96	1872	3	7,66	13,05
21/03/76	1592	4	5,75	17,39
30/03/84	1523	5	4,60	21,73
01/02/91	1429	6	3,83	26,10
16/02/88	1365	7	3,28	30,48
15/01/92	1086	8	2,87	34,84
18/03/86	1085	9	2,55	39,21
31/12/87	1030	10	2,30	43,47
15/12/85	970	11	2,09	47,84
01/12/75	952	12	1,91	52,35
08/04/93	938	13	1,76	56,81
18/12/89	936	14	1,64	60,97
31/08/77	908	15	1,53	65,36
30/10/78	776	16	1,43	69,93
06/11/90	704	17	1,35	74,07
09/12/81	697	18	1,27	78,74
11/01/79	695	19	1,21	82,64
17/01/80	674	20	1,15	86,95
31/03/95	662	21	1,09	91,74
02/01/82	650	22	1,04	96,15
Média	1243	-	-	-
$Cv^{(3)}$	0,6639	-	-	-
$DP^{(4)}$	825	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23); ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e ⁽⁴⁾ DP

= Desvio Padrão



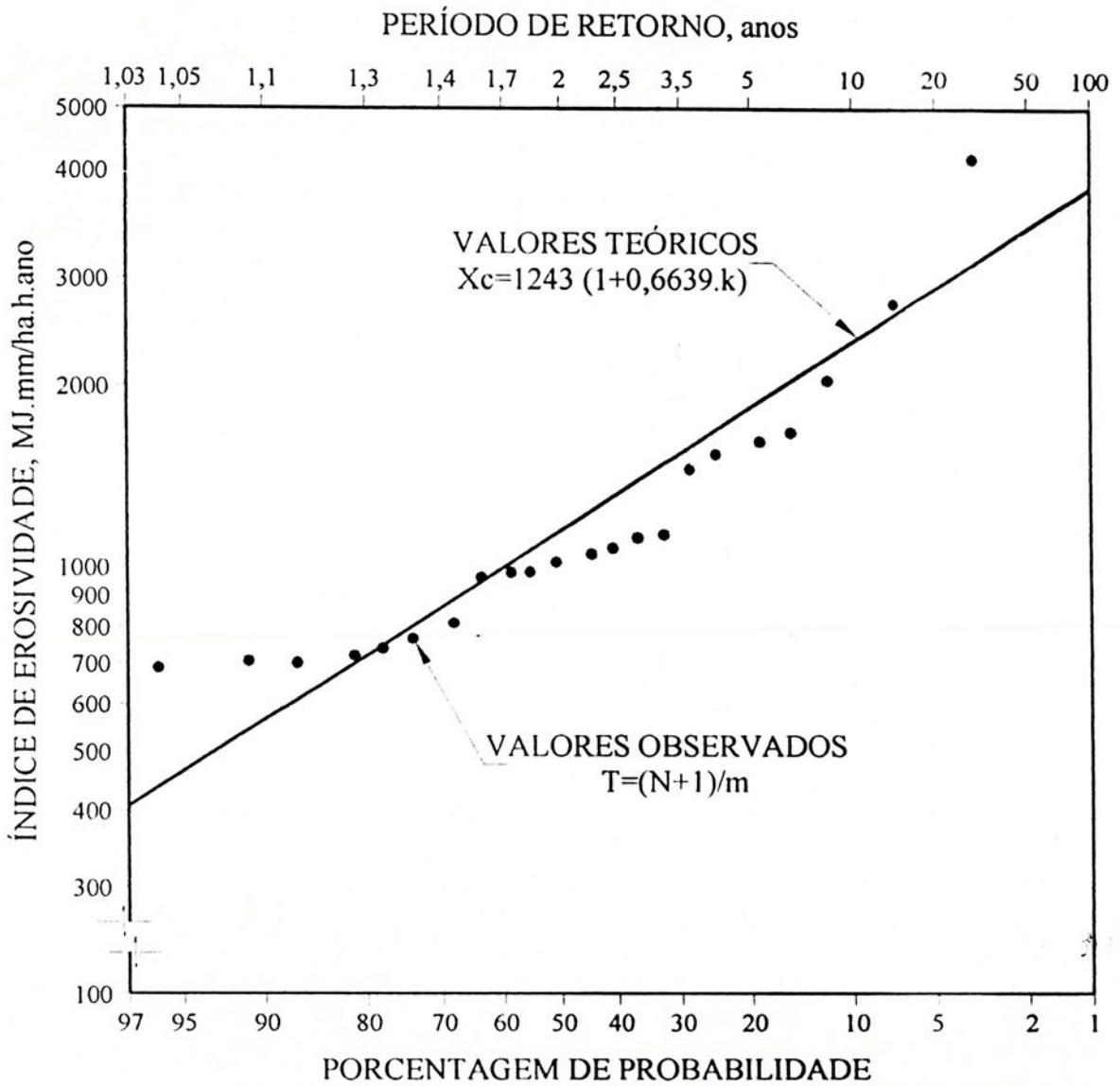


Figura 7 –Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

4.3.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do ano

Os Quadros de 9 a 11 apresentam os valores da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos dos índices de erosividade para chuvas individuais, respectivamente dos meses de janeiro, março e dezembro, analisados para Votuporanga durante o período de 1975 a 1996. As figuras de 8 a 10 contém a curva de distribuição da probabilidade de ocorrência dos valores máximos dos índices de erosividade para chuvas individuais, respectivamente para os meses de janeiro, março e dezembro. O Quadro 12 contém os máximos índices mensais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva de Votuporanga. Tais valores foram determinados através da equação (24).

A análise do Quadro 12 revelou que o mês de março apresentou os maiores valores dos máximos índices mensais de erosividade para chuvas individuais, em todos os períodos de retorno analisados. Por outro lado, em relação aos menores valores observados, quanto ao período de retorno de 2 anos, o menor valor foi referente ao mês de janeiro, já para os períodos de retorno de 5; 10; 20; 50 e 100 anos, ocorreram no mês de dezembro. Portanto, pode-se concluir que o mês de março, período no qual são esperados os máximos índices de erosividade para chuvas individuais nos meses de maior frequência, esperam-se em Votuporanga chuvas individuais de 551; 1161; 1596; 1952; 2454 e 2829 MJ.mm/ha.h, respectivamente, pelo menos uma vez a cada 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.



Quadro 9 – Índices máximos de erosividade EI_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Data da Chuva	Índice de erosividade EI_{30} MJ.mm/ha.h	Número de ordem (m)	Período de retorno (T) Anos	Probabilidade de ocorrência (Pr) %
20/01/76	1364	1	23,00	4,30
11/01/83	1155	2	11,50	8,69
20/01/91	1120	3	7,66	13,05
15/01/92	1085	4	5,75	17,39
11/01/79	695	5	4,60	21,73
17/01/80	674	6	3,83	26,10
30/01/93	669	7	3,28	30,48
31/01/96	654	8	2,87	34,84
02/01/82	650	9	2,55	39,21
04/01/89	573	10	2,30	43,47
31/01/95	571	11	2,09	47,84
23/01/86	559	12	1,91	52,35
05/01/90	369	13	1,76	56,81
04/01/88	364	14	1,64	60,97
31/01/85	305	15	1,53	65,36
10/01/78	280	16	1,43	69,93
27/01/94	272	17	1,35	74,07
09/01/77	201	18	1,27	78,74
22/01/84	186	19	1,21	82,64
10/01/81	185	20	1,15	86,95
09/01/75	129	21	1,09	91,74
10/01/87	32	22	1,04	96,15
Média	550	-	-	-
$Cv^{(3)}$	0,6670	-	-	-
$DP^{(4)}$	367	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23); ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e ⁽⁴⁾ DP = Desvio Padrão.



Quadro 10 – Índices máximos de erosividade El_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de março do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Data da Chuva	Índice de erosividade El_{30}	Número de ordem (m)	Período de retorno ⁽¹⁾ (T)	Probabilidade de ocorrência ⁽²⁾ (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
07/03/83	2504	1	23,00	4,34
16/03/96	1872	2	11,50	8,69
21/03/76	1592	3	7,66	13,05
30/03/84	1523	4	5,75	17,39
01/03/94	1209	5	4,60	21,73
18/03/86	1085	6	3,83	26,10
22/03/75	944	7	3,28	30,48
31/03/95	662	8	2,87	34,84
30/03/77	587	9	2,55	39,21
11/03/82	453	10	2,30	43,47
20/03/93	420	11	2,09	47,84
17/03/81	359	12	1,91	52,35
04/03/91	313	13	1,76	56,81
09/03/78	269	14	1,64	60,97
18/03/88	231	15	1,53	65,36
20/03/90	163	16	1,43	69,93
01/03/92	160	17	1,35	74,07
15/03/89	129	18	1,27	78,74
17/03/85	79	19	1,21	82,64
13/03/80	45	20	1,15	86,95
11/03/79	43	21	1,09	91,74
03/87	Zero	22	1,04	96,15
Média	666	-	-	-
Cv ⁽³⁾	1,0373	-	-	-
DP ⁽⁴⁾	690	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23); ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e ⁽⁴⁾ DP =

Desvio Padrão.

Quadro 11 – Índices máximo de erosividade El_{30} , período de retorno e probabilidade de ocorrência, para chuvas individuais do mês de dezembro de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Data da Chuva	Índice de erosividade El_{30}	Número de ordem (m)	Período de retorno ⁽¹⁾ (T)	Probabilidade de ocorrência ⁽²⁾ (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
31/12/87	1029	1	23,00	4,34
16/12/96	985	2	11,50	8,69
15/12/85	970	3	7,66	13,05
01/12/75	951	4	5,75	17,39
18/12/89	936	5	4,60	21,73
14/12/76	810	6	3,83	26,10
26/12/92	761	7	3,28	30,48
01/12/91	746	8	2,87	34,84
09/12/81	697	9	2,55	39,21
26/12/78	579	10	2,30	43,47
07/12/94	523	11	2,09	47,84
29/12/82	477	12	1,91	52,35
17/12/83	455	13	1,76	56,81
14/12/90	410	14	1,64	60,97
01/12/77	395	15	1,53	65,36
13/12/86	325	16	1,43	69,93
23/12/88	305	17	1,35	74,07
27/12/80	213	18	1,27	78,74
12/12/79	188	19	1,21	82,64
20/12/93	186	20	1,15	86,95
21/12/95	149	21	1,09	91,74
31/12/84	143	22	1,04	96,15
Média	556	-	-	-
$Cv^{(3)}$	0,5480	-	-	-
$DP^{(4)}$	305	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23); ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e ⁽⁴⁾ DP = Desvio Padrão.

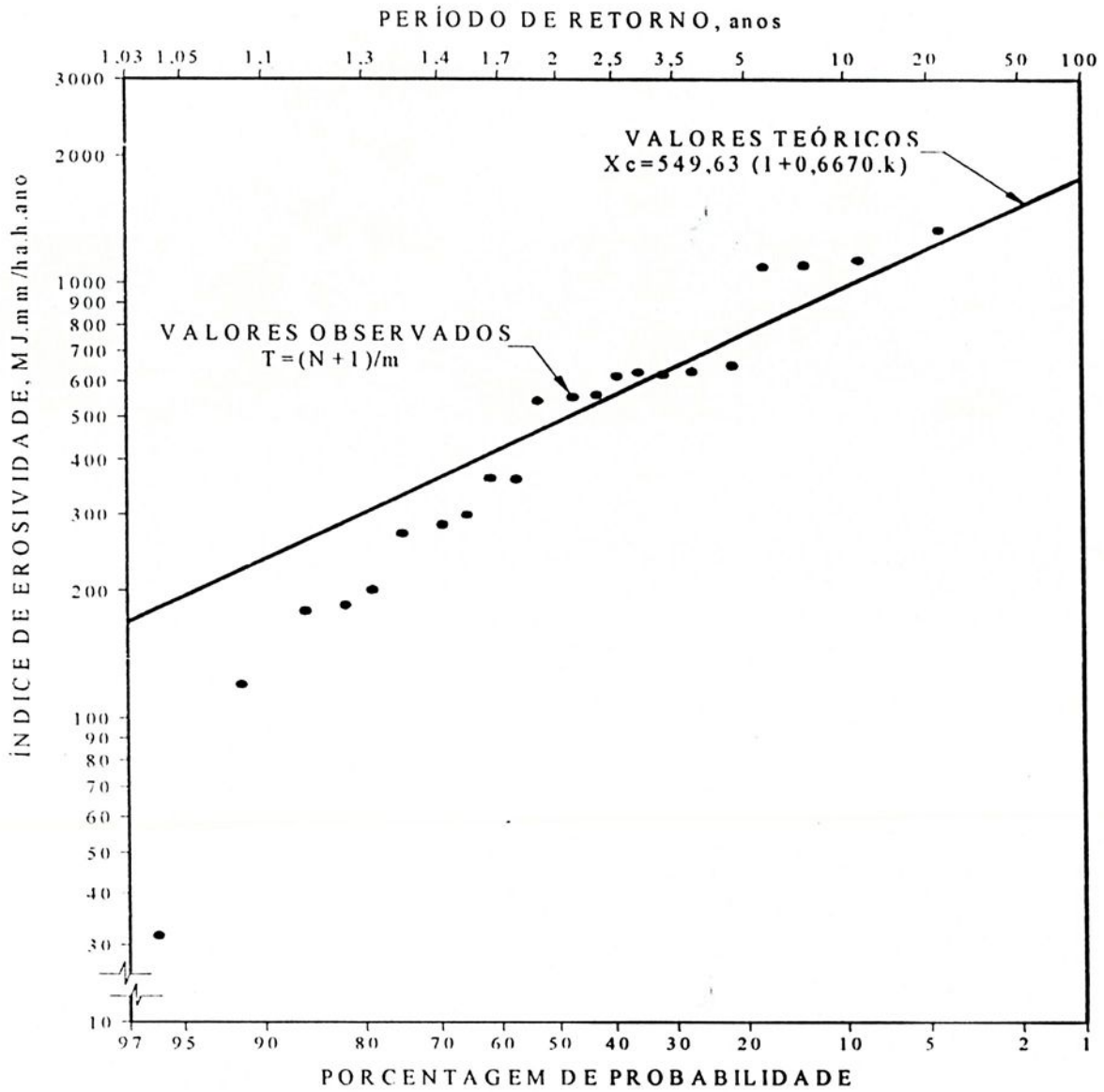


Figura 8 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996

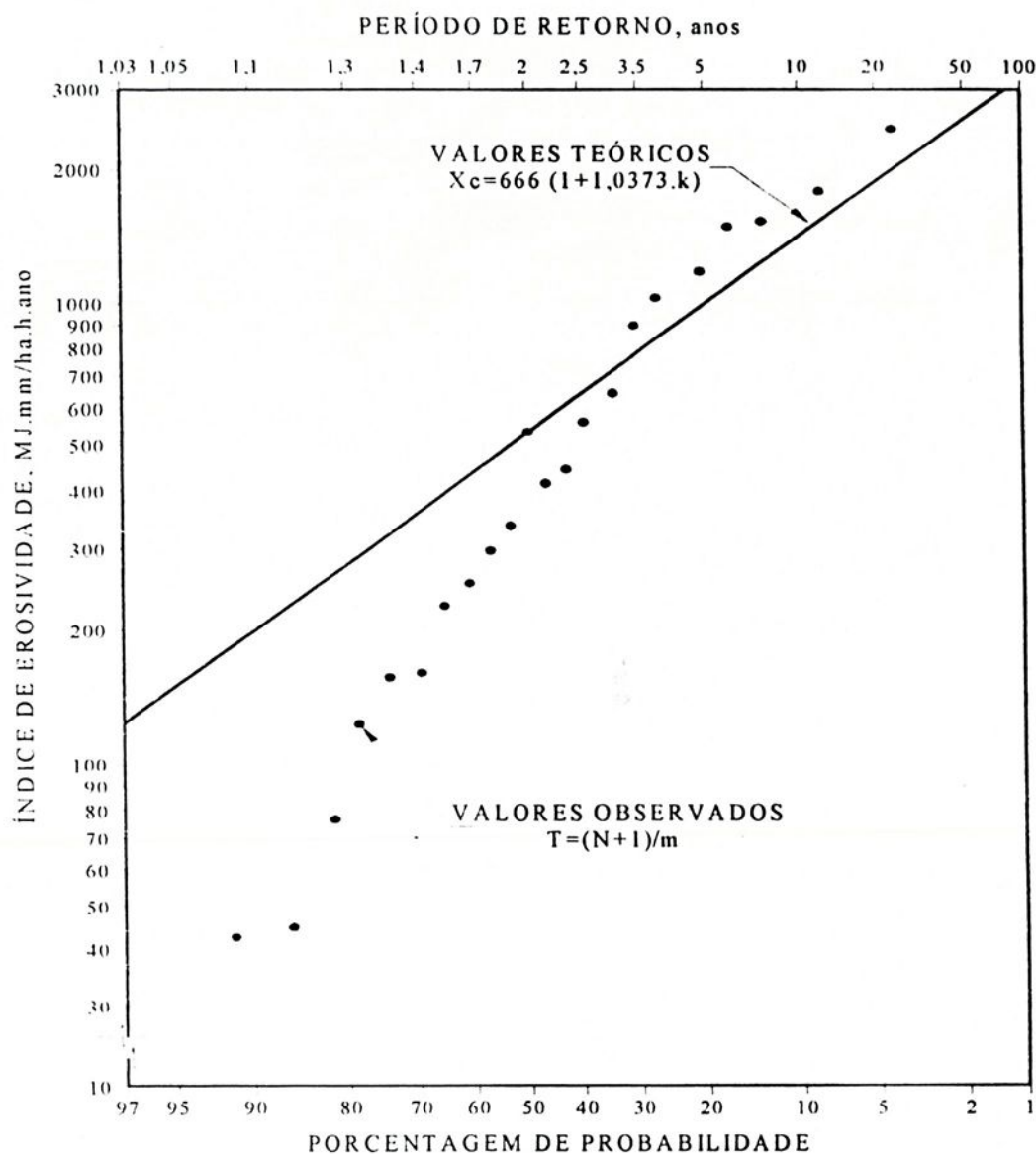


Figura 9 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de março do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

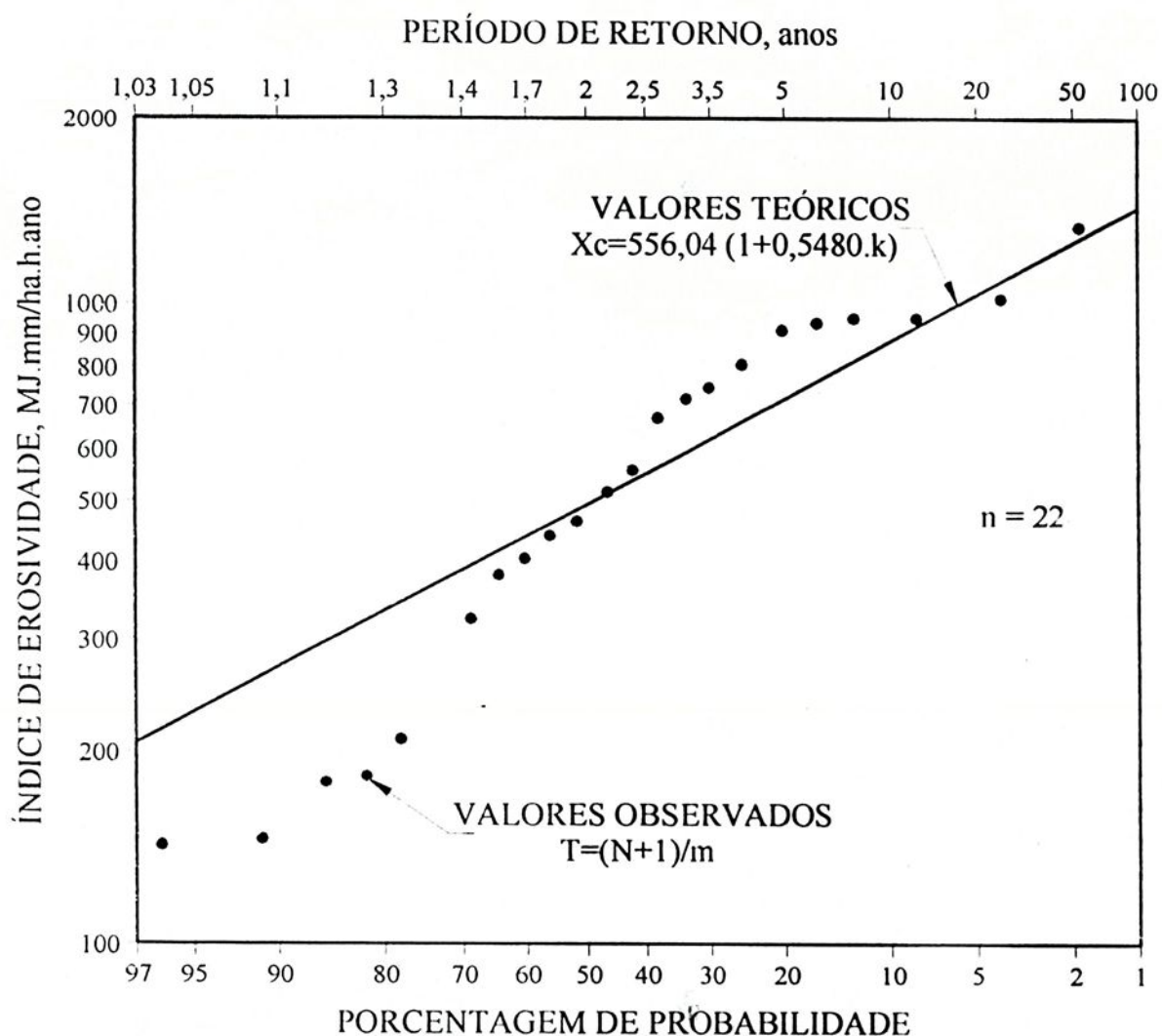


Figura 10 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de dezembro do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Quadro 12 - Valores dos máximos índices mensais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva do município de Votuporanga (SP), avaliados de 1975 a 1996.

Período de retorno (T) Anos	Máximos índices de erosividade ⁽¹⁾ esperados para os meses de maior frequência da chuva individual mais erosiva		
	Janeiro	Março	Dezembro
	MJ.mm/ha.h.....		
2	490	551	506
5	814	1161	775
10	1029	1596	954
20	1235	1952	1125
50	1501	2454	1346
100	1701	2829	1512

(1) Calculados através da equação (24)

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

A correlação entre os valores do índice de erosividade e a precipitação pluviométrica, representada através do coeficiente de chuva, permite simplificar o método de



obtenção da erosividade da chuva, uma vez que dispensa os dados de registros pluviográficos. Para uma localidade que apresente a sua distribuição de chuva semelhante ao local onde se determinou essa correlação, pode-se estimar o seu fator R, desde que se disponha de dados pluviométricos locais.

O Quadro 13 apresenta os valores médios mensais e a média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e o índice de erosividade calculado para o período de 1975 a 1996 de Votuporanga (SP). A Figura 11 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Votuporanga, durante os anos de 1975 a 1996, dada pela seguinte função quadrática:

$$ci_{30} = -0,8804Rc^2 + 65,429Rc + 62,979 \dots \dots \dots r = 0,9915 \dots (p < 0,01) \dots \dots \dots (27)$$

Para Votuporanga foi observado existir uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o quadrático ($R^2 = 0,9832$), de acordo com a equação (27), contrastando com os dados de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Mococa, Barranquinho Flechas e Piraju, respectivamente observados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho et al. (1991), Moraes et al. (1991) e Roque (1999), que obtiveram o modelo potencial com melhor correlação. Da mesma forma, contrastando com os dados de Lages (SC), Campos Novos (SC) e Teodoro Sampaio (SP), respectivamente observados por Bertol (1993, 1994) e Colodro (1999), cujo modelo de maior correlação foi o do tipo linear. Portanto, concluiu-se que para um local desprovido de dados pluviográficos, mas que apresente distribuição pluviométrica média mensal semelhante à de Votuporanga, pode-se

estimar o seu fator R com elevada segurança através da referida equação (27) do presente estudo.

Aplicando-se as equações (6), (7), (8), (9), (10), (11), (14) e (15), respectivamente obtidas para as localidades de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Mococa, Barranquinho, Flechas, Teodoro Sampaio e Piraju aos dados de coeficiente de chuva de Votuporanga (Quadro 13), observaram-se estimativas para o fator R local de 7200, 6267, 6097, 8125, 8253, 8406, 9389 e 7719 MJ.mm/ha.h.ano. Uma vez que o fator R de Votuporanga e o seu erro padrão da média foram respectivamente de 7345 e 587 MJ.mm/ha.h.ano, concluiu-se que das referidas equações somente aquelas de Piraju e Campinas podem ser utilizadas para estimativa do fator R local. Isto porque, as diferenças entre os fatores R de Votuporanga, estimados através das referidas equações, e o fator R estimado pelo presente estudo, evidenciaram valores menores do que o erro padrão da média de Votuporanga. Por outro lado, aplicando-se a equação (27), obtida pelo presente estudo, aos dados de coeficiente de chuva de Mococa, Pindorama, Teodoro Sampaio e Piraju foram estimados, respectivamente para cada localidade, os fatores R de 7046, 7278, 7076 e 7852 MJ.mm/ha.h.ano. Uma vez que o fator R calculado e o respectivo erro padrão da média foram de 7747 e 474 MJ.mm/ha.h.ano, 6143 e 727 MJ.mm/ha.h.ano, 7172 e 476 MJ.mm/ha.h.ano, 7074 e 480 MJ.mm/ha.h.ano respectivamente para Mococa, Pindorama, Teodoro Sampaio e Piraju pode-se concluir que a equação do coeficiente de chuva de Votuporanga não pode ser utilizada para a estimativa dos fatores R de três localidades, com exceção apenas para o município de Teodoro Sampaio.



Quadro 13 - Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade EI_{30} calculados, obtidos durante os anos de 1975 a 1996 do município de Votuporanga (SP).

Mês	Precipitação média mensal	Coeficiente de chuva ⁽¹⁾ (Rc)	EI_{30} médio mensal calculado
	mm		MJ.mm/ha.h.ano
Janeiro	253,7	45,80	1244
Fevereiro	185,2	24,41	1025
Março	174,8	21,74	1182
Abril	102,4	7,46	548
Maio	57,2	2,33	202
Junho	22,9	0,37	54
Julho	19,3	0,26	51
Agosto	20,3	0,29	115
Setembro	64,8	2,99	217
Outubro	109,3	8,50	633
Novembro	152,2	16,48	841
Dezembro	243,0	42,02	1233
Total ou média anual	1405,1	-	7345

⁽¹⁾ $Rc = P_m^2 / P_a$ eq. (5)

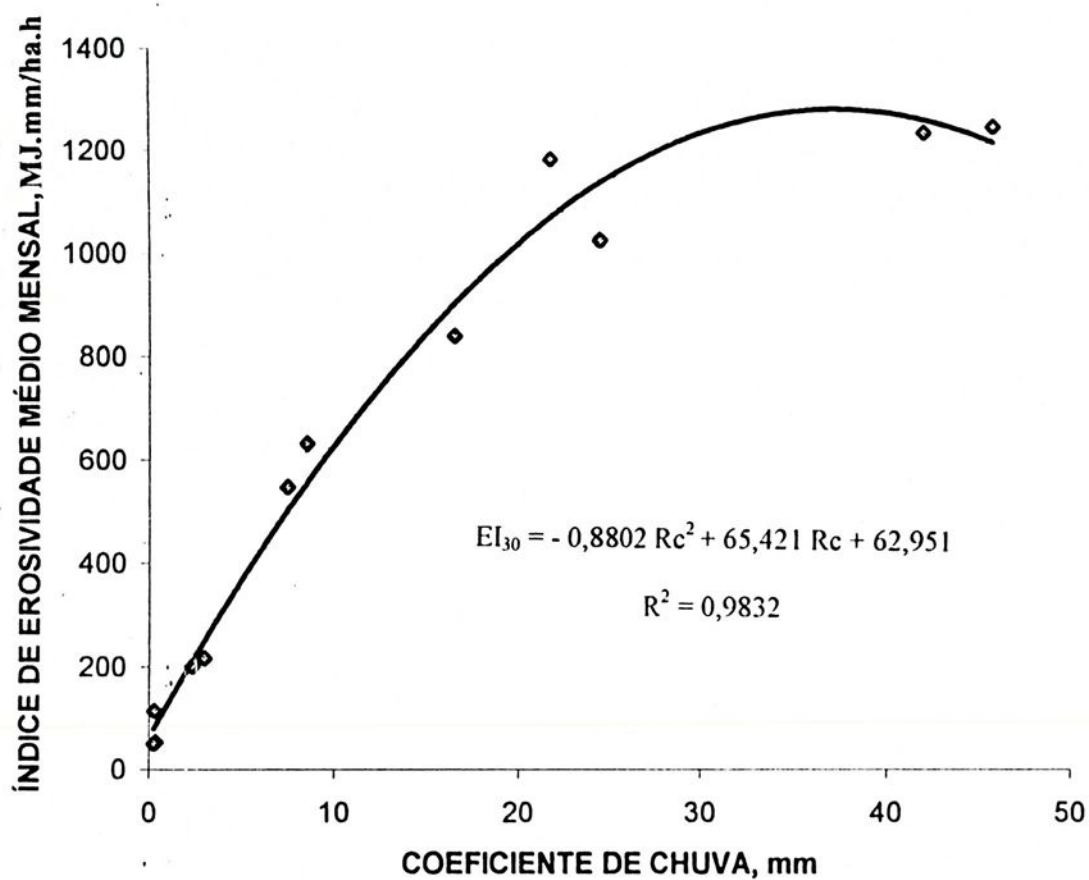


Figura 11-Curva de Regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

4. 5. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

4. 5. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias

No Quadro 14 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno das chuvas máximas diárias de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para a maior chuva máxima diária observada (103,8 mm), foram respectivamente 23,0 anos e 4,34%. Da mesma forma, os valores para a menor chuva máxima diária observada (47,9 mm), foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição de probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 12, a qual foi ajustada através da equação (24) de acordo com indicação de Schwab et al. (1981). Os valores das chuvas máximas diárias, para qualquer outro período de retorno desejado, ou vice-versa podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 12, ou calculadas através da aplicação da equação (24). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno para o valor médio da chuva máxima diária (72,4 mm) de Votuporanga foi de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Também, os valores das chuvas máximas diárias, esperados no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 69,6; 84,3; 94,0; 103,3; 115,4 e 124,4 mm.



Quadro 14 - Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Ano	Chuvas Máximas diárias	Número de ordem (m)	Período de retorno (T) ⁽¹⁾	Probabilidade de ocorrência (Pr) ⁽²⁾
	(mm)		Anos	%
1994	103,8	1	23,00	4,34
1983	103,7	2	11,50	8,69
1977	94,9	3	7,66	13,05
1984	92,0	4	5,75	17,39
1978	88,4	5	4,60	21,73
1989	83,2	6	3,93	26,10
1996	80,5	7	3,28	30,48
1991	77,6	8	2,87	34,84
1987	74,7	9	2,55	39,21
1989	74,4	10	2,30	43,47
1993	69,3	11	2,09	47,84
1975	69,2	12	1,91	52,35
1976	65,3	13	1,76	56,81
1986	65,1	14	1,64	60,97
1985	63,6	15	1,53	65,36
1979	62,8	16	1,43	69,93
1995	60,8	17	1,35	74,07
1980	55,8	18	1,27	78,74
1981	55,4	19	1,21	82,64
1992	54,6	20	1,15	86,95
1982	49,2	21	1,09	91,74
1990	47,9	22	1,04	96,15
Média	72,4	-	-	-
Cv ⁽³⁾	0,2292	-	-	-
DP ⁽⁴⁾	16,7	-	-	-

⁽¹⁾ $T = (N+1)/m$eq. (22); ⁽²⁾ $Pr = 100/T$eq. (23); ⁽³⁾ CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e ⁽⁴⁾ DP

= Desvio Padrão.

A curva de distribuição da probabilidade de ocorrência das chuvas máximas diárias de Votuporanga (Figura 12) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959).

De acordo com o Quadro 14, o maior valor das chuvas máximas diárias observado para Votuporanga (103,8 mm) apresentou um período de retorno de 23,00 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,34%. O menor valor das chuvas máximas diárias (47,9 mm) apresentou um período de retorno de 1,04 anos, e uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Já para o valor médio das chuvas máximas diárias (72,4 mm), o período de retorno observado foi de 2,33 anos, e uma probabilidade de ocorrência de 42,92%.

Em Piraju, o maior valor das chuvas máximas diárias observado (201,1 mm), apresentou um período de retorno de 24,0 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,17%. O menor valor das chuvas máximas diárias (56,0 mm), apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Também, os valores das chuvas máximas diárias esperadas no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 87,5, 120,3, 142,1, 163,0, 190,0 e 210,2 mm (Roque, 1999).



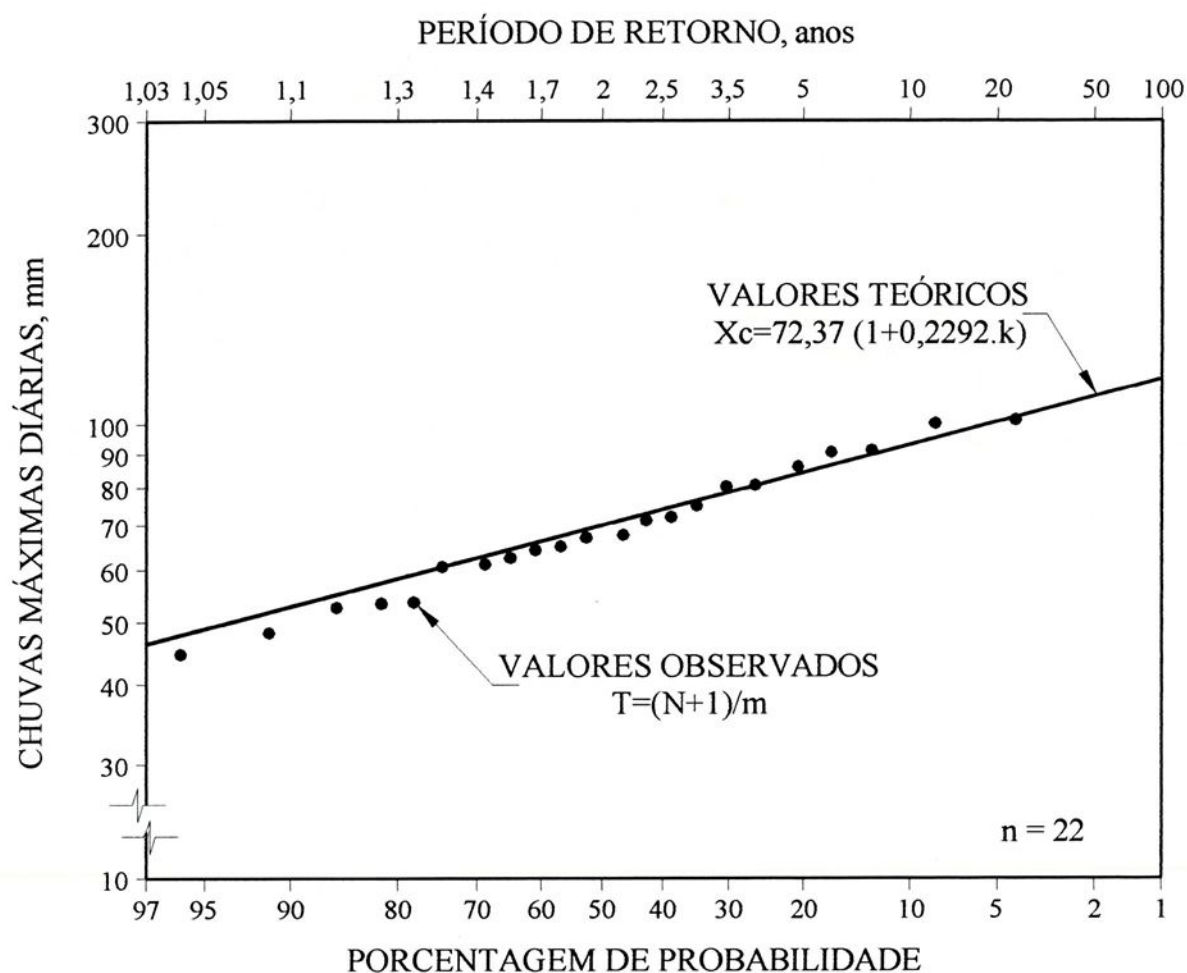


Figura 12 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

4. 5. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

No Quadro 15 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno das máximas intensidades de chuva em 15 minutos de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para a maior intensidade de chuva em 15 minutos observada (218,8 mm/h), foram respectivamente 23,0 anos e 4,34%. Da mesma forma, os valores para a menor intensidade de chuva em 15 minutos (71,4 mm/h), foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição da probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 13, a qual foi ajustada através da equação (24) de acordo com indicação de Schwab et al. (1981). Os valores das intensidades de chuva em 15 minutos, para qualquer outro período de retorno desejado ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 13, ou calculados através da aplicação da equação (24). Assim por exemplo, observou-se que o período de retorno para o valor médio da intensidade máxima da chuva em 15 minutos (101,8 mm) de Votuporanga foi 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Também, os valores das intensidades de chuva em 15 minutos, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 96,5; 125,2; 144,1; 162,3; 185,9 e 203,5 mm/h.

A curva de distribuição da probabilidade de ocorrência das intensidades máximas de chuva em 15 minutos de Votuporanga (Figura 13) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959).

De acordo com o Quadro 15, o maior valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos observado para Votuporanga (218,8 mm/h) apresentou um período de retorno

de 23,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,34%. O menor valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos (71,4 mm/h), apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Já para o valor médio das intensidades máximas da chuva em 15 minutos (101,8 mm/h), o período de retorno foi de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%.

Roque (1999), observou em Piraju, que o valor máximo da chuva em 15 minutos (120,4 mm), durante o período de 1975 a 1997, apresentou um período de retorno de 24,0 anos equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,17%. O menor valor das chuvas máximas em 15 minutos (56,0 mm/h), apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 96,15%. Também, os valores das chuvas máximas em 15 minutos esperadas no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 84,3, 100,4, 111,1, 121,4, 134,7 e 144,7 mm/h.



Quadro 15 - Intensidades máximas de chuva em 15 minutos, período de retorno e probabilidade de ocorrência do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

Ano	Intensidade de chuva em 15 minutos (I_{15})	Número de ordem (m)	Período de retorno ⁽¹⁾ (T)	Probabilidade ⁽²⁾ de ocorrência (Pr)
	mm/h		Anos	%
1994	218,8	1	23,00	4,34
1976	157,3	2	11,50	8,69
1992	126,1	3	7,66	13,05
1975	113,6	4	5,75	17,39
1983	110,9	5	4,60	21,73
1979	104,4	6	3,83	26,10
1993	103,9	7	3,28	30,48
1982	102,7	8	2,87	34,84
1996	101,2	9	2,55	39,21
1985	97,5	10	2,30	43,47
1977	92,6	11	2,09	47,84
1987	90,9	12	1,91	52,35
1991	89,3	13	1,76	56,81
1989	88,9	14	1,64	60,97
1990	87,5	15	1,53	65,36
1995	87,0	16	1,43	69,93
1988	82,2	17	1,35	74,07
1986	81,7	18	1,27	78,74
1980	79,7	19	1,21	82,64
1984	78,9	20	1,15	86,95
1978	74,0	21	1,09	91,74
1981	71,4	22	1,04	96,15
Média	101,8	-	-	-
Cv ⁽³⁾	0,3184	-	-	-
DP ⁽⁴⁾	32,4	-	-	-

(1) $T = (N+1)/m$eq. (22); (2) $Pr = 100/T$eq. (23); (3) CV = Coeficiente de Variação (valor absoluto) e (4)

DP = Desvio Padrão.

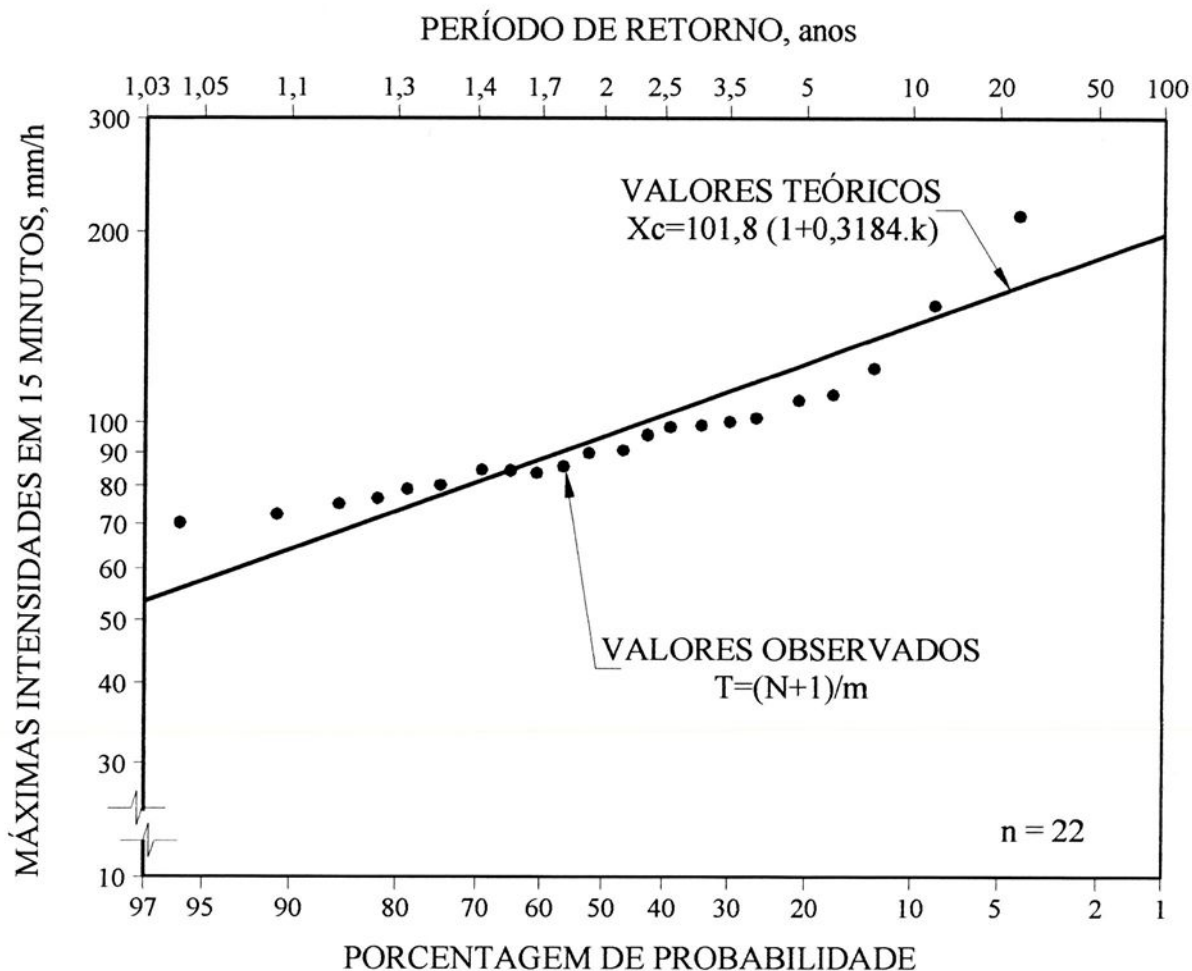


Figura 13 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Votuporanga (SP), durante o período de 1975 a 1996.

5. CONCLUSÕES

Dentro das condições propostas no presente trabalho e em função dos resultados analisados e interpretados, estabelecem-se as seguintes conclusões:

1. O fator erosividade da chuva para o município de Votuporanga (SP), calculado através do índice EI_{30} , foi de 7345 MJ.mm/ha.h.ano. Este fator que possui uma probabilidade de ocorrência de 42,92%, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,33 anos. Portanto nos cálculos pertinentes a engenharia da conservação do solo e da água, visando-se solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 9327, 10939, 12485, 14486 e 15985 MJ.mm/ha.h.ano.



2. O risco de ocorrência de erosão atinge o mais alto nível para o município de Votuporanga, no semestre de outubro a março. Impõe-se portanto, a necessidade de cuidados extremos na referida época, com o intuito de se estabelecer as mais eficientes práticas conservacionistas para que sejam evitadas elevadas perdas de solo local.

3. Pode-se estimar com certa margem de segurança o fator R para locais desprovidos de registros pluviográficos, mas que entretanto, apresentem um regime de distribuição temporal de chuva semelhante ao de Votuporanga, através de equação específica para tal finalidade.

4. A chuva máxima diária e a intensidade máxima diária em 15 minutos, no período de retorno de 10 anos, determinados para posterior uso em cálculos da seção transversal do canal do terraceamento agrícola foram, respectivamente de 94,0 mm e 144,1 mm/h. Entretanto, desejando-se trabalhar com maior segurança de tal prática conservacionista, podem ser utilizados valores com períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W., CHAVES, I.B., VASQUES FILHO, J. Características físicas das chuvas correlacionadas com perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.18, n.2, p. 279-83, 1994.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28, n.4, p.515-21, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC), no período de 1981 a 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29, p.1453 - 8, 1994.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2 ed. 1990. 355p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Descrição Geral do Estado de São Paulo. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo**: Contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1960. p. 3-53. (Boletim técnico, 12).



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

CAMPOS FILHO, O.R., SILVA, I.R., SILVA, I.F., ANDRADE, A.P., LEPRUN, J.C.
Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.27, n.9, p.1363-70, 1992.

CANTALICE, J.R.B. , MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.275-81, 1993.

CARVALHO, M.P. **Erosividade da chuva**: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. Piracicaba, 1987. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade os solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.237-42, 1989a.

CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A.
Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.243-9, 1989b.



CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A.

Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. **Científica**. v.19, n.1, p.1-7, 1991.

CARVALHO, M.P. **Fator erosividade da chuva-enxurrada para chuvas individuais do**

Estado de São Paulo. Botucatu, 1992. 96p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)
- Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, M.P., PISSARRA, T.C.T., PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Botucatu

(SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindoia. **Anais...** Piracicaba: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1996. (CD-ROM).

CARVALHO, M.P., PISSARRA, T.C.T., PAULINO, H.B. ET AL. Erosividade da chuva de

Selvíria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: SBCS, 1997. (CD-ROM).

CASTRO FILHO C., CATANEO A., BISCAIA R. C. M. Utilização da metodologia de

Wilkinson, para cálculo do potencial erosivo das chuvas em 5 localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.6, n.13, p.240-41, 1982.



CATANEO, A., CASTRO FILHO, C., ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n.3, p.236-9, 1982.

CHAVES, I. B., DINIZ, E.J. Erosividade da chuva no Estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3,1980, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1981. p.136-47.

COLODRO, G. **Erosividade da chuva**: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP), Ilha Solteira, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

CRUCIANI, D.E. Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p 26-59.

DEDECEK, R.A.. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.23, n.12, p.1431-8, 1988.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **La erosion del suelo por el agua**: algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo. Itália: FAO, 1967. 207p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario, 81).



FOSTER, G.R., McCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**. v.36, n.6, p.355-9, 1981.

GUNN, R. , KINZER, G.D. The terminal velocity of fall for water droplets. **Journal Metereology**. v.6, n.1, p.243-8, 1949.

HUDSON, R. **Soil conservation**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.

LAL, R. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria. III Effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, v.16, n.1, p.339-401, 1976.

LAWS, J.O. Measurement of fall velocity of water drops and rain drops. **Transactions American Geophysical Union**, v.22, n.1, p.709-21, 1941.

LAWS, J.O. , PARSON, D.A. The relation of raindrop size to intensity. **Transactions American Geophysical Union**, v.24, n.1, p.452-9, 1943.

LEMOES, M.S.S., BAHIA, V.G. Erosividade da chuva. **Informe Agropecuário**, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

LIMA, M. A. Avaliação do período de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva de Bauru (SP). Unesp, Ilha Solteira, 1995. p. (Trabalho de graduação apresentado a Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo).



LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p 26-59.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as
Campinas, Brasil. West Lafayette, 1977. 53p. (Master of Science - Purdue University).

LOMBARDI NETO, F., SILVA, I.R., CASTRO, O.M. Potencial de erosão de chuvas no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3. 1980, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 1980. p.159.

LOPES, P.R.C. , BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.129-33, 1993.

MARGOLIS, E., SILVA, A.B., JACQUES F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.9, n.2, p.165-9, 1985.

MEDINA, B. F., OLIVEIRA, J.R., R.C. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.67-70, 1987.

MORAIS, L.F.B., MUTTI, L.S.M., ELTZ, F.L.F. Relações entre características da chuva e perdas do solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.3, p.285-8, 1988.



MORAIS, L.F.B., SILVA, V., NASCHENVENG, T. M., HARDOIN, P.C., ALMEIDA, J.E.L., WEBER, O.L., BOEL, E., DURIGON, V. Índice EI_{30} e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.339-44, 1991.

NEWMAN, J.E. Climate in the 1970's. **Crops and Soil Magazine**, v.22, n.4, p.9-12, 1970.

PEREIRA, H.H.G. **Índices de erosividade da chuva**: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba - SP. Piracicaba, 1983. 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PEREIRA JR, W. G., CARVALHO, M. P. Cálculo da erosividade da chuva através do EI_{30} : distribuição e correlação com as perdas de solo de Araçatuba – SP. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1997. 26p. (Trabalho apresentado na disciplina de manejo e conservação do solo – Departamento de ciência do solo)

ROQUE, C. G. **Erosividade da chuva**: distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva para o Município de Pirajú (SP), Ilha Solteira, 1999. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ROQUE, C.G., CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM).



ROQUE, C. G., COELHO, A. P. Cálculo da erosividade da chuva através do EI_{30} : distribuição e correlação com as perdas de solo de Pereira Barreto – SP. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1997. 26p. (Trabalho apresentado na disciplina de manejo e conservação do solo – Departamento de ciência do solo)

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.3, p.279-81, 1986.

SÃO PAULO. (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. **Totais mensais de chuva do Estado de São Paulo: 1976-1991**. São Paulo, 1993. 337 p.

SCHLOTZHAVER, S.D., LITTELL, R.C. **SAS system for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SCHWAB, G.O., FREVERT, R.K., EDMINSTER, T.W., BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 3.ed., New York: J. Wiley, 1981. 683p. (The Fergunson Foundation Agricultural Engineering Series).

SOSA, D.A. **Erosividade a chuva**: distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, 1987. 105p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.



* VAL, L.A., BAHIA, V.G., FREIRE, J.C., DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em lavras. **Ciência e Prática**, v.10, n.2, p.187-98, 1986.

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Proceedings Soil Science of American**, v.20, n.3, p.246-9, 1959.

WISCHMEIER, W.H. Upslope erosion analyses. In: SHEN, H.W. **Environmental Impact on Rivers**. Fort Collins: USDA, 1972. cap. 15, p.01-26.

WISCHMEIER, W.H , SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-91, 1958.

WISCHMEIER, W.H , SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east os the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water Conservation. Washington: USDA, 1965. 47p. (Agriculture handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H , SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537).



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AV. BRASIL, 56 - CAIXA POSTAL 31
15385-000 - ILHA SOLTEIRA - SP