

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EROSIVIDADE, COEFICIENTE DE CHUVA, PADRÕES
E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS
DE QUARAI E RIO GRANDE, RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marcos Gabriel Peñalva Bazzano

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**EROSIVIDADE, COEFICIENTE DE CHUVA, PADRÕES
E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS
DE QUARAI E RIO GRANDE, RS**

por

Marcos Gabriel Peñalva Bazzano

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Flavio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EROSIVIDADE, COEFICIENTE DE CHUVA, PADRÕES
E PERIODO DE RETORNO DAS CHUVAS
DE QUARAI E RIO GRANDE, RS**

elaborada por
Marcos Gabriel Peñalva Bazzano

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Flavio Luiz Foletto Eltz, PhD.
(Presidente/Orientador)

Elemar Antonino Cassol, PhD. (UFRGS)

Thomé Lovato, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 11 de outubro de 2005.

A Silvana, minha esposa e Virginia, minha filha, meus tesouros e amores, pelo sacrifício ao deixarem suas próprias atividades, e pela compreensão por tantas horas afastados.

A meus pais Graciela e José María, meus irmãos Andrea, Marcelo e Alejandro, e minhas cunhadas Inés e Carola.

A meus sogros Chicha e Beto, meus cunhados Gerardo, Adriana, Gustavo e Fernando, e meus concunhados Bruno, Gabriela e María.

A meus sobrinhos Carmela, Santiago, Rocío, Florencia, Valentina, Diego, Mauro, Matías, Gerónimo e Gastón.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, pelo incentivo para me apresentar ao curso de pós-graduação, pela orientação e amizade, e a sua família, pelo apoio e recebimento em sua casa enquanto arrumava um lugar onde morar.

Ao Professor e amigo Thomé Lovato e sua família, pelo incentivo e apoio em todos os momentos, e ter me emprestado grande parte dos móveis que utilizei durante minha estada em Santa Maria.

Ao professor Telmo J. Carneiro Amado, pelo incentivo para me apresentar ao curso de pós-graduação, pela amizade e apoio durante o curso.

Ao Prof. Elemar Antonino Cassol, por brindar materiais, dados e programa utilizados neste trabalho e ainda pelas orientações.

À FEPAGRO, pela cessão dos dados, e aos observadores meteorológicos da FEPAGRO, que possibilitaram o uso dos dados.

A Luiz Finamor, pela amizade e companheirismo durante o curso.

Aos professores do Departamento, pela oportunidade de compartilhar e aprender juntos.

A Martín Cubilla, pela amizade, seu estímulo para me apresentar no concurso de pós-graduação e o apoio em todos os momentos.

A meus amigos e colegas Federico Barreto, Francisco Mendoza, Mastrângello Lanzasova, Ademir Wendling e Ramiro Samaniego, por compartilhar sua casa na última etapa de meus estudos.

A Rodrigo Nicoloso, pela amizade e ajuda na revisão de parte dos resultados.

Aos amigos Marcelo Marques e Alessandro Noal e os já nomeados, pelos lindos momentos compartilhados durante minha estada em Santa Maria.

A meu cunhado e amigo Gustavo Rivero e meu amigo Juan Rimoldi, por compartilhar seu escritório nos dias em que estive em Montevideo.

A meu amigo e concunhado Bruno Lanfranco, por me facilitar bibliografia uruguaia utilizada na dissertação.

Aos acadêmicos Clério Hickmann, Carlos Grasel, Rodrigo de Almeida e Gisele Schirrmann, pelo processamento de parte dos dados da minha dissertação.

Aos colegas de pós-graduação e acadêmicos; pelo companheirismo e amizade.

Aos funcionários da UFSM, em especial do Departamento de Solos, CCR, biblioteca setorial do CCR e DERCA, por fazer o ambiente mais agradável.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela minha aceitação como pós-graduando.

À CAPES, pela bolsa que me permitiu a realização do curso.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

EROSIVIDADE, COEFICIENTE DE CHUVA, PADRÕES E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS DE QUARAI E RIO GRANDE, RS

AUTOR: MARCOS GABRIEL PEÑALVA BAZZANO

ORIENTADOR: FLAVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de outubro de 2005.

As características específicas das chuvas variam de uma região a outra. O conhecimento da potencialidade das chuvas em causar erosão é necessário para planejar atividades agrícolas e de engenharia civil. Para as localidades de Quaraí e Rio Grande (RS), foram determinados a erosividade da chuva e a relação com a precipitação e o coeficiente de chuva, os padrões da chuva e o período de retorno da chuva. Utilizaram-se dados pluviográficos de 38 anos de Quaraí (1966-2003) e 23 anos de Rio Grande (1957, 1959-1978 e 1980-1981). Para cada chuva erosiva foram separados os segmentos do pluviograma com a mesma intensidade e registrados os dados em planilha. Com o programa *Chuveros* foram calculadas a erosividade mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI_{30} no Sistema Internacional de Unidades e os padrões de chuva. Os valores médios mensais da precipitação e do índice de erosividade foram expressos como percentagens do valor médio anual da precipitação e do índice de erosividade respectivamente, para obter a curva de distribuição acumulada da precipitação e do índice de erosividade em função do tempo. O coeficiente de chuva (R_c) foi calculado. Foram realizadas correlações de Pearson e regressões lineares simples entre o índice de erosividade EI_{30} e os valores médios anuais de precipitação e de coeficiente de chuva. O período de retorno foi calculado para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Os valores médios anuais de EI_{30} para Quaraí e Rio Grande foram 9292,1 e 5135,0 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, respectivamente. Para Quaraí, obtiveram-se as equações $EI_{30} = -754,37 + 13,50 p$ ($r^2 = 0,85$) e $EI_{30} = -47,35 + 82,72 R_c$ ($r^2 = 0,84$). Para Rio Grande as equações não foram significativas. Em relação ao total das chuvas estudadas em cada localidade, 44,3% do número e 90,4% do volume foram erosivas em Quaraí, e 32,6% do número e 99,3% do volume foram erosivas em Rio Grande. O método da distribuição extrema tipo I foi adequado para obter as curvas de intensidade-

duração-freqüência. Os períodos de retorno da chuva podem ser calculados através das equações utilizando os valores dos parâmetros achados, ou pelos gráficos das curvas de intensidade-duração-freqüência.

Palavras-chaves: Ciência do solo; Energia cinética; Chuva; Intensidade da chuva; Duração da chuva; Freqüência da chuva; Quarai; Rio Grande.

ABSTRACT

Master Dissertation
 Master of Science in Soil Science
 Federal University of Santa Maria

EROSIVITY, RAINFALL COEFFICIENT, PATTERNS AND RAINFALL RETURN PERIOD OF QUARAI AND RIO GRANDE, RS

AUTHOR: MARCOS GABRIEL PEÑALVA BAZZANO

ADVISOR: FLAVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Date and Place of Defense: Santa Maria, October 11 of 2005.

The rainfall specific characteristics vary from one region to another. The knowledge of the rainfall potential to cause erosion is necessary to plan agricultural and civil engineering activities. For Quarai and Rio Grande (RS, Brazil), were determined the rainfall erosivity and its relationship with precipitation and rainfall coefficient, rainfall patterns and rainfall return period. Were used rainfall data charts of 38 years of Quarai (1966-2003) and 23 years of Rio Grande (1957, 1959-1978 e 1980-1981). For each erosive rainfall were separated the segments of the rainfall chart with the same intensity and the data registered in worksheet. With the software *Chuveros* were estimated the mean monthly and annual rainfall erosivity, the EI_{30} index in the International System of Units and the rainfall patterns. The mean monthly values of precipitation and erosivity index were expressed as percentages of the mean annual values of precipitation and erosivity index, respectively, to obtain the curve of accumulated distribution of precipitation and erosivity index in function of time. The rainfall coefficient (R_c) was calculated. Were performed Pearson correlations and linear regressions between the erosivity index EI_{30} and the mean annual values of precipitation and rainfall coefficient. The rainfall return period were calculated for 2, 5, 10, 20, 50 e 100 years. The mean annual values of EI_{30} for Quarai and Rio Grande were 9292.1 e 5135.0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, respectively. Were obtained the equations $EI_{30} = -754.37 + 13.50 p$ ($r^2 = 0.85$) e $EI_{30} = -47.35 + 82.72 R_c$ ($r^2 = 0.84$) for Quarai. For Rio Grande the equations were not significant. In relation to the total of the rainfalls studied for each place, 44.3% of the number and 90.4% of the volume were erosive in Quarai, and 32.6% of the number and 99.3% of the volume were erosive in Rio Grande. The method of extreme distribution type I was adequate for obtaining the curves of intensity-duration-frequency. The rainfall return periods may be calculated by

the equations using the values of the parameters found, or by the figures of intensity-duration-frequency.

Key-words: Soil science; Kinetic energy; Rainfall; Rainfall intensity; Rainfall duration; Rainfall frequency; Quarai; Rio Grande.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valores médios mensais e acumulados da precipitação pluvial (mm) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	18
Figura 2 – Valores médios mensais e acumulados da precipitação pluvial (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	18
Figura 3 – Valores médios mensais e acumulados do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	22
Figura 4 – Valores médios mensais e acumulados do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	23
Figura 5 – Valores médios mensais e acumulados do coeficiente de chuva R_c (mm) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	25
Figura 6 – Valores médios mensais e acumulados do coeficiente de chuva R_c (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	27
Figura 7 – Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	28
Figura 8 – Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	28
Figura 9 – Distribuição percentual acumulada da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	29
Figura 10 – Distribuição percentual acumulada da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	30
Figura 11 – Períodos de retorno esperados (T), em anos, da chuva em Quaraí-RS, em função da intensidade e duração das chuvas.	40
Figura 12 – Períodos de retorno esperados (T), em anos, da chuva em Rio Grande-RS, em função da intensidade e duração das chuvas.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mensais, anuais e médios da precipitação pluvial (mm) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	16
Tabela 2 – Valores mensais, anuais e médios da precipitação pluvial (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	17
Tabela 3 – Valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	20
Tabela 4 – Valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	21
Tabela 5 – Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (P), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva (Rc) de Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.	24
Tabela 6 – Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (P), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva de Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	26
Tabela 7 – Equações de regressão linear entre do índice EI_{30} vs. Precipitação (P) e do índice EI_{30} vs. Coeficiente de chuva (Rc) para Quaraí e Rio Grande, com os respectivos coeficientes de determinação (r^2) e variação (CV).	31
Tabela 8 – Valores médios anuais por padrão e total das chuvas erosivas de Quaraí, obtidos em 1966-2003.	32
Tabela 9 – Valores médios anuais por padrão e total das chuvas erosivas de Rio Grande, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.	32
Tabela 10 – Precipitação máxima (mm) para diferentes durações em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	34
Tabela 11 – Precipitação máxima (mm) para diferentes durações em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.	35
Tabela 12 – Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (δ) e parâmetro α para diferentes durações da chuva em Quaraí-RS.	36

Tabela 13 – Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (δ) e parâmetro α para diferentes durações da chuva em Rio Grande-RS.....	37
Tabela 14 – Intensidade máxima da chuva calculada pelo método da distribuição extrema tipo 1 (Gumbel, 1958) para durações e períodos de retorno selecionados em Quarai-RS.	37
Tabela 15 – Intensidade máxima da chuva calculada pelo método da distribuição extrema tipo 1 (Gumbel, 1958) para durações e períodos de retorno selecionados em Rio Grande-RS.....	38
Tabela 16 – Parâmetros das regressões (a, b e c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm h ⁻¹ , e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (r^2) e de variação (CV) em Quarai-RS.	39
Tabela 17 – Parâmetros das regressões (a, b e c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm h ⁻¹ , e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (r^2) e de variação (CV) em Rio Grande-RS.	39

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS	xii
SUMÁRIO.....	xiv
INTRODUÇÃO	1
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
a. <i>Erosividade da chuva (índice EI_{30}) e coeficiente de chuva (R_c)</i>	15
b. <i>Padrões de chuva</i>	31
c. <i>Período de retorno</i>	33
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo é um dos grandes problemas da agricultura do Rio Grande do Sul e do Brasil, causando redução nos rendimentos das culturas e grandes danos ao solo (perda de matéria orgânica e nutrientes, desestruturação) e ao ambiente (assoreamento, eutrofização e poluição das fontes de água superficiais).

As perdas de solo que ocorrem por erosão hídrica são provocadas pelo impacto direto das gotas da chuva e ou pelo escoamento superficial do excesso de água da chuva, conhecida como enxurrada. A erosão hídrica é a consequência da interação da chuva com o solo, dito de outro modo é a resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. Ao potencial da chuva em causar erosão chama-se erosividade.

Uma proporção considerável da erosão é devida às características específicas das chuvas que variam de uma região a outra. Isto significa que o conhecimento da potencialidade das chuvas em causar erosão é necessário para o planejamento de atividades agrícolas e de engenharia civil.

Dos anos quarenta aos sessenta do século passado, foram desenvolvidos e aperfeiçoados vários modelos para prever as perdas de solo por erosão hídrica, até chegar à “Universal Soil Loss Equation”, conhecida como USLE (Wischmeier & Smith, 1965), podendo ser utilizada em escala universal, nesse caso dependendo de dados locais específicos (Bertoni et al., 1975). A determinação do valor médio da erosividade das chuvas, através de registros pluviométricos e/ou pluviográficos diários de vários anos e cálculos computacionais, permite estudar o impacto ambiental de determinadas práticas agrícolas, desenvolver pesquisas em erosão e planejar ações de conservação do solo, além de obras de engenharia civil como pontes e represas entre outras.

Uma versão revisada do modelo USLE é a equação RUSLE pela sigla em inglês (Revised Universal Soil Loss Equation), que inclui 5 variáveis (cobertura do solo por resíduos da vegetação previa, cobertura do solo pela parte aérea da vegetação, rugosidade da superfície do solo, conteúdo de biomassa em decomposição nos primeiros 10 cm do solo, e conteúdo de água do solo) para estimar o fator C da equação (Renard et al., 1997).

Em função da sua intensidade, as chuvas são classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, se os picos de maior intensidade estão ao início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente (Horner & Jens, 1941). O conhecimento das variações dos períodos de retorno das chuvas de cada padrão, nas diferentes regiões climáticas

do Brasil, permite contar como informações mais seguras tanto para a planificação de estruturas de conservação de solo (terraços, curvas de nível) e de práticas agrícolas que visem à conservação do solo através de manutenção da cobertura do mesmo, especialmente nas épocas do ano com maior potencial erosivo (índice EI_{30} alto), assim como outras obras (barragens, canais escoadouros) e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, o que justifica sua determinação.

No estado do Rio Grande do Sul, no ano de 1982, o Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis da Secretaria da Agricultura do estado, em colaboração com o IPAGRO-Secretaria da Agricultura, o Departamento de Solos da FA-UFRGS e a EMBRAPA, efetuou o levantamento da erosividade das chuvas em 23 locais do Estado, a partir de registros de dados de 7 a 26 anos. Trabalhos de atualização dos valores de erosividade das chuvas foram desenvolvidos por Scalabrin et al. (1994), Falleiro & Cassol (1996) e Lima et al. (1992), Posteriormente (1999-2001), se fez uma atualização parcial do levantamento através do projeto da UFRGS, FEPAGRO e UFSM, financiado pela FAPERGS. As atualizações permitiram um maior número de locais analisados, melhorando-se a precisão do mapa das linhas isoerodentes do Rio Grande do Sul (Lago, 2000) e a segurança na determinação dos meses do ano em que se encontram os maiores índices de erosividade das chuvas. Diferenças nos valores de erosividade determinados para as mesmas regiões, como é o caso das isoerodentes obtidas por Clérico & García Préchac (2001) na fronteira sul do Brasil com o Uruguai, deixa em evidência a necessidade de aprimorar permanentemente as informações.

Além do permanente incremento das bases de dados a partir dos pluviogramas, várias localidades ficaram ainda sem serem analisadas. Assim, tem-se como objetivos de trabalho determinar: a) erosividade da chuva e relação com a precipitação e o coeficiente de chuva; b) padrões da chuva; e c) período de retorno da chuva para as localidades de Quaraí e Rio Grande do estado do Rio Grande do Sul.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na primeira metade do século passado foram iniciados esforços para estimar as perdas de solo sob diferentes condições de clima, solo e manejos, visando um planejamento conservacionista. Durante estes estudos de perdas de solo foram desenvolvidos vários modelos empíricos com base nos trabalhos realizados na região do Corn Belt dos Estados Unidos. Em 1946, a equação que já relacionava a intensidade das perdas de solo com o comprimento e o grau do declive do terreno (Zingg, 1950), os fatores práticas conservacionistas e culturais (Smith, 1941) e os fatores erodibilidade do solo e manejo (Browning et al., 1947) foi adaptada para outras áreas cultivadas com problemas de erosão hídrica fora da região do Corn Belt (Musgrave, 1947). Em 1954 surge nos Estados Unidos, a partir do aperfeiçoamento das equações citadas, a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE pela sigla em inglês) também conhecida como equação de Wischmeier & Smith (1978). Atualmente esta equação continua sendo uma das mais utilizadas no mundo, incluído o Brasil, dependendo da existência ou obtenção de dados locais específicos (Bertoni et al., 1975). A equação se expressa pelo modelo:

$$A = R K L S C P$$

Onde A = perda de solo calculada por unidade de área, em $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

R = fator chuva (índice de erosividade), em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, expressa o potencial da chuva de provocar a erosão do solo;

K = fator erodibilidade de solo, em $t \text{ ha h MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator grau do declive (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional);

P = práticas conservacionistas (adimensional).

Uma das formas de calcular o fator R é analisar os dados registrados por pluviógrafos nas chuvas naturais. Este método exige uma rede de pluviógrafos bem distribuídos e com eficiente funcionamento.

Sendo o fator R um valor estimado médio anual da erosividade das chuvas a partir de dados correspondentes a um período de tempo longo, confere à USLE características de um modelo de predição de perdas de solo por erosão hídrica não indicado para ser usado na predição de perdas de solo em eventos individuais de chuva ou durante períodos de curta duração como alguns meses ou poucos anos (Cassol et al., 2004b).

As características da chuva podem ser similares ou variar de uma localidade a outra. O potencial erosivo da chuva depende das suas características físicas, principalmente a quantidade, a intensidade e a distribuição sazonal (Buckman & Brady, 1976).

Em regiões de clima temperado o índice EI_{30} (energia cinética da chuva, E, multiplicada pela intensidade máxima da chuva em 30 minutos, I_{30}) é o melhor estimador da erosividade (Wischmeier, 1959). Tentando encontrar melhores ajustes do índice de erosividade para diferentes localidades e melhorar a associação do índice com as perdas de solo, Zanchi & Torri (1980) e Kinnell (1981) desenvolveram diferentes relações energia cinética-intensidade da chuva.

Em regiões de clima tropical e subtropical o uso do índice EI_{30} não tem proporcionado os melhores resultados na estimação de perdas de solo. Lal (1976) e Hudson (1981) desenvolveram para a Nigéria índices alternativos (respectivamente o índice AI_m : produto da quantidade da precipitação pelas intensidades máximas sustentadas, e o índice $KE>m$: energia cinética das chuvas com intensidade maior ou igual que m, $mm\ h^{-1}$).

Em diversas regiões de Brasil foram determinados índices de erosividade da chuva utilizando a metodologia de cálculo do índice EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1958) adaptada para unidades métricas (Foster et al., 1981). No Rio Grande do Sul, região de clima temperado, Morais et al. (1988a) encontraram o índice EI_{30} como adequado para estimar o potencial erosivo da chuva nas localidades de Guaíba, Ijuí e Santa Maria, não havendo diferenças significativas com outros índices quando se comparou a correlação com as perdas de solo. Em Campinas-SP e em Londrina e Ponta Grossa-PR obtiveram-se correlações significativas do índice EI_{30} com as perdas de solo (Lombardi Neto, 1977 e Biscaia et al., 1981 respectivamente).

Wagner & Massambani (1988) consideram que a energia cinética da chuva pode ser calculada diretamente a partir da distribuição do tamanho e da velocidade terminal das gotas. Assim, determinaram a relação entre a energia cinética e a taxa de precipitação a partir de amostras da distribuição de gotas de chuva oriundas de precipitações predominantemente convectivas (pequeno volume, curta duração e alta intensidade) observadas na região de São Paulo. Os autores concluíram que a equação obtida para o cálculo da energia cinética da chuva não difere significativamente com a equação de Wischmeier & Smith (1958).

Em São Paulo, numa pesquisa com dados pluviográficos do Centro Experimental de Campinas, Carvalho et al. (1993), relacionando vários índices de erosividade com as perdas de solo, observaram que o índice EI_{30} é um parâmetro representativo e conveniente, embora

ou índice V_u (volume da enxurrada), haja sido o de maior coeficiente de correlação nas condições tropicais paulistas. Isto também foi verificado por Carvalho et al. (1997) em Pindorama, que estudando as correlações entre os parâmetros de erosividade e as perdas de solo, observaram que o volume da enxurrada foi decisivo para evidenciar o melhor desempenho dos parâmetros de erosividade da enxurrada em relação aos dos da chuva, especialmente sobre o EI_{30} , concordando com Lombardi Neto (1979) e Foster et al. (1982).

Outros autores também correlacionaram vários parâmetros de erosividade da chuva, incluindo o índice EI_{30} , com as perdas de solo. Carvalho et al. (1989) em Mococa-SP e Silva et al. (1997) em Senador Canedo-GO, consideraram o índice EI_{30} adequado para estimar as perdas de solo, embora não haja sido o parâmetro que teve a melhor correlação, por não ser encontrada diferença estatística significativa na estimativa das perdas entre os diferentes coeficientes de correlação dos parâmetros.

No Rio Grande do Sul, Cassol et al. (2004a), utilizando dados pluviográficos de 37 anos (período 1963-1999), determinaram um valor de $6222 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a localidade de Taquari-RS, enquanto Cassol et al. (2004b), estudando a erosividade de Porto Alegre-RS com dados pluviográficos de 30 anos (período 1974-2003), encontraram um valor médio anual do índice EI_{30} de $5242 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No mesmo estado, Roncato et al. (2004) determinaram um índice EI_{30} de $9025,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Santa Maria-RS, considerando pluviogramas de um período de 8 anos (1996-2004). No estado de Santa Catarina, Bertol (1994) observou para Campos Novos um valor de EI_{30} de $6329 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, considerando dados pluviográficos de 10 anos (1981-1990). No Estado de São Paulo, Moreti et al. (2003), trabalhando com dados pluviométricos da série compreendida entre 1950 e 1998 (49 anos) do município de São Manuel, determinaram um valor para o índice EI_{30} de $7487 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para Manaus, Oliveira Jr. & Medina (1990), analisando pluviogramas de 10 anos do período 1973-1983 (excluído 1979), observaram um valor do índice de erosividade EI_{30} médio anual de $14129 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto Morais et al. (1991), fazendo um estudo dos pluviogramas das chuvas em Barranquinho-MT (9 anos, período 1970-1978) e Flechas-MT (7 anos, período 1969-1972, 1975, 1976 e 1978), determinaram índices EI_{30} médios anuais de 8493 e 7830 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente.

A partir de índices de erosividade de várias localidades de uma determinada região pode-se determinar um mapa de linhas isoerodentes (Lago, 2000; Rufino et al., 1993) que poderá servir para o planejamento adequado de atividades que visem a conservação do solo.

Lago (2000), analisando dados pluviográficos de 5 estações meteorológicas (Bagé, 14 anos, 1985-1998; Encruzilhada do Sul, 17 anos, 1982-1998; Jaguarão, 15 anos, 1966-1980; Pelotas, 38 anos, 1961-1998; Rio Grande, 9 anos, 1990-1998) e realizando regressões com dados pluviométricos, obteve equações com as quais foram calculados os índices de erosividade de outras 21 estações meteorológicas com características climatológicas similares, que só contavam com registros pluviométricos. A partir dessas informações encontrou para a região sul do Rio Grande do Sul oito linhas isoerodentes com potencial erosivo que oscilou de 2000 a 8000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em direção norte-noroeste.

Rufino (1986), analisando dados pluviográficos de 31 estações meteorológicas, em uma série contínua da precipitação pluvial com término em 1984, variável em anos segundo a localidade, calculou os índices de erosividade EI₃₀ das chuvas erosivas pela expressão obtida por Castro Filho et al. (1982): $EI_{30} = 28,814 + (10,800 + 7,896 \log I_{30}) P I_{30} 10^{-3}$. Por interpolação determinou sete linhas isoerodentes para o Estado do Paraná, que variaram em uma amplitude de 5000 a 12000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

García & Pannone (1984), encontraram para o Uruguai, a partir de informação pluviográfica de series de anos variáveis entre as localidades estudadas, valores de EI₃₀ entre 6500 e 15800 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, após a transformação a unidades internacionais (Foster et al., 1981), com valores crescentes indo do sul do país (Montevideu) até o norte (Rivera). Esta tendência de aumentar a erosividade em direção sul-norte concorda com a tendência das isoerodentes determinadas por Clérico & García Préchac (2001), embora os valores obtidos por estes autores para o índice EI₃₀ foram menores (4000 a 8000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹). Os valores das linhas isoerodentes mapeadas por Lago (2000) na região sul de Rio Grande do Sul (fronteira com Uruguai) se aproximam aos valores das isoerodentes obtidas por Clérico & García Préchac (2001) no norte do Uruguai e são bastante menores na fronteira nordeste entre Brasil e Uruguai. Estas divergências provavelmente sejam devido à diferença da origem dos dados (pluviométricos ou pluviográficos) e os períodos de registro dos dados de pluviosidade.

Determinar o índice de erosividade EI₃₀ é um processo trabalhoso que implica ter pluviogramas de vários anos para determinar a energia cinética e intensidade máxima das chuvas. Em muitas ocasiões não se conta com registros de pluviógrafo e sim com dados de pluviômetro. Em função dessas dificuldades, várias iniciativas têm sido feitas para facilitar a determinação do índice de erosividade. Devido à alta correlação entre a energia cinética da chuva e a quantidade de chuva (precipitação) Morais et al., (1988b) conseguiram ajustar equações de regressão linear entre esses parâmetros, facilitando assim o cálculo do índice

EI₃₀. Também foram ajustadas equações de regressão linear que estimam o índice EI₃₀ a partir de quantidade de chuva, Q, multiplicada pela intensidade máxima em trinta minutos, I₃₀ (Leprun, 1981).

Equações relacionando o índice EI₃₀ com a precipitação média anual (P) e o coeficiente da chuva expresso como Rc (igual ao quadrado da precipitação média mensal, p², dividido pela precipitação média anual, P) proposto por Fournier (1956) e modificado por Lombardi Neto (1977), foram estudadas por numerosos autores visando simplificar e reduzir o trabalho para o cálculo do índice de erosividade. Neste sentido, Oliveira Junior & Medina (1990), obtiveram equações lineares significativas para correlações entre o índice EI₃₀ e os parâmetros P e Rc para a localidade de Manaus-AM. Morais et al. (1991), utilizando a equação da forma EI₃₀ = a (p²/P)^b proposta por Lombardi Neto (1977), obtiveram regressões significativas entre o índice EI₃₀ médio mensal e o coeficiente de chuva, com os coeficientes “a” e “b” estatisticamente diferentes para as localidades de Barranquinho-MT e Flechas-MT, mostrando que apesar da proximidade geográfica, não é indicada a utilização de uma relação apenas para a estimativa do índice EI₃₀ para essas localidades. Silva & Dias (2003), analisando registros pluviográficos e pluviométricos de 20 anos (período 1962-1981) de Fortaleza-CE obtiveram equações de tipo linear, quadrática, potencial e exponencial significativas para correlações entre o índice EI₃₀ e os parâmetros P e Rc, sendo escolhido o modelo exponencial EI₃₀ = a Rc^b por apresentar o maior coeficiente de correlação. Moreti et al. (2003) calcularam o índice EI₃₀ de São Manuel-SP a partir de uma série pluviométrica de 49 anos (1949-1998) utilizando a equação do tipo EI₃₀ = a Rc^b obtida por Carvalho (1987) para Mococa-SP. A validade de aplicação da equação obtida para Mococa-SP aos dados de São Manuel-SP foi previamente verificada, tanto por meio de regressão linear entre os dados de precipitação anual para a série de 1949 a 1998 das duas localidades, quanto por meio dos intervalos de confiança entre suas respectivas precipitações médias mensais, visando à extrapolação do uso da referida equação.

Por outro lado, Bertol (1993) e Bertol (1994) trabalhando com dados pluviográficos de Lages-SC e Campos Novos-SC, respectivamente, de séries de 10 anos (período 1981-1990), e Albuquerque (1992) analisando dados de Caruaru-PE, não encontraram correlações significativas do EI₃₀ com a precipitação e o coeficiente de chuva (Rc).

Informações da erosividade mensal da chuva permitem definir épocas com maior risco de perdas de solo, o qual ajuda para uma planificação mais adequada em caso de práticas agrícolas que movimentem o solo, e também são importantes nas pesquisas para a obtenção do fator de erodibilidade (K) da Equação Universal de Perdas de Solo (Távora et al., 1985).

Morais et al. (1991), estudando a erosividade das chuvas no sudoeste do Mato Grosso encontraram o período novembro-março como o de maior concentração do potencial erosivo, perfazendo 76 a 91% do total anual para as localidades estudadas, entanto Bertol (1993) encontrou que o período outubro-fevereiro concentrou 56,3% da erosividade anual das chuvas de Lages (SC). Campos Filho et al. (1992) observaram que 84% dos valores médios mensais dos índices de erosão de Glória de Goitá-PE encontraram-se distribuídos nos meses de fevereiro a julho, enquanto que Carvalho et al. (1989) encontraram, em Mococa-SP, que 85,4% do total do índice EI_{30} médio anual distribuiu-se entre os meses de outubro a março.

Em contraste, as quantidades de médias mensais e anuais das chuvas, aliás, muito utilizados, dizem pouco com respeito à erosão. Dias & Silva (2003) encontraram um valor médio anual do índice EI_{30} de $6774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as chuvas de Fortaleza-CE, 19% maior, indicando maior potencial erosivo, que o determinado por Bertol (1993) para Lages-SC ($5694 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sendo o valor médio anual da precipitação determinado por ditos autores, praticamente igual (1676 e 1674 mm para Fortaleza-CE e Lages-SC, respectivamente). Considerando a ocorrência de solos similares espera-se maior perda de solo por erosão na localidade de Fortaleza-CE comparado com Lages-SC.

Em condições climáticas bem diferentes, Mannaerts & Gabriels (2000) encontraram um valor médio anual do índice EI_{30} de $989 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e uma precipitação média anual de 319 mm para Santiago, ilha do arquipélago de Cabo Verde, 500 km ao oeste de Dakar, Senegal, África do oeste.

Além de ser necessário o estudo da erosividade nas diferentes localidades para estimar perdas de solo, é importante considerar possíveis variações do regime pluviométrico em diferentes períodos, o que poderá refletir-se no potencial erosivo da chuva (Soriano et al., 2001).

Perdas de solo e danos em infra-estrutura e obras de engenharia hidráulica ocorrem freqüentemente por causa da chuva. Eficientes dimensionamentos de obras hidráulicas e conservacionistas podem-se realizar quando são considerados aspectos de risco e freqüência da chuva. A análise de distribuição de freqüência permite estimar o período de retorno, de um evento máximo anual de chuva, que pode ser definido como o período, em anos, em que o referido evento pode ser igualado ou excedido, pelo menos uma vez, em média (Eltz et al., 1992). Denardin et al. (1980) propuseram para o cálculo da intensidade máxima (I) de 14 localidades de Rio Grande do Sul, incluída Rio Grande, equações com duas variáveis

independentes (T, período de retorno, e t, período de duração da chuva) e 4 coeficientes de ajuste (a, b, c e d) as quais tiveram altos coeficientes de determinação múltipla (R^2).

Os padrões de chuva, classificados em padrão avançado, intermediário e atrasado, quando a localização dos picos de maior intensidade está no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente (Horner & Jens, 1941) podem mudar de uma região a outra, e ter diferente período de retorno (Mehl et al., 2001, Moreti et al., 2003).

2. MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho, foi calculado a erosividade da chuva, o coeficiente de chuva e sua relação com a erosividade, a relação da erosividade com a precipitação, e determinados os padrões e os períodos de retorno das chuvas para duas localidades do Rio Grande do Sul, Quaraí e Rio Grande.

Para os cálculos dos parâmetros citados, utilizaram-se dados pluviográficos das estações meteorológicas das localidades de Quaraí e Rio Grande do estado de Rio Grande do Sul, os quais foram cedidos pela FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária). Para a localidade de Quaraí, foram analisados dados dos 38 anos do período 1966-2003, e para a localidade de Rio Grande foram analisados dados do período 1957-1981 com exceção de 1958 e 1979, totalizando 23 anos.

Quaraí localiza-se na região fisiográfica denominada Campanha e Rio Grande localiza-se na região fisiográfica denominada Litoral. A estação meteorológica de Quaraí está a uma altitude de 100 m, latitude sul 30° 23' e longitude oeste 56° 26', enquanto a estação meteorológica de Rio Grande localiza-se a uma altitude de 15 m, latitude sul 32° 01' e longitude oeste 52° 09'. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfa, ou seja, temperado úmido sem estiagem, com temperaturas média, máxima e mínima anual de 19,6; 24,5 e 13,7 °C em Quaraí, e 18,1; 21,8 e 15,0 °C em Rio Grande, e precipitação média anual de 1513 mm em Quaraí, e 1162 mm em Rio Grande, considerando os períodos 1971-2000 e 1931-1960 para Quaraí e Rio Grande, respectivamente (IPAGRO, 1989).

Conforme sugerido por Cabeda (1976), foram selecionadas as chuvas individuais erosivas, considerando-se chuvas individuais aquelas separadas de outras por um intervalo de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm, e erosivas quando a precipitação total foi igual ou superior a 10 mm ou quando a precipitação foi igual ou superior a 6 mm em 15 minutos ou menos de chuva.

A partir dos pluviogramas diários, cada chuva erosiva individual foi separada em segmentos uniformes, ou seja, segmentos com inclinação constante (intensidade constante). Os dados das chuvas foram registrados manualmente em planilha sugerida por Freitas & Madeira Neto (1980), onde foram anotadas as horas onde houve variação de intensidade e a chuva acumulada até aquele momento. A amplitude de registro dos pluviogramas foi de 10 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O tempo de registro foi de 24 horas, com unidades de 10 minutos, realizando-se a leitura da precipitação com unidades de 5 minutos.

Com o auxílio de computador, através do uso do programa *Chuveros*, elaborado por Elemar Antonino Cassol (DS-FA-UFRGS), e planilhas de cálculo *Microsoft Office Excel*, foi estimado a erosividade mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1958) no Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981). Os cálculos do programa são realizados da seguinte forma:

A energia cinética de cada segmento uniforme de uma chuva erosiva individual determina-se por:

$$EC_s = EC h$$

onde EC_s é a energia cinética no segmento de chuva, em $MJ ha^{-1}$, EC é a fórmula de energia cinética e h é a quantidade de chuva no segmento uniforme, em mm.

A fórmula de cálculo da energia cinética é a seguinte:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I$$

onde EC é a energia cinética por mm de chuva, em $MJ ha^{-1} mm^{-1}$, e I é a intensidade da chuva no segmento uniforme (intensidade constante), em $mm h^{-1}$.

A energia cinética total da chuva erosiva individual calcula-se pela expressão:

$$EC_t = \sum EC_s$$

onde EC_t é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em $MJ ha^{-1}$, e $\sum EC_s$ é o somatório da energia cinética de cada segmento da chuva, em $MJ ha^{-1}$.

O índice de erosividade de cada chuva calcula-se por:

$$EI_{30} = EC_t I_{30}$$

onde EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, EC_t é a energia cinética total da chuva, em $MJ ha^{-1}$, e I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos, em $mm h^{-1}$, ou seja, a quantidade de chuva no período de 30 minutos multiplicada por 2, determinada a partir dos dados levantados do pluviograma.

Os valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} são a média dos meses para cada localidade. O valor médio anual do índice de erosividade EI_{30} é a média dos anos dos períodos estudados em cada localidade.

Chuveros é um programa em linguagem *FortranIV*. A partir de um arquivo (*.dat) com dados de chuvas erosivas obtidos das planilhas de registros pluviográficos o programa *Chuveros* gera dois arquivos de resultados: *erosivo.ind* e *erosivo.out*. O arquivo *erosivo.ind* fornece de cada chuva individual identificada pela data e número da ordem em que ocorre no mês, as respectivas informações de precipitação, padrão da chuva (incluindo número de chuvas e percentagem de cada padrão), EC (energia cinética), I_{30} (intensidade máxima em 30

minutos consecutivos) e índice de erosividade EI_{30} (metodologia de Wischmeier & Smith, 1958). Também dá o resumo mensal e anual desses parâmetros, os índices de erosividade $KE>10$ e $KE>25$ (energia cinética multiplicada pela precipitação das chuvas de intensidade maior que 10 e 25 $mm\ h^{-1}$ respectivamente), e tempo de duração da chuva. No final, o arquivo *erosivo.ind* da informação anual do número de chuvas e percentagem correspondente a cada padrão de chuva. O arquivo *erosivo.out* oferece informação de cada chuva individual identificada pela data e número da ordem em que ocorre no mês indicando hora de início e fim da chuva, a duração total, o volume e o padrão da chuva. Outras informações que entrega o arquivo *erosivo.out* das chuvas individuais, mensais e anuais, são os índices de erosividade (EI_{30} , $KE>10$ e $KE>25$) e as intensidades máximas das chuvas com diferentes durações (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 135, 150, 165, 180, 210 e 240 minutos).

Os valores médios mensais da precipitação e do índice de erosividade foram expressos como percentagens do valor médio anual da precipitação e do índice de erosividade respectivamente, para obter a curva de distribuição acumulada da precipitação e do índice de erosividade em função do tempo, conforme Wischmeier & Smith (1958).

O coeficiente de chuva (R_c) foi calculado através da equação proposta por Lombardi Neto (1977):

$$R_c = p^2 P^{-1}$$

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

Foram realizadas análises de correlação Pearson e de regressão linear simples entre o índice de erosividade EI_{30} e cada um dos valores médios anuais de precipitação e coeficiente de chuva utilizando o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System), versão 8.02 para *Windows*, com o apoio do manual para análises estatísticas de dados experimentais (Rebolledo, 2002).

O padrão da chuva foi determinado pelo programa *Chuveros*, separando-se as chuvas de acordo com os padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado da classificação proposta por Horner & Jens (1941). Padrão avançado, intermediário e atrasado será quando a localização do pico de maior intensidade está no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração da chuva. Também foi calculada a percentagem do total das chuvas que representa cada padrão.

O período de retorno (T), definido como o período em anos, em que um evento máximo anual pode ser igualado ou excedido pelo menos uma vez, em média, a cada T anos, foi

determinado segundo a metodologia descrita por Eltz et al. (1992). Através do programa *Chuveros* geraram-se os valores das quantidades máximas de chuva ocorridas durante 1/6, 1/3, 1/2, 1, 2 e 4 horas, e a partir dos pluviogramas das chuvas de cada ano foram determinadas as quantidades máximas de chuva ocorridas durante 8, 12, 24 e 48 horas em qualquer momento do período de tempo analisado. Nos intervalos menores, as durações de chuva consideradas podem representar um período mais curto que a duração total de uma chuva individual, enquanto que as durações maiores podem abranger mais de uma chuva individual e abranger um período com parte em um dia e parte em outro.

Os dados de valores máximos de precipitação foram testados pela distribuição extrema tipo I (Gumbel, 1958) com o programa *Fregrisk*, descrito por Kite (1988), que é a que apresenta resultados satisfatórios (Eltz et al., 1992; Mehl et al., 2001). Utilizando o programa *Fregrisk* obtiveram-se a média (μ), o desvio padrão (σ), o parâmetro α (parâmetro de escala), e o período de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

O período de retorno (T) determina-se pela fórmula descrita por Kite (1988):

$$T = 1(1-F)^{-1} \quad (1)$$

sendo F uma função de densidade probabilística definida por Bedient & Huber (1988):

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}, \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (2)$$

onde e é a base neperiana (2,712817) e u (modal) um parâmetro de localização.

Os parâmetros u e α relacionam-se com a média (μ) e o desvio padrão (σ) através das equações:

$$u = \mu - 0,5772 \alpha^{-1} \quad (3)$$

e

$$\alpha = \left[(\sigma\sqrt{6})^{-1} \right] \quad (4)$$

O valor da intensidade máxima esperada para determinado período de retorno e duração da chuva é dado por:

$$I = \mu + K\sigma \quad (5)$$

sendo K o fator de frequência que se calcula por:

$$K = -0,7797 \{0,5772 + \ln [\ln (T(T-1)^{-1})]\} \quad (6)$$

onde \ln é o logaritmo neperiano.

Para cada período de retorno foram ajustadas equações polinomiais de segunda ordem que têm a forma:

$$\log I = a + b(\log D) + c(\log D)^2 \quad (7)$$

onde \log é o logaritmo base 10, D é a duração da chuva e a , b e c são parâmetros de ajuste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Erosividade da chuva (índice EI_{30}) e coeficiente de chuva (R_c)

Os valores mensais, anuais e médios da precipitação com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação para a localidade de Quaraí apresentam-se na Tabela 1, e para a localidade de Rio Grande na Tabela 2.

Em Quaraí, a precipitação média anual encontrada foi de 1359,4 mm. A maior precipitação média mensal ocorreu no mês de fevereiro alcançando 152,4 mm, e a menor no mês de agosto com 64,4 mm. Observa-se que as maiores precipitações médias mensais ocorreram em janeiro-abril (132,2-152,4 mm) e o período com menores precipitações médias mensais foi junho-setembro (64,4-89,5 mm). A alta variabilidade temporal das precipitações (Eltz et al., 1992) refletiu-se em muito altos coeficientes de variação (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002) da precipitação mensal (59,4-88,4%), sendo muito menor, mas ainda alto, o coeficiente de variação da precipitação anual, (26,8%). Porém observa-se uma ampla diferença entre as precipitações observadas no período estudado sendo que a precipitação do ano mais chuvoso, 1998, que alcançou 2204,9 mm, foi mais de três vezes e meia superior à alcançada no ano mais seco do período, 1995, que teve 585,1 mm de precipitação (Tabela 1).

Em Rio Grande, a precipitação média anual encontrada foi de 1300,7 mm (Tabela 2). A maior precipitação média mensal, 149,0 mm, ocorreu no mês de julho e a menor no mês de abril, 73,6 mm. Observa-se que a época do ano mais chuvosa aconteceu na média no período julho-setembro (138,8-149,0 mm) e os meses mais secos foram em média abril e dezembro (73,6 e 76,9 mm, respectivamente). Embora mais baixos que em Quaraí, em Rio Grande observam-se muito altos coeficientes de variação da precipitação mensal (35,1-88,9%), demonstrando também a alta variabilidade temporal das precipitações. Já o coeficiente de variação da precipitação anual apresentou um valor médio (18,3%). A máxima precipitação observada no período estudado, 1789,8 mm no ano de 1966, foi mais que duas vezes superior à precipitação do ano de 1981 que alcançou 829,1 mm, sendo a menor do período (Tabela 2).

Tabela 1 – Valores mensais, anuais e médios mensais e anuais da precipitação pluvial (mm) em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1966	145,0	152,4	132,8	132,2	58,1	98,5	152,7	18,3	115,7	76,7	121,7	230,7	1434,9
1967	64,1	125,3	68,9	17,2	135,7	109,4	91,4	102,9	73,9	145,6	83,4	64,7	1082,5
1968	54,4	76,6	214,1	54,6	85,7	64,4	80,2	48,3	138,5	113,2	97,3	125,0	1152,3
1969	123,1	186,4	147,2	42,9	210,3	49,7	58,1	48,4	84,7	48,6	36,8	95,5	1131,7
1970	105,9	67,8	221,7	53,2	115,8	134,8	94,7	43,7	13,6	120,8	8,3	215,5	1195,8
1971	220,5	174,8	29,5	17,9	116,7	79,1	78,5	75,0	54,4	27,1	43,6	97,0	1014,1
1972	147,0	106,8	71,2	82,4	70,9	118,7	236,9	169,0	131,0	67,1	93,7	124,5	1419,2
1973	309,7	454,8	50,3	306,7	251,0	99,7	185,3	50,8	79,8	12,7	45,3	154,2	2000,3
1974	228,8	200,3	9,3	41,0	63,6	158,6	88,7	64,4	89,5	109,4	115,3	94,4	1263,2
1975	145,0	152,4	186,8	51,4	191,5	96,2	80,5	101,4	161,4	30,8	105,9	64,6	1367,9
1976	163,8	48,2	215,7	97,9	74,5	38,0	29,4	79,3	0,8	97,9	128,1	113,8	1087,4
1977	82,5	320,2	69,9	114,1	55,0	25,8	279,3	55,7	107,0	108,9	232,7	106,2	1557,3
1978	178,8	61,5	78,5	57,6	117,8	116,6	174,2	21,6	35,5	165,7	254,0	83,5	1345,3
1979	18,0	103,8	147,0	43,3	46,6	24,8	67,7	174,2	136,7	143,3	112,6	124,2	1142,2
1980	85,0	159,5	137,7	135,9	79,4	61,5	25,1	77,4	16,3	349,8	109,7	125,0	1362,3
1981	126,2	197,2	44,6	42,6	284,0	94,0	66,5	54,6	85,2	59,0	115,4	106,9	1276,2
1982	114,6	338,3	31,4	16,0	141,3	118,4	89,4	134,9	43,1	126,6	208,1	39,6	1401,7
1983	71,0	84,6	54,2	57,8	113,7	65,1	100,6	52,1	43,0	82,6	104,9	25,2	854,8
1984	243,0	273,0	230,1	58,0	110,8	137,2	77,3	54,4	188,2	143,9	167,1	22,7	1705,7
1985	32,3	49,7	229,2	88,6	127,5	50,2	105,6	66,5	101,5	73,3	3,1	37,2	964,7
1986	147,4	99,7	336,7	230,9	79,0	82,2	19,0	70,0	108,4	145,1	288,0	57,1	1663,5
1987	177,9	64,1	378,0	185,0	49,1	15,0	127,7	79,5	144,3	51,9	75,3	82,1	1429,9
1988	380,6	47,9	42,6	35,2	117,8	44,4	21,4	69,7	89,5	62,7	106,7	48,7	1067,2
1989	48,9	8,0	142,1	134,1	17,2	19,6	35,3	120,6	30,6	89,6	81,3	203,4	930,7
1990	174,9	260,5	213,7	258,9	45,2	9,7	34,0	23,8	78,8	125,7	217,3	298,8	1741,3
1991	32,5	40,3	66,2	525,9	105,2	145,2	122,5	27,1	37,0	86,2	58,1	302,4	1548,6
1992	48,3	297,0	174,4	356,6	132,6	278,6	112,5	18,2	112,7	50,9	47,1	107,2	1736,1
1993	266,7	49,3	65,7	107,7	378,2	41,4	51,5	7,2	47,5	241,2	238,6	126,9	1621,9
1994	9,0	218,7	49,6	38,8	80,1	105,7	15,3	62,7	62,7	129,7	42,9	20,2	835,4
1995	52,1	18,7	103,4	54,4	25,3	38,4	120,5	3,3	54,3	35,1	50,7	28,9	585,1
1996	361,6	107,1	93,8	338,7	8,9	29,0	14,0	32,4	86,1	104,7	120,1	100,6	1397,0
1997	79,8	255,7	72,6	102,9	131,3	65,6	103,8	91,6	50,5	246,0	204,8	414,2	1818,8
1998	490,7	231,7	302,4	299,3	47,3	237,6	97,8	41,0	192,8	48,2	110,2	105,9	2204,9
1999	10,3	174,6	40,2	144,5	48,6	71,7	97,2	21,8	37,2	86,3	5,7	37,3	775,4
2000	139,0	75,4	189,7	92,3	259,3	125,7	79,0	102,4	178,4	96,9	161,8	79,2	1579,1
2001	190,6	91,9	74,3	298,5	221,0	43,5	33,8	64,4	89,5	109,4	115,3	125,5	1457,7
2002	145,0	152,4	132,8	132,2	117,8	86,3	88,7	69,0	221,5	206,1	171,0	543,5	2066,4
2003	95,7	266,2	199,4	177,3	162,8	99,1	33,3	49,7	78,3	137,2	100,3	38,1	1437,4
Média	145,0	152,4	132,8	132,2	117,8	86,3	88,7	64,4	89,5	109,4	115,3	125,5	1359,4
Máx.	490,7	454,8	378,0	525,9	378,2	278,6	279,3	174,2	221,5	349,8	288,0	543,5	2204,9
Mín.	9,0	8,0	9,3	16,0	8,9	9,7	14,0	3,3	0,8	12,7	3,1	20,2	585,1
D.P.	108,4	102,6	90,6	116,9	80,0	57,2	58,7	39,7	53,2	67,1	71,3	109,8	364,3
CV (%)	74,8	67,3	68,2	88,4	67,9	66,2	66,3	61,6	59,4	61,3	61,8	87,4	26,8

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 2 – Valores mensais, anuais e médios mensais e anuais da precipitação pluvial (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1957	30,3	46,4	15,5	80,6	113,4	143,4	51,3	132,6	113,8	138,8	113,1	147,0	1126,2
1959	161,3	129,9	91,9	312,9	73,3	113,2	113,0	220,7	109,6	260,0	60,2	67,1	1713,1
1960	98,2	27,6	231,2	98,9	5,5	143,0	272,5	146,2	148,1	81,2	50,6	50,3	1353,3
1961	98,8	99,9	108,5	40,0	19,2	110,6	149,0	143,0	138,8	117,0	85,8	76,9	1187,5
1962	115,6	93,8	109,6	73,6	86,9	89,2	15,0	77,1	145,4	94,4	36,3	38,0	974,9
1963	139,0	84,3	159,7	64,5	77,8	78,8	134,3	142,3	241,2	133,0	254,6	84,6	1594,1
1964	17,7	142,3	113,8	38,6	69,8	57,9	102,8	212,4	76,7	184,8	18,8	23,7	1059,3
1965	13,9	46,1	221,4	112,0	48,6	62,4	38,4	265,4	283,2	106,5	89,0	118,7	1405,6
1966	115,6	93,8	109,7	73,6	86,9	189,9	387,4	196,8	187,6	104,7	57,7	186,1	1789,8
1967	73,6	93,5	79,3	21,8	216,6	134,8	93,1	220,0	148,3	155,4	96,9	30,9	1364,2
1968	192,7	34,7	244,9	77,8	36,6	26,0	38,3	143,0	138,8	94,3	139,8	93,4	1260,3
1969	147,0	64,1	64,0	20,5	96,1	80,1	197,6	190,6	52,3	77,9	118,9	20,0	1129,1
1970	121,5	112,4	55,9	42,9	137,7	148,0	129,4	138,9	22,5	101,9	33,7	121,8	1166,6
1971	149,1	109,1	58,4	19,7	81,2	150,6	120,6	47,9	189,6	51,3	49,2	83,1	1109,8
1972	178,8	87,8	94,6	21,6	82,4	142,9	140,3	187,5	115,2	167,2	85,4	21,5	1325,2
1973	178,1	138,4	12,6	85,2	112,7	93,4	253,2	74,3	50,4	50,5	34,1	33,4	1116,3
1974	218,1	154,4	51,5	12,4	120,1	103,1	139,6	169,8	132,2	69,9	70,0	132,3	1373,4
1975	137,4	106,1	87,0	36,3	105,7	49,9	84,1	198,0	255,5	73,6	154,7	22,8	1311,1
1976	108,9	37,2	137,2	38,7	172,7	132,0	130,6	190,3	137,3	47,2	95,0	160,5	1387,6
1977	133,9	78,5	81,7	104,7	58,8	127,5	465,5	90,7	244,4	193,6	81,2	31,6	1692,1
1978	85,7	178,2	69,5	75,5	43,7	116,1	170,6	42,6	126,7	161,8	68,3	81,0	1219,7
1980	42,8	69,6	283,6	186,0	81,8	116,6	148,3	35,0	44,2	207,6	144,5	66,9	1426,9
1981	100,5	128,6	42,5	55,6	70,6	134,6	52,2	23,7	90,7	17,9	35,3	76,9	829,1
Média	115,6	93,8	109,7	73,6	86,9	110,6	149,0	143,0	138,8	117,0	85,8	76,9	1300,7
Máx.	218,1	178,2	283,6	312,9	216,6	189,9	465,5	265,4	283,2	260,0	254,6	186,1	1789,8
Mín.	13,9	27,6	12,6	12,4	5,5	26,0	15,0	23,7	22,5	17,9	18,8	20,0	829,1
D.P.	54,8	40,4	73,0	65,5	46,9	38,8	108,7	68,0	69,9	59,4	52,7	48,4	238,6
CV (%)	47,4	43,1	66,5	88,9	54,0	35,1	73,0	47,6	50,4	50,8	61,5	63,0	18,3

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação.

Podem-se observar diferenças das precipitações de Quaraí e Rio Grande, comparando as suas distribuições apresentadas nas Figuras 1 e Figura 2, respectivamente. Na primeira localidade, observa-se que os picos de maior precipitação localizam-se ao redor de fevereiro, mês em que aconteceu o pico máximo (Tabela 1). Nos meses em torno de agosto, mês de menor precipitação, aconteceram as menores chuvas. Ao contrário, na localidade de Rio Grande observa-se de julho a setembro como a época com maiores precipitações enquanto os menores volumes de chuva ocorreram nos meses de abril-maio e novembro-dezembro (Tabela 2). Embora tenham sido observados períodos de maior e menor precipitação, não foi evidente

uma estação seca, o qual concorda com a classificação do clima de Köppen, Cfa, para as localidades em estudo.

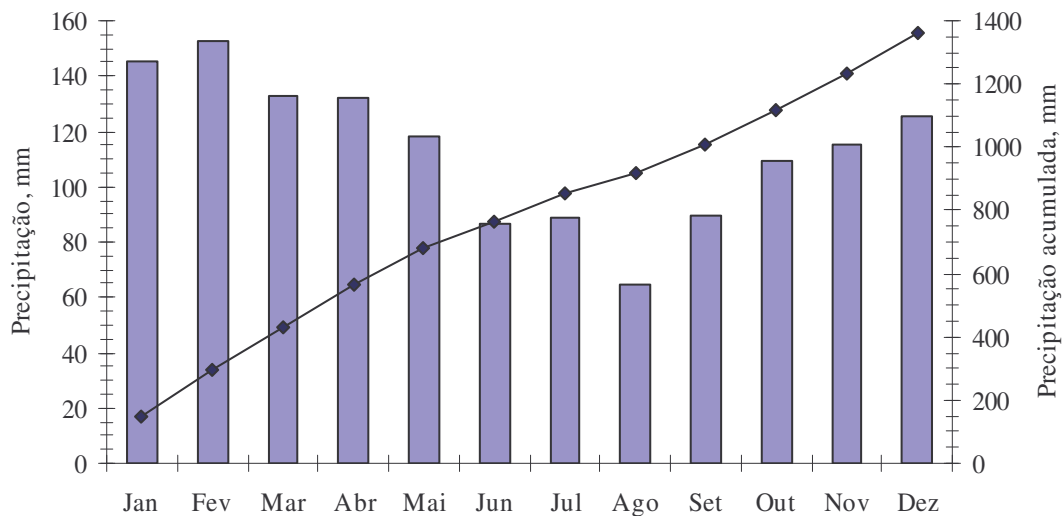


Figura 1 – Valores médios mensais e acumulados da precipitação pluvial (mm) em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003.

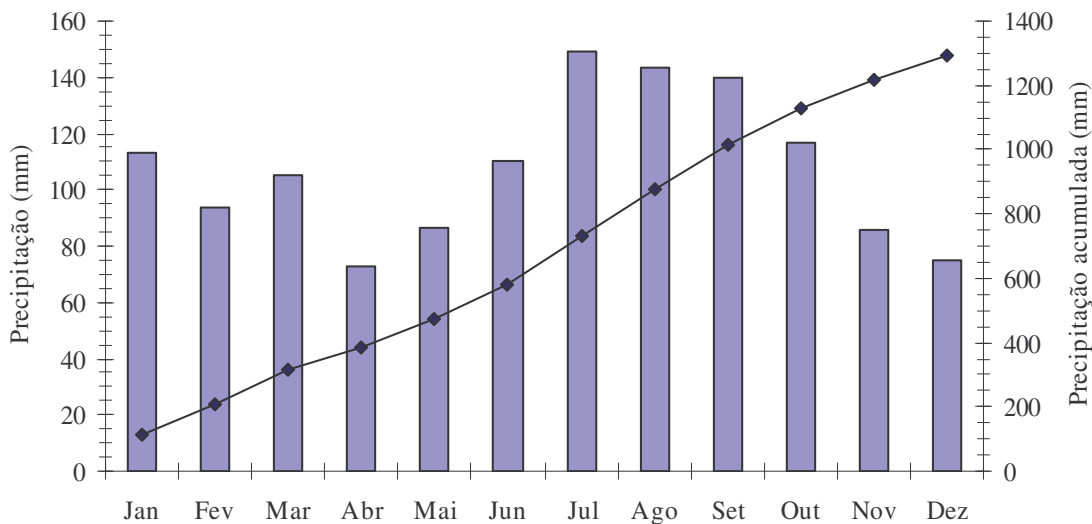


Figura 2 – Valores médios mensais e acumulados da precipitação pluvial (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Na Tabela 3 para Quarai e na Tabela 4 para Rio Grande, apresentam-se os valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI_{30} da chuva de Quarai, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação, bem como a amplitude de variação (mínimo, máximo).

O valor do fator R da USLE para Quarai, valor médio anual da erosividade da chuva (Tabela 3), é de $9292,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No período dezembro-março observou-se a maior erosividade média mensal, com valores do índice EI_{30} que variaram entre 1072,2 e $1304,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. Nos meses de julho e agosto ocorreu, em média, a menor erosividade ($286,1$ e $211,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, respectivamente). O coeficiente de variação dos valores mensais foi muito alto variando entre 91,4-169,0% enquanto o coeficiente de variação anual, embora menor, foi também muito alto alcançando 47,9%, indicando que as características da chuva que determinam seu potencial erosivo, principalmente intensidade e quantidade (Buckman & Brady, 1976), são muito variáveis. Dentro do período em estudo, o máximo valor de erosividade anual, $22827,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, foi observado em 2002 e a menor erosividade, $2239,3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no ano 1995 (Tabela 3).

O valor do fator R da USLE para Rio Grande, valor médio anual da erosividade da chuva (Tabela 4), é de $5135,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esse valor é 44,7% menor que o valor determinado para Quarai. A maior erosividade média foi observada no mês de janeiro, sendo calculado um índice EI_{30} de $728,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. No período abril-junho observou-se a menor erosividade média mensal, com valores do índice EI_{30} de 263,8 a $284,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. Nos meses de julho e agosto ocorreu, em média, a menor erosividade ($211,5$ e $286,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, respectivamente). O coeficiente de variação dos valores mensal e anual foi muito alto, alcançando valores de 91,4-169,0% e 47,9% respectivamente, mostrando também nesta localidade a variabilidade das características da chuva, principalmente intensidade e quantidade, que determinam seu potencial erosivo. A diferença de erosividade entre Quarai e Rio Grande seguramente está determinada pela proximidade do oceano no caso de Rio Grande, cuja massa de água afeta as características das chuvas.

Observa-se que embora a precipitação média anual encontrada em Quarai de 1359,4 mm (Tabela 1) é só 4,5% maior que aquela obtida para Rio Grande de 1300,7 mm (Tabela 2), a erosividade média anual determinada pelo índice EI_{30} , em Quarai de $9292,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 3) é 81,0% maior do que em Rio Grande que foi de $5135,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 3 – Valores mensais e anuais e médios mensais e anuais do índice de erosividade EI₃₀ (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1966	1144,1	1302,4	1072,2	833,0	231,5	440,9	493,3	20,3	495,2	319,1	593,6	2204,1	9149,8
1967	209,0	865,0	221,0	46,3	439,8	199,4	233,1	170,4	236,6	1542,9	763,9	510,3	5437,7
1968	78,5	402,2	928,0	61,6	153,9	142,0	155,0	54,0	605,8	441,8	639,4	424,5	4086,7
1969	836,4	886,9	702,3	212,6	1625,1	57,1	45,6	99,3	198,7	102,5	211,9	615,8	5594,2
1970	353,7	150,6	1258,4	275,3	370,3	624,2	343,2	98,3	0,0	1038,5	0,0	1315,8	5828,3
1971	1391,9	1596,7	0,0	10,9	746,0	210,2	163,4	202,7	125,1	21,6	232,1	919,8	5620,4
1972	566,8	2742,6	114,4	581,1	323,6	448,2	1416,2	897,6	960,4	64,4	305,5	841,7	9262,5
1973	2769,2	4452,3	209,9	1660,3	2921,7	182,8	770,9	80,6	108,1	35,7	50,2	3934,4	17176,1
1974	2021,2	1983,3	0,0	281,1	51,2	1548,0	286,1	211,5	482,9	560,1	879,9	949,1	9254,4
1975	1144,1	1302,4	2005,6	126,9	1534,0	413,8	346,9	165,9	494,9	64,6	609,2	432,8	8641,1
1976	997,7	195,5	1639,0	687,9	171,8	104,1	19,6	124,6	0,0	1237,6	759,6	590,4	6527,8
1977	487,9	3434,6	207,9	553,0	111,4	0,0	844,3	78,8	727,0	701,2	2186,5	547,5	9880,1
1978	922,0	470,7	226,6	121,5	849,1	299,0	564,4	15,9	35,8	551,7	2193,5	415,4	6665,6
1979	12,0	384,9	2533,5	47,7	73,3	54,1	38,1	797,3	931,7	543,2	1060,5	1285,0	7761,3
1980	619,9	1094,2	1049,2	742,7	304,3	62,1	0,0	194,9	8,1	1628,3	344,4	1334,3	7382,4
1981	1133,2	1446,1	186,1	101,6	3509,2	223,0	124,7	78,0	348,1	212,0	937,1	654,0	8953,1
1982	1603,6	2821,0	103,5	25,7	1697,8	261,8	473,6	1327,7	43,3	906,5	2103,6	131,8	11499,9
1983	1042,0	268,9	168,4	139,3	793,6	634,8	233,8	168,9	257,3	339,9	280,3	43,8	4371,0
1984	2172,9	3270,0	2864,6	111,7	385,0	544,5	240,3	211,3	2004,8	1747,5	1534,1	156,9	15243,6
1985	48,5	81,0	2117,9	220,2	932,4	257,2	231,0	93,0	372,1	376,2	0,0	159,6	4889,1
1986	1172,6	951,6	4663,4	1333,0	281,9	164,0	0,0	262,6	372,1	1443,3	2747,4	487,8	13879,7
1987	1728,9	385,2	4877,5	833,3	49,8	0,0	321,3	497,7	2172,2	121,8	584,5	839,2	12411,4
1988	2330,6	78,3	95,3	24,5	849,1	31,9	11,2	127,4	482,9	165,5	918,9	392,6	5508,1
1989	254,1	0,0	560,0	557,0	42,2	0,0	94,9	184,5	54,3	333,6	332,0	1371,9	3784,5
1990	1449,3	1930,6	1317,7	1860,7	70,3	0,0	291,5	1,9	169,1	352,8	2671,1	4498,3	14613,3
1991	65,0	109,7	1098,5	5966,7	626,5	1052,9	401,3	137,6	26,3	283,4	199,2	2630,0	12597,1
1992	195,8	3783,4	868,5	2920,2	813,0	1700,9	402,1	36,8	433,4	153,4	119,2	880,7	12307,4
1993	2507,8	337,1	244,6	873,2	4366,6	58,4	80,7	0,0	223,0	1045,7	1791,4	969,5	12498,0
1994	0,0	3381,9	189,3	365,0	178,4	666,8	0,0	103,1	163,2	266,4	129,5	43,3	5486,9
1995	166,2	63,2	684,9	201,2	11,8	62,5	477,2	0,0	192,5	226,3	137,4	16,1	2239,3
1996	2627,0	650,3	684,4	2714,8	0,0	119,1	18,6	31,0	415,1	240,4	609,2	735,2	8845,1
1997	508,6	1409,9	478,5	558,3	1627,3	113,5	506,6	198,1	63,0	1692,4	2410,8	4095,8	13662,8
1998	6061,7	1536,9	2632,0	1387,5	66,2	1409,0	259,8	29,6	1368,3	106,2	480,8	496,1	15834,1
1999	0,0	1797,0	54,9	398,4	209,6	195,5	132,3	40,8	90,6	86,0	0,0	64,0	3069,1
2000	1553,9	225,1	948,0	430,4	1919,4	637,5	361,6	785,5	1559,2	427,3	901,6	361,7	10111,2
2001	1099,0	430,8	362,1	3028,5	2157,6	91,3	128,0	211,5	482,9	560,1	879,9	1304,1	10735,8
2002	1144,1	1302,4	1072,2	833,0	849,1	366,7	286,1	166,0	1260,7	825,0	1959,6	12762,7	22827,6
2003	1058,3	1966,5	2303,7	528,1	920,4	556,7	74,7	133,2	385,1	518,9	877,8	138,8	9462,2
Média	1144,1	1302,4	1072,2	833,0	849,1	366,7	286,1	211,5	482,9	560,1	879,9	1304,1	9292,1
Máx.	6061,7	4452,3	4877,5	5966,7	4366,6	1700,9	1416,2	1327,7	2172,2	1747,5	2747,4	12762,7	22827,6
Mín.	0,0	0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	0,0	0,0	16,1	2239,3
D.P.	1141,0	1198,8	1194,9	1168,1	1019,8	427,6	281,4	283,4	542,8	511,7	810,5	2204,5	4453,0
CV (%)	99,7	92,0	111,4	140,2	120,1	116,6	98,4	134,0	112,4	91,4	92,1	169,0	47,9

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 4 – Valores mensais, anuais e médios mensais e anuais do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1957	12,5	74,2	0,0	91,2	616,6	214,4	65,1	248,6	82,7	416,6	292,8	407,3	2522,0
1959	937,4	1382,0	420,9	1200,5	96,0	149,6	443,8	486,8	549,0	1316,9	137,1	160,0	7280,0
1960	544,2	88,4	1760,4	952,3	0,0	309,6	602,7	267,1	214,3	165,3	177,7	112,2	5194,2
1961	780,6	171,1	310,4	431,3	8,6	263,8	466,8	363,8	570,2	473,3	356,5	303,1	4499,5
1962	728,6	543,9	510,0	284,7	270,4	60,4	0,0	117,0	301,3	287,2	85,6	109,6	3298,7
1963	893,2	467,4	752,9	175,9	81,4	102,5	290,7	283,0	789,3	504,2	1214,2	280,4	5835,1
1964	33,0	1267,6	681,7	15,0	837,3	126,9	158,1	760,5	86,4	1866,5	0,0	0,0	5833,0
1965	0,0	150,3	939,4	296,9	73,0	95,3	19,6	883,1	987,3	244,6	216,5	481,6	4387,6
1966	728,6	543,9	510,0	284,7	270,4	713,1	3218,0	617,9	1094,5	316,9	258,4	916,9	9473,3
1967	132,1	440,9	381,9	15,4	904,8	310,1	99,8	931,7	741,8	527,8	785,9	71,9	5344,1
1968	1981,3	165,5	1241,0	103,2	38,5	0,0	15,5	363,8	570,2	382,0	845,8	670,2	6377,0
1969	866,8	164,8	49,9	0,0	387,9	222,8	269,1	409,8	26,7	181,6	466,1	13,2	3058,7
1970	1111,4	620,2	98,8	64,0	465,9	244,4	219,8	342,4	23,1	434,2	168,4	686,7	4479,3
1971	668,2	383,8	103,7	89,5	103,4	559,2	257,7	23,7	2296,8	92,6	89,7	340,6	5008,9
1972	805,6	976,9	328,0	0,0	133,1	187,6	365,2	221,5	316,2	479,3	448,7	0,0	4262,1
1973	816,0	474,9	0,0	180,3	401,2	204,9	753,3	146,3	53,3	54,0	142,5	33,2	3259,9
1974	1600,0	938,2	95,2	26,9	194,9	343,5	513,2	314,1	175,8	131,6	310,9	488,5	5132,8
1975	1416,1	630,9	466,2	44,0	207,5	85,5	53,8	259,5	1873,1	311,8	548,5	0,0	5896,9
1976	733,8	267,4	600,1	41,9	601,3	764,9	191,0	373,8	160,0	211,8	254,1	1092,0	5292,1
1977	765,5	86,8	562,6	402,6	92,0	305,8	1442,5	870,9	1123,8	1300,9	186,9	11,8	7152,1
1978	262,0	1165,3	78,2	629,2	45,7	265,2	463,7	10,6	1014,1	653,8	114,1	122,2	4824,1
1980	88,9	313,4	1784,4	1177,4	244,5	217,7	754,8	71,9	39,3	532,5	1063,1	367,1	6655,0
1981	852,7	1191,5	54,4	40,8	144,1	319,3	71,9	0,0	25,0	0,0	36,7	303,1	3039,5
Média	728,6	543,9	510,0	284,7	270,4	263,8	466,8	363,8	570,2	473,3	356,5	303,1	5135,0
Máx.	1981,3	1382,0	1784,4	1200,5	904,8	764,9	3218,0	931,7	2296,8	1866,5	1214,2	1092,0	9473,3
Mín.	0,0	74,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	0,0	0,0	0,0	2522,0
D.P.	505,4	414,6	510,7	367,2	259,2	190,8	684,5	279,4	610,8	449,1	329,2	306,2	1618,9
CV (%)	69,4	76,2	100,1	129,0	95,9	72,3	146,6	76,8	107,1	94,9	92,3	101,0	31,5

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação.

Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar as distribuições mensal e acumulada dos valores de erosividade para Quarai e Rio Grande, respectivamente.

Para Quarai (Figura 3) observa-se o máximo potencial erosivo da chuva entre dezembro e março e uma queda muito acentuada principalmente entre junho e agosto, o qual se reflete na menor declividade da curva de erosividade acumulada.

Na Figura 4, destaca-se para Rio Grande uma alta erosividade no mês de janeiro e observa-se a menor erosividade no período de abril a junho.

Cassol et al. (2004b) determinaram para Porto Alegre um valor do índice EI_{30} de 5242 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, valor mais próximo ao de Rio Grande que o determinado por Bertol

(1993) para Lages-SC de $5694 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (com precipitação média anual de 1674 mm). Dias & Silva (2003) encontraram um valor médio anual do índice EI_{30} de $6774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as chuvas de Fortaleza-CE, 19% maior que o determinado por Bertol (1993) para Lages-SC ($5694 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sendo o valor médio anual da precipitação obtido por ditos autores, praticamente igual (1676 e 1674 mm para Fortaleza-CE e Lages-SC respectivamente). Assim, considerando a ocorrência de solos similares espera-se maior perda de solo por erosão em Fortaleza-CE, comparado com Lages-SC.

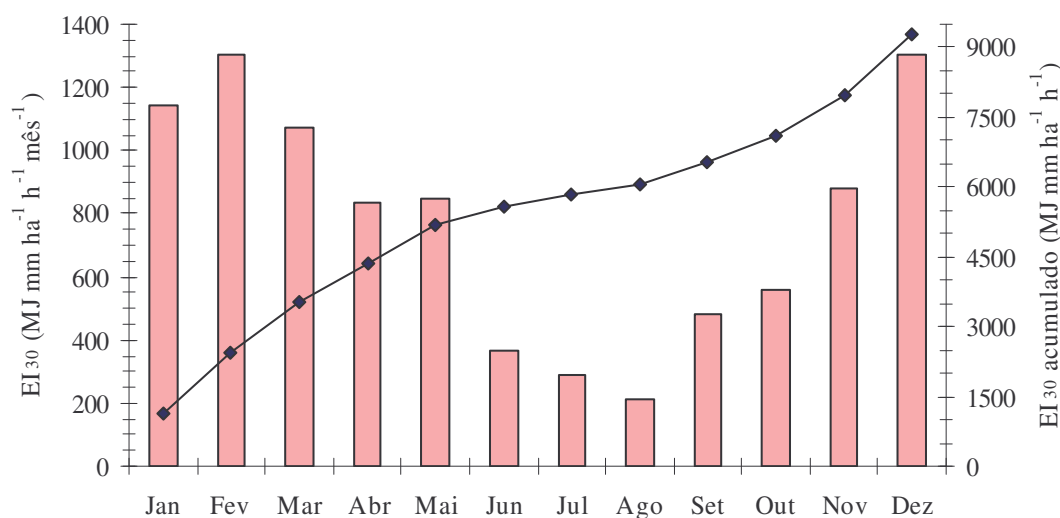


Figura 3 – Valores médios mensais e acumulados do índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003.

Os valores de erosividade encontrados para Quarai e Rio Grande no presente estudo concordam com valores de isoerodentes mapeadas no trabalho de Clérici & García Préchac (2001) para a região sul da bacia do Rio da Prata. No mapa citado, uma isoerodente com valor de erosividade de $9000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ passa perto de Quarai e uma isoerodente de $5000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ passa perto de Rio Grande. A situação é diferente quando comparado com as isoerodentes determinadas por Lago (2000) para a metade sul do Rio Grande do Sul. Quarai teria um valor coincidente, mas não acontece o mesmo no caso de Rio Grande, já que a isoerodente mapeada perto desta localidade é de $3000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e por tanto haveria uma diferença de ao redor de $2000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com o valor de erosividade

encontrado neste trabalho ($5135 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Essa diferença pode-se dever aos diferentes períodos considerados em cada estudo. Lago (2000) utilizou uma série de 9 anos de 1990 a 1998, enquanto no presente trabalho foi utilizado uma série de dados do período de 1957 a 1981 (excetuando 1958 e 1979), totalizando 23 anos.

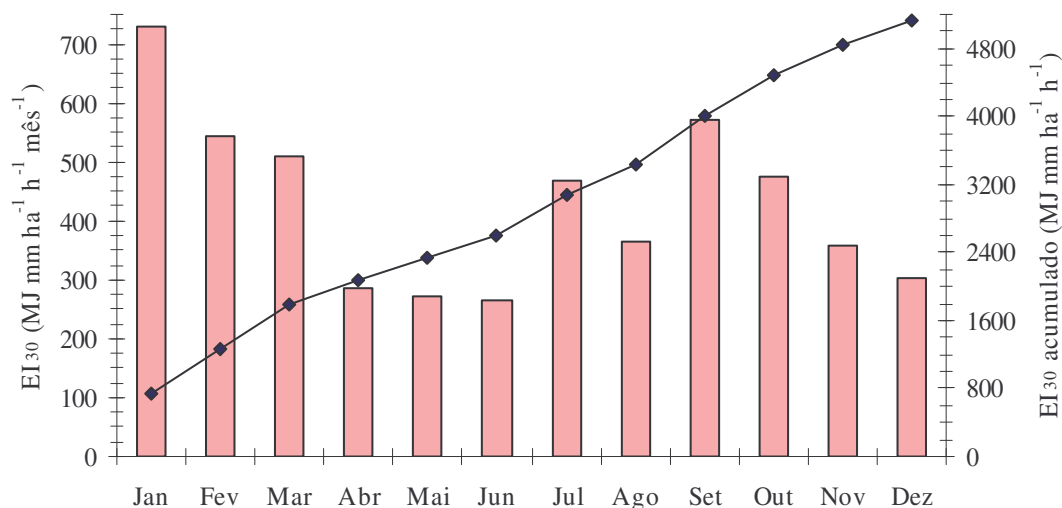


Figura 4 – Valores médios mensais e acumulados do índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Morais et al. (1991), estudando as localidades do sudoeste do Mato Grosso Barranquinho (dados de 9 anos, período 1970-1978) e Flechas (dados de 7 anos, período 1969-1972, 1975, 1976 e 1978), com precipitações de 1369 e 1316 mm respectivamente, similares às do presente trabalho, encontraram valores médios anuais do índice EI_{30} de 8493 e 7830 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, intermediários aos obtidos para Quarai e Rio Grande.

Soriano et al. (2001) encontraram diferenças no regime pluviométrico na bacia do alto Taquari no Pantanal-MS em dois períodos (1969-70/1972-73 e 1973-74/1987-88), o que se refletiu num aumento do potencial erosivo da chuva estimado pelo índice EI_{30} utilizando a equação da forma $EI_{30} = a (p^2/P)^b$ proposta por Lombardi Neto (1977).

As variações de clima encontradas nas diferentes localidades (embora sejam classificadas como do mesmo tipo de clima como é o caso de Quarai e Rio Grande) ressaltam a importância de realizar estudos de erosividade locais. Dessa forma se contará como

informações mais seguras para a planificação de estruturas de conservação de solo e outras obras, e de práticas agrícolas conservacionistas.

Wischmeier & Smith (1958) e Wischmeier (1959) nos Estados Unidos e Lal (1976) na Nigéria, encontraram correlações significativas entre o índice EI_{30} e as perdas de solo. No Brasil, foram desenvolvidos trabalhos similares por Lombardi Neto (1977) no Estado do São Paulo; Biscaia et al. (1981) no Estado do Paraná; Morais et al. (1988a) em Guaíba, Ijuí e Santa Maria-RS; Carvalho et al. (1989) em Mococa-SP; Carvalho et al. (1993) em Campinas-SP; Carvalho et al. (1997) em Pindorama-SP, encontrando-se em todos os casos correlações significativas entre o índice de erosividade EI_{30} e as perdas de solo.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam a precipitação, o índice de erosividade e o coeficiente de chuva Rc médios mensais e anuais com os respectivos valores relativos (%) para Quaraí e Rio Grande, respectivamente. A partir desses valores obteve-se a curva de distribuição mensal e acumulada do coeficiente de chuva Rc em função do tempo (Wischmeier & Smith, 1958), observados nas Figuras 5 e 6 para Quaraí e Rio Grande respectivamente.

Tabela 5 – Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (p), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva (Rc) de Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003.

Mês	p		EI_{30}		Rc	
	Mm	%	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹	%	mm	%
Jan	145,0	10,7	1144,1	12,3	15,5	13,0
Fev	152,4	11,2	1302,4	14,0	17,1	14,4
Mar	132,8	9,8	1072,2	11,5	13,0	10,9
Abr	132,2	9,7	833,0	9,0	12,9	10,8
Mai	117,8	8,7	849,1	9,1	10,2	8,6
Jun	86,3	6,3	366,7	3,9	5,5	4,6
Jul	88,7	6,5	286,1	3,1	5,8	4,9
Ago	64,4	4,7	211,5	2,3	3,1	2,6
Set	89,5	6,6	482,9	5,2	5,9	4,9
Out	109,4	8,0	560,1	6,0	8,8	7,4
Nov	115,3	8,5	879,9	9,5	9,8	8,2
Dez	125,5	9,2	1304,1	14,0	11,6	9,7
Total anual	1359,4	100,0	9292,1	100,0	-	100,0

Pode-se observar para Quaraí (Tabela 5), que a tendência de distribuição dos valores percentuais da precipitação e do coeficiente de chuva é similar em função de que o coeficiente

de chuva considera a precipitação mensal e a anual. Embora com similar tendência nas três variáveis, há uma relativa melhor distribuição temporal das precipitações comparado às distribuições da erosividade e do coeficiente de chuva obtidos. Assim, observam-se valores extremos da precipitação de 4,7 a 11,2%, que são maiores no período janeiro-abril (9,7-11,2%) e menores em junho-setembro (4,7-6,6%). As distribuições da erosividade e do coeficiente de chuva apresentam maior amplitude entre os valores extremos que vão de 2,3 a 14% e de 2,6 a 14,4% respectivamente. Os valores maiores também se observam em janeiro-abril com 9-14% e 10,8-14,4% para erosividade e coeficiente de chuva respectivamente, e os menores em junho-setembro com 2,3-5,2% e 2,6-4,9% para erosividade e coeficiente de chuva respectivamente. Na Figura 5 pode-se visualizar a distribuição comentada do coeficiente de chuva.

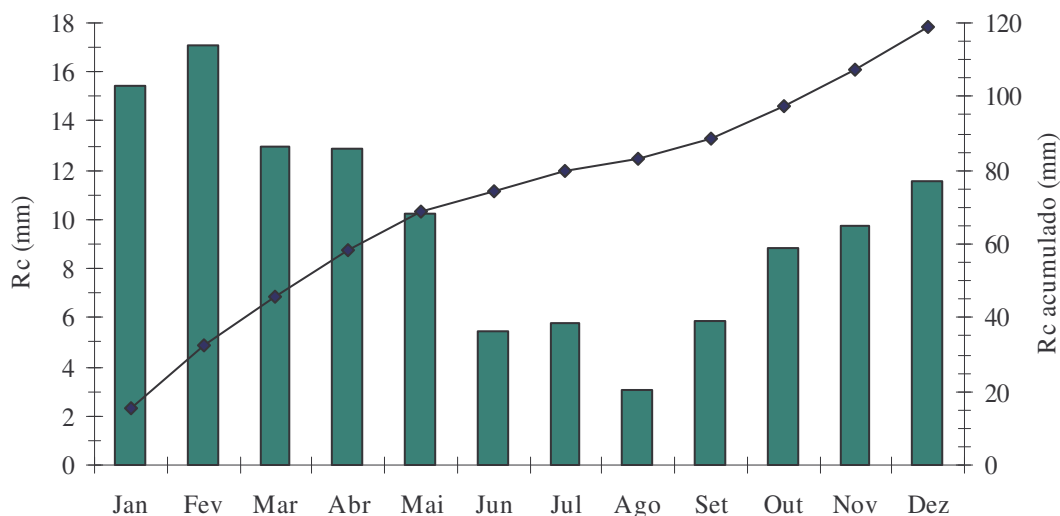


Figura 5 – Valores médios mensais e acumulados do coeficiente de chuva Rc (mm) em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003.

Na Tabela 6 pode-se observar dados de precipitação, erosividade e coeficiente de chuva absolutos e relativos de Rio Grande. A distribuição temporal dos valores de precipitação é menos homogênea que os de Quarai. Ao igual que para Quarai, a tendência de distribuição dos valores percentuais da precipitação e do coeficiente de chuva é similar em função de que o coeficiente de chuva considera a precipitação mensal e a anual. Observam-se os maiores

valores entre julho e setembro (10,7-11,5% e 13,0-15,0% para precipitação e coeficiente de chuva respectivamente) e os menores valores em abril-maio e novembro-dezembro (5,7-6,7% e 5,9-6,6% para a precipitação e 3,7-5,1% e 4,0-5,0% para o coeficiente de chuva, respectivamente). Esta distribuição difere quando comparada à distribuição dos valores da erosividade que apresenta os valores máximos em janeiro (14,2%), fevereiro (10,6%) e setembro (11,1%), e os valores mínimos entre abril e junho (5,1-5,5%) e dezembro (5,9%), mostrando isto que a erosividade depende da intensidade da chuva. A distribuição do coeficiente de chuva comentada acima pode-se visualizar na Figura 6.

Tabela 6 – Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (P), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva de Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Mês	Precipitação pluvial (p)		Índice de erosividade EI_{30}		Coeficiente de chuva (Rc)	
	Mm	%	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹	%	mm	%
Jan	115,6	8,9	728,6	14,2	10,3	9,0
Fev	93,8	7,2	543,9	10,6	6,8	5,9
Mar	109,7	8,4	510,0	9,9	9,3	8,1
Abr	73,6	5,7	284,7	5,5	4,2	3,7
Mai	86,9	6,7	270,4	5,3	5,8	5,1
Jun	110,6	8,5	263,8	5,1	9,4	8,3
Jul	149,0	11,5	466,8	9,1	17,1	15,0
Ago	143,0	11,0	363,8	7,1	15,7	13,8
Set	138,8	10,7	570,2	11,1	14,8	13,0
Out	117,0	9,0	473,3	9,2	10,5	9,2
Nov	85,8	6,6	356,5	6,9	5,7	5,0
Dez	76,9	5,9	303,1	5,9	4,5	4,0
Total anual	1300,7	100,0	5135,0	100,0	-	100,0

As curvas das distribuições de precipitação, índice EI_{30} e coeficiente de chuva têm sido muito similares em média ao longo do ano em Quaraí (Figura 7).

Pode-se observar que os três parâmetros começam com valores altos no mês de janeiro, logo fazem um pico no mês de fevereiro, o qual é o maior do ano para precipitação e coeficiente de chuva. Continuando no decorrer do ano, os valores vão caindo até chegar ao mínimo no mês de agosto. A partir desse mês os valores começam a subir e o índice EI_{30} alcança seu valor máximo no mês de dezembro. Nos meses de janeiro, fevereiro, março, maio, novembro e dezembro, a erosividade ultrapassou a precipitação, sugerindo maior potencial

erosivo das chuvas nesses meses. Ao contrário, nos mês de abril e no período junho-outubro a erosividade ficou abaixo da precipitação. Isto indica o efeito preponderante da intensidade da chuva em caracterizar o seu potencial erosivo (Wischmeier & Smith, 1958).

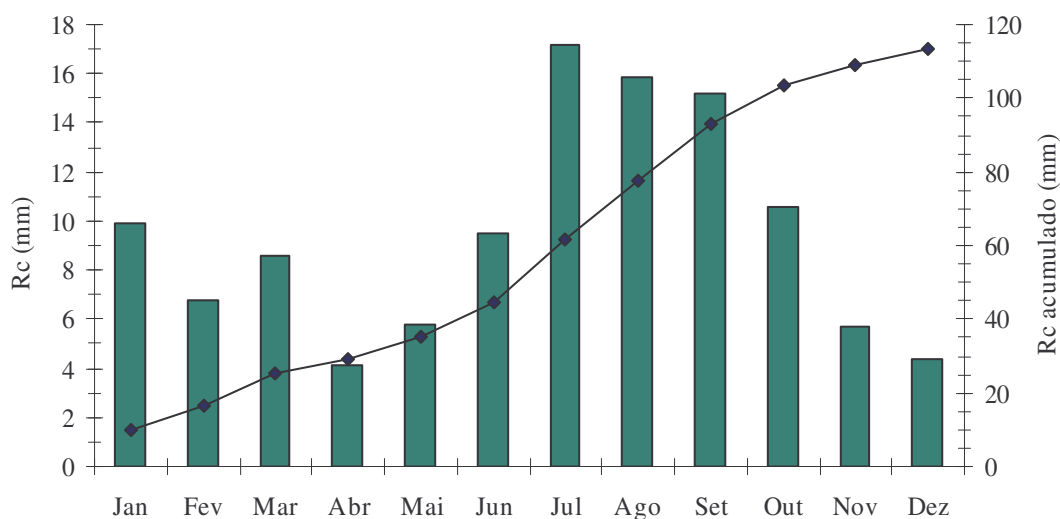


Figura 6 – Valores médios mensais e acumulados do coeficiente de chuva Rc (mm) em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Para Rio Grande, as distribuições dos parâmetros estudados seguem em geral uma tendência similar ao longo do ano e as curvas não ficam tão próximas umas das outras (Figura 8), quando comparadas com o observado para Quaraí (Figura 7).

Em Quaraí, o período de outubro a maio, caracterizado por ter apresentado valores de erosividade maiores que $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, considerados críticos (Bertol, 1994), concentrou 85,4% da erosividade anual (Figura 9). Nesse período, coincidindo com práticas de preparo de solo para semeaduras de culturas de verão e de inverno, aumentam os riscos de perdas de solo.

Os períodos com erosividade crítica em Rio Grande foram janeiro a março, concentrando 34,7% da erosividade anual, o mês de julho, com 9,1%, e setembro a outubro com 20,3% do total (Figura 10). Pode-se esperar alto risco de erosão nesses períodos, em caso de coincidir com práticas de preparo em que o solo fica descoberto.

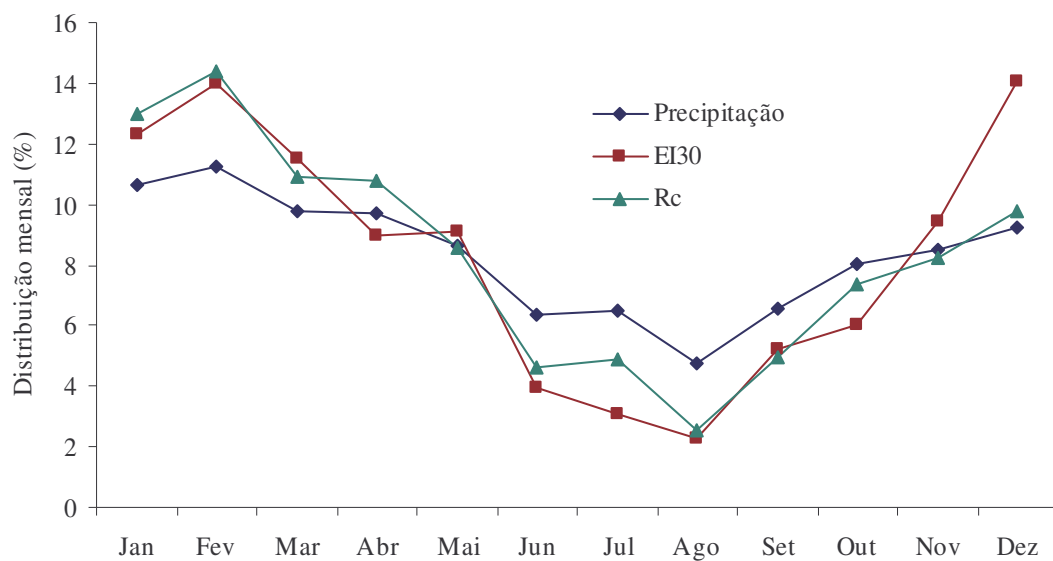


Figura 7 – Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI₃₀ e coeficiente de chuva em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003.

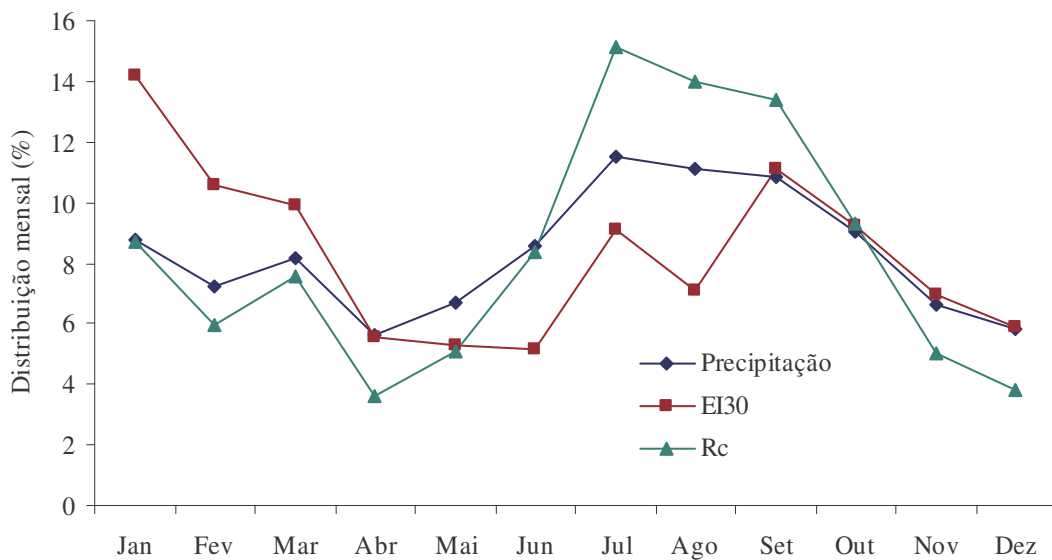


Figura 8 – Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI₃₀ e coeficiente de chuva em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

O conhecimento da distribuição da erosividade durante o ano, contribui para o planejamento adequado das práticas conservacionistas do solo que permitam reduzir os riscos de erosão.

As análises de correlação de Pearson mostraram para Quarai uma alta correlação do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação ($r = 0,92$; significativo ao nível de 0,01%) e com o coeficiente de chuva ($r = 0,92$; significativo ao nível de 0,01%). Para Rio Grande, não foi encontrada correlação significativa do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação ($r = 0,44$) nem com o coeficiente de chuva ($r = 0,41$).

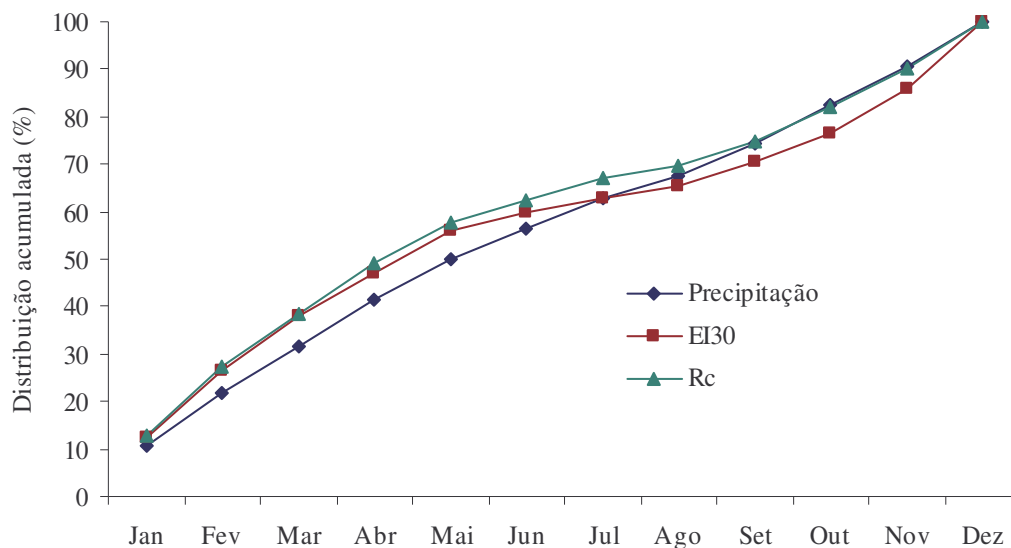


Figura 9 – Distribuição percentual acumulada da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Quarai-RS, obtidos em 1966-2003.

Na Tabela 7 pode-se observar as regressões lineares obtidas para Quarai e Rio Grande. Para Quarai as regressões lineares encontradas foram altamente significativas, sendo as equações $EI_{30} = -754,37 + 13,50 p$; $r^2 = 0,85$ (significativo ao nível de 0,01%), onde p = precipitação média mensal (mm) e $EI_{30} = -47,35 + 82,72 Rc$; $r^2 = 0,84$ (significativo ao nível de 0,01%), onde Rc = coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, sendo p = precipitação média anual (mm) e P = precipitação média anual (mm). Para Rio Grande as regressões lineares encontradas não foram significativas, encontrando-se as equações $EI_{30} = 176,14 + 2,34 p$, com $r^2 = 0,18$ e EI_{30}

= $312,59 + 12,18 Rc$; $r^2 = 0,15$. Assim é possível utilizar as equações de Quarai para determinar o índice EI_{30} através do uso de dados pluviométricos mensais e anuais, enquanto que o método não é recomendável para Rio Grande. Para esta localidade, em função de que os valores do coeficiente de determinação foram muito baixos (0,18 e 0,15) para uma série de 23 anos, espera-se que a ampliação do período de análise não alteraria de forma significativa os resultados (Escalante & Reyes, 2004).

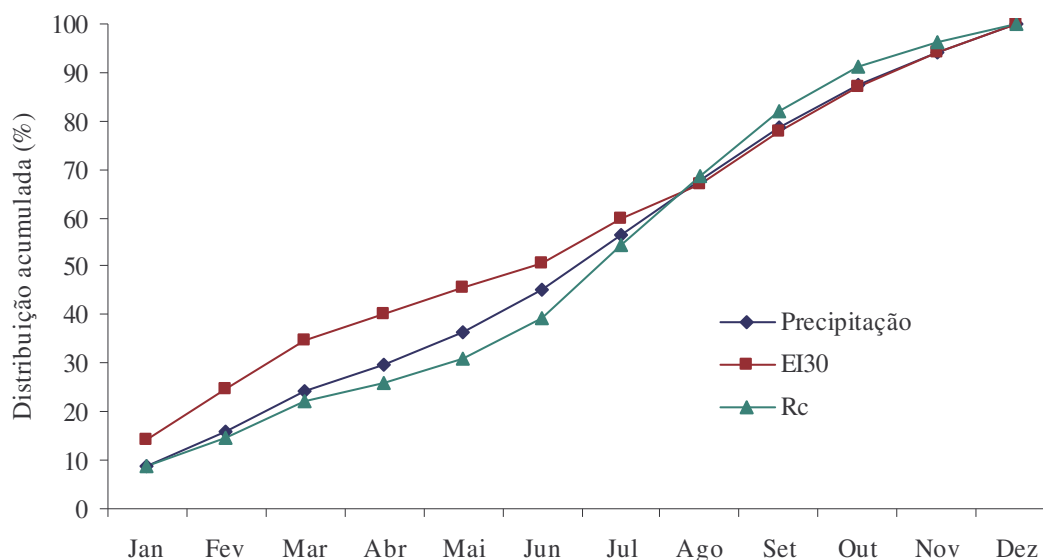


Figura 10 – Distribuição percentual acumulada da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Correlações significativas entre o índice EI_{30} e o coeficiente de chuva Rc foram observadas por outros autores em diferentes localidades, tais os casos de oito regiões do estado do Paraná (Rufino et al., 1993), Goiânia-GO (Silva et al., 1997) e Fortaleza-CE (Silva & Días, 2003). Estes últimos autores também encontraram uma regressão significativa sob a forma de potência para as variáveis consideradas, da mesma forma que Lombardi Neto (1977) para Campinas-SP, Moraes et al. (1991) para o sudoeste de Mato Grosso do Sul, Carvalho et al. (1997) para Selvíria-MS e Roque et al. (2001) para Piraju-SP.

Tabela 7 – Equações de regressão linear entre o índice EI₃₀ vs. Precipitação e o índice EI₃₀ vs. Coeficiente de chuva para Quaraí e Rio Grande, com os respectivos coeficientes de determinação (r²) e variação (CV).

Local	Equação	r ²	CV (%)
Quaraí	EI ₃₀ = -754,37 + 13,50 p ⁽¹⁾	0,85 ^{****}	20,24
	EI ₃₀ = -47,35 + 82,72 Rc	0,84 ^{****}	20,77
Rio Grande	EI ₃₀ = 157,23 + 2,50 p ⁽¹⁾	0,20 ^{NS}	31,87
	EI ₃₀ = 273,88 + 12,25 Rc	0,27 ^{NS}	26,81

p: Precipitação média mensal (mm). Rc: Coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, onde p = precipitação média mensal (mm), P = precipitação média anual (mm). ⁽¹⁾: Para $p > 55,8$. r²: Coeficiente de determinação. CV: Coeficiente de variação. ****: Significativo a nível de 0,01%. NS: Não significativo.

Correlações não significativas de regressões lineares do índice EI₃₀ com a precipitação e com o coeficiente de chuva Rc também foram encontradas por Bertol (1994) para a localidade de Campos Novos-SC.

b. Padrões de chuva

Nas Tabelas 8 e 9 pode-se observar a distribuição dos padrões hidrológicos das chuvas para os períodos estudados de Quaraí e Rio Grande, respectivamente.

Observa-se que aproximadamente metade das chuvas erosivas (51,1% e 45,6% para Quaraí e Rio Grande, respectivamente) foi classificada dentro do padrão avançado. Para Quaraí o restante das chuvas estiveram quase por partes iguais classificadas no padrão intermediário (24,9%) e no padrão atrasado (24,0%). Em Rio Grande foi observada apenas uma quantidade maior dentro do padrão atrasado (28,7%) comparado com as chuvas do padrão intermediário (25,6%).

Tabela 8 – Valores médios anuais por padrão e total das chuvas erosivas de Quaraí, obtidos em 1966-2003.

Variável	Unidade	Padrões de chuva erosiva individual				Total das chuvas
		Avançado	Intermediário	Atrasado	Total	
Quantidade	Nº	19,4	9,4	9,1	37,9	85,6
	% das chuvas erosivas	51,1	24,9	24,0	100,0	
	% do total das chuvas	22,7	11,0	10,6	44,3	100,0
Precipitação	mm	698,5	302,8	228,1	1229,4	1359,4
	% das chuvas erosivas	56,8	24,6	18,6	100,0	
	% do total das chuvas	51,4	22,3	16,8	90,4	100,0
Índice EI ₃₀	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	5321,2	2350,7	1620,1	9292,0	9292,0
	%	57,3	25,3	17,4	100,0	100,0

Em relação ao número total de chuvas anuais, as chuvas erosivas representam 44,3% em Quaraí (Tabela 8) e 32,6% em Rio Grande (Tabela 9).

Observa-se que a precipitação erosiva representa 90,4% da precipitação total em Quaraí e 99,3% em Rio Grande (Tabelas 8 e 9 respectivamente). Em relação ao número total de chuvas anuais, as chuvas erosivas representam 44,3% em Quaraí (Tabela 8) e 32,6% em Rio Grande (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores médios anuais por padrão e total das chuvas erosivas de Rio Grande, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979.

Variável	Unidade	Chuva erosiva individual				Total das chuvas
		Avançado	Intermediário	Atrasado	Total	
Quantidade	Nº	16,6	9,3	10,4	36,3	111,5
	% das chuvas erosivas	45,6	25,6	28,7	100,0	
	% do total das chuvas	14,9	8,3	9,4	32,6	100,0
Precipitação	mm	617,1	362,3	312,7	1292,1	1300,7
	% das chuvas erosivas	47,8	28,0	24,2	100,0	
	% do total das chuvas	47,4	27,9	24,0	99,3	100,0
Índice EI ₃₀	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	2519,8	1481,9	1133,4	5135,0	5135,0
	%	49,1	28,9	22,1	100,0	100,0

Observa-se que a precipitação erosiva representa 90,4% da precipitação total em Quaraí e 99,3% em Rio Grande (Tabelas 8 e 9 respectivamente).

Considerando o volume da precipitação erosiva anual, em Quaraí (Tabela 8) a maior proporção correspondeu a chuvas do padrão avançado (56,8%), seguido do padrão intermediário (24,6%) e do padrão atrasado (18,6%). Algo similar ocorre para Rio Grande (Tabela 9), onde o 47,8% do volume da precipitação erosiva correspondeu a chuvas do padrão avançado, 28,0% a chuvas do padrão intermediário e 24,2% a chuvas do padrão atrasado.

Em Quaraí (Tabela 8), 57,3% da erosividade correspondeu a chuvas de padrão avançado, 25,3% a chuvas de padrão intermediário e 17,4% a chuvas de padrão atrasado. Em Rio Grande (Tabela 9), a erosividade correspondeu em 49,1; 28,9 e 22,1% a chuvas classificadas nos padrões avançado, intermediário e atrasado, respectivamente.

A distribuição das chuvas concentrada no padrão avançado permite esperar menores perdas de solo devido a que no momento do pico da chuva o solo estaria menos úmido que no caso dos outros padrões e dessa forma a desagregação, selamento e transporte de solo seria menor (Mehl et al., 2001). Eltz et al. (2001), trabalhando com simulador de chuva em um Argissolo Vermelho-Amarelo observaram maior perda de solo em chuvas de padrão atrasado em relação às perdas de solo das chuvas de padrão intermediário e avançado, entre as quais não houve diferenças significativas, o que foi explicado pelas condições de alteração da superfície e a umidade do solo no decorrer da chuva. No padrão atrasado, quando ocorre o pico de máxima intensidade o solo está com maior umidade (em relação aos outros padrões), favorecendo a desagregação, o selamento superficial e o transporte das partículas de solo, ocorrendo assim maiores perdas de solo.

c. Período de retorno

Em Quaraí, os valores de precipitação máxima observados para as durações da chuva de 1/6 e 1/3 de hora foram 40,0 e 50,0 mm respectivamente no ano 1973, enquanto no ano 2002 ocorreram as máximas precipitações para as durações da chuva de 1/2, 1, 2, 4, 8, 12, 24 e 48 horas alcançando respectivamente 63,5; 99,5; 151,4; 216,8; 262,8; 265,5; 266,6 e 287,1 (Tabela 10).

Tabela 10 – Precipitação máxima (mm) para diferentes durações em Quaraí-RS, obtidos em 1966-2003, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Duração da chuva (horas)									
	1/6	1/3	1/2	1	2	4	8	12	24	48
1966	20,0	26,7	30,3	41,7	42,0	42,8	43,0	44,6	58,5	91,5
1967	20,0	32,0	36,0	50,0	62,2	71,2	81,9	88,6	88,6	96,4
1968	10,5	19,5	24,0	25,3	38,2	47,6	55,7	66,4	75,3	109,8
1969	17,5	22,6	25,5	31,6	45,8	62,8	77,2	97,4	127,2	127,2
1970	15,0	24,0	30,0	39,0	45,4	62,0	87,6	103,9	103,9	103,9
1971	20,0	24,1	27,2	44,4	61,0	67,2	71,0	74,3	75,8	75,8
1972	20,0	40,0	56,0	71,6	79,8	93,2	113,6	145,0	165,9	165,9
1973	40,0	50,0	54,7	59,1	70,4	75,2	84,0	110,0	157,1	185,1
1974	19,2	29,2	31,8	45,4	63,4	90,8	94,1	99,7	99,7	99,7
1975	20,0	29,3	32,4	37,6	51,8	57,2	64,7	71,8	72,6	72,6
1976	20,0	30,0	36,7	41,0	54,2	57,6	61,3	87,4	87,4	87,4
1977	20,0	30,0	40,0	67,1	70,0	70,0	70,0	71,2	73,3	86,8
1978	14,0	20,8	27,5	31,6	45,6	64,4	86,8	97,3	165,7	176,5
1979	20,0	35,0	43,4	58,5	72,2	101,6	112,8	113,3	113,3	142,3
1980	18,6	23,6	28,6	37,6	50,0	61,2	95,7	97,8	103,4	148,9
1981	17,0	25,0	34,9	45,4	72,2	106,0	149,4	151,7	185,3	186,0
1982	20,6	31,3	41,6	50,0	60,0	96,8	127,9	128,4	128,4	128,4
1983	20,3	30,5	40,5	40,6	41,0	41,2	43,8	45,1	52,8	52,8
1984	20,0	30,2	37,2	51,2	67,8	97,2	100,1	106,8	107,4	122,1
1985	18,1	29,7	36,0	56,0	68,0	68,0	72,7	73,9	73,9	73,9
1986	30,0	36,7	41,1	53,6	65,2	86,4	104,6	105,1	105,1	105,1
1987	27,8	32,5	36,8	56,7	63,6	98,4	124,0	144,3	121,2	186,8
1988	12,6	17,7	23,9	36,7	50,8	68,4	89,5	96,0	96,2	186,2
1989	14,0	21,0	21,9	29,8	38,6	40,4	54,1	56,0	56,0	79,5
1990	20,6	29,6	36,6	61,0	90,0	130,4	178,1	227,3	227,4	227,4
1991	18,7	28,9	39,2	62,5	77,8	115,2	168,8	190,8	211,3	239,5
1992	24,1	30,3	37,0	47,4	59,6	70,8	122,9	133,3	142,5	154,8
1993	17,1	28,1	34,4	55,5	84,4	103,2	189,6	191,5	191,5	220,0
1994	32,0	32,7	41,2	77,4	91,8	92,0	98,1	98,1	98,1	98,1
1995	18,4	20,3	20,4	21,2	25,6	32,0	41,8	41,8	45,6	56,0
1996	15,2	23,8	35,5	51,7	54,8	80,0	86,0	97,7	133,5	152,3
1997	21,0	27,3	32,2	49,7	56,2	81,2	93,0	139,8	150,0	197,9
1998	26,5	31,0	44,7	51,9	66,6	80,4	101,3	111,7	175,4	175,8
1999	20,0	30,0	32,3	38,1	40,8	42,8	57,5	59,5	60,2	136,2
2000	19,5	29,5	37,6	43,0	48,6	58,0	70,3	72,2	72,2	72,2
2001	20,0	30,0	32,0	35,9	48,4	64,8	70,3	100,8	128,1	155,9
2002	33,5	48,5	63,5	99,5	151,4	216,8	262,8	265,5	266,4	287,1
2003	20,0	30,0	46,9	52,5	58,6	65,6	69,2	69,7	90,7	91,4
Média	20,6	29,2	36,1	48,7	61,4	77,9	96,7	107,3	118,1	135,7
Máx.	40,0	50,0	63,5	99,5	151,4	216,8	262,8	265,5	266,4	287,1
Mín.	10,5	17,7	20,4	21,2	25,6	32,0	41,8	41,8	45,6	52,8
D.P.	5,8	6,7	9,1	15,0	21,2	32,3	45,0	48,8	52,1	56,1
CV (%)	28,1	23,1	25,3	30,8	34,5	41,4	46,6	45,5	44,2	41,3

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação.

Na Tabela 11, observa-se a precipitação máxima para diferentes durações de chuva na localidade de Rio Grande. No ano 1959 ocorreu a máxima precipitação para a duração de chuva de 1/6 horas, sendo que nos anos restantes a precipitação máxima foi igual (10 mm).

Tabela 11 – Precipitação máxima (mm) para diferentes durações em Rio Grande-RS, obtidos em 1957-1981, com exceção de 1958 e 1979, com respectivas medidas estatísticas de dispersão.

Ano	Duração da chuva (horas)									
	1/6	1/3	1/2	1	2	4	8	12	24	48
1957	10,0	14,9	15,9	19,4	29,6	37,2	54,5	74,1	92,6	92,6
1959	14,0	20,0	30,0	45,9	46,2	62,4	92,6	110,4	121,7	127,9
1960	10,0	20,0	30,0	55,0	72,6	74,8	81,8	88,1	88,1	88,1
1961	10,0	20,0	27,1	32,9	39,0	44,0	44,5	52,2	52,2	52,2
1962	10,0	12,3	14,6	15,9	24,2	40,0	64,1	68,0	78,3	78,3
1963	10,0	20,0	30,0	32,5	43,0	46,0	72,9	89,7	99,2	101,0
1964	10,0	20,0	30,0	60,0	82,6	100,8	122,6	123,6	126,5	141,3
1965	10,0	15,5	20,0	29,0	32,0	36,8	59,9	67,2	73,3	132,2
1966	10,0	20,0	30,0	60,0	111,6	132,0	139,8	141,1	148,7	151,3
1967	10,0	20,0	30,0	42,1	42,6	60,4	75,0	81,9	87,0	92,5
1968	10,0	20,0	30,0	50,0	50,8	58,8	60,0	60,0	73,0	91,8
1969	10,0	20,0	22,2	30,5	34,2	40,4	64,8	67,3	93,0	115,0
1970	10,0	20,0	30,0	32,1	48,0	64,0	70,7	79,4	104,0	104,0
1971	10,0	20,0	30,0	60,0	110,0	129,2	145,8	148,0	148,0	148,0
1972	10,0	20,0	30,0	37,5	43,4	47,2	61,9	63,3	69,1	93,6
1973	10,0	12,2	14,5	20,3	26,0	38,4	60,6	67,5	101,6	102,1
1974	10,0	20,0	25,0	33,8	43,8	51,2	68,5	72,7	109,6	109,6
1975	10,0	20,0	29,3	41,7	60,0	99,6	121,4	138,8	143,8	143,8
1976	10,0	20,0	23,9	32,2	45,8	58,8	64,5	84,2	114,8	125,0
1977	10,0	20,0	30,0	36,8	51,8	70,4	78,6	91,8	136,3	152,3
1978	10,0	20,0	27,7	37,7	45,0	63,2	57,9	80,9	83,5	120,7
1980	10,0	20,0	30,0	39,6	43,4	48,4	60,8	77,1	96,4	141,6
1981	10,0	20,0	30,0	58,7	59,2	59,2	59,3	59,3	59,3	59,3
Média	10,2	18,9	26,5	39,3	51,5	63,6	77,5	86,4	100,0	111,5
Máx.	14,0	20,0	30,0	60,0	111,6	132,0	145,8	148,0	148,0	152,3
Mín.	10,0	12,2	14,5	15,9	24,2	36,8	44,5	52,2	52,2	52,2
D.P.	0,8	2,5	5,4	13,1	23,1	27,3	27,9	27,5	27,7	28,6
CV (%)	8,2	13,3	20,3	33,5	44,9	42,9	36,1	31,8	27,7	25,6

Máx.: Valor máximo da série. Mín.: Valor mínimo da série. D.P.: Desvio padrão. CV: Coeficiente variação.

Excetuando 4 anos (1957, 1962, 1965 e 1973), a precipitação máxima alcançada na duração de 1/3 horas foi de 20 mm. Em 13 anos do período estudado alcançaram-se 30 mm de chuva como precipitação máxima para a duração de 1/2 horas. Na duração de 1 hora de

chuva, a máxima precipitação observada foi de 60 mm em 1964, 1966 e 1971. Para uma duração da chuva de 2, 4 e 24 horas, o ano de 1966 apresentou os maiores valores sendo 111,6; 132,0 e 148,7 mm respectivamente. O ano de 1971 foi o que apresentou as máximas precipitações nas durações de 8 e 12 horas de chuva, respectivamente 145,8 e 148,0 mm, enquanto para a duração de 48 horas, com 152,3 mm o ano de 1977 teve a máxima precipitação do período.

Em função da metodologia empregada para obter os dados de precipitação máxima para as diferentes durações da chuva, os valores aqui apresentados poderiam diferir com os obtidos por IPAGRO (1989), a qual considera a quantidade de chuva entre um período fixo de tempo, ou seja, 24 horas tanto para valores de pluviômetro, quanto pluviógrafo. No presente trabalho é considerada a precipitação máxima para a duração estabelecida em qualquer período de tempo, ou seja, é considerada a data do início de uma chuva erosiva individual, independente de quantos dias possa ter durado.

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os valores de intensidade média, desvio padrão e parâmetro α para diferentes durações da chuva das localidades de Quaraí e Rio Grande, respectivamente, calculados mediante o programa *Freqrisk* (Kite, 1988). Aplicando esses valores nas equações (1), (2) e (3), detalhadas no capítulo 3 – Material e Métodos, é possível calcular o período de retorno para uma determinada intensidade e duração da chuva.

Utilizando as equações (5) e (6) pode-se determinar a intensidade máxima de chuva para determinado período de retorno e duração de chuva.

Tabela 12 – Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (δ) e parâmetro α para diferentes durações da chuva em Quaraí-RS.

Duração	μ	δ	α
h	-----mm h ⁻¹ -----		
1/6	20,66	10,4355163	0,12310
1/3	29,45	14,6082169	0,08796
1/2	36,20	18,1989011	0,07061
1	48,47	25,1634656	0,05107
2	60,82	31,5974683	0,04067
4	76,52	41,3279566	0,03109
8	93,57	52,1152569	0,02466
12	103,90	58,4208867	0,02199
24	114,50	64,9076267	0,01980
48	132,20	74,3437960	0,01728

Tabela 13 – Valores da intensidade média (μ), desvio padrão (δ) e parâmetro α para diferentes durações da chuva em Rio Grande-RS.

Duração	μ	δ	α
h	-----mm h ⁻¹ -----		
1/6	10,07	5,4175640	0,23720
1/3	17,92	3,2062439	-0,40080
1/2	25,96	14,5842381	0,08810
1	37,71	22,3494966	0,05749
2	48,51	29,2882229	0,04387
4	60,06	35,9165700	0,03578
8	74,05	42,8485706	0,02999
12	83,10	47,6130234	0,02699
24	96,82	55,3624421	0,02321
48	108,30	61,8950725	0,02076

A intensidade da chuva para as durações e períodos de retorno utilizados neste trabalho, analisados pela distribuição extrema tipo I (Gumbel, 1958) para Quaraí e Rio Grande é apresentada nas Tabelas 14 e 15 respectivamente.

Tabela 14 – Intensidade máxima da chuva calculada pelo método da distribuição extrema tipo 1 (Gumbel, 1958) para durações e períodos de retorno selecionados em Quaraí-RS.

Duração	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
h	-----mm h ⁻¹ -----					
1/6	113,6	168,8	205,4	240,5	285,9	320,0
1/3	81,1	119,8	145,4	170,0	201,7	225,5
1/2	66,4	98,5	119,8	140,2	166,6	186,3
1	44,3	66,5	81,2	95,3	113,6	127,2
2	27,8	41,7	51,0	59,8	71,3	79,9
4	17,4	26,6	32,6	38,4	45,9	51,5
8	10,6	16,4	20,2	23,8	28,6	32,1
12	7,9	12,2	15,0	17,7	21,3	23,9
24	4,3	6,7	8,3	9,8	11,8	13,2
48	2,5	3,9	4,8	5,6	6,8	7,6

Tabela 15 – Intensidade máxima da chuva calculada pelo método da distribuição extrema tipo 1 (Gumbel, 1958) para durações e períodos de retorno selecionados em Rio Grande-RS.

Duração	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
H	-----mm h ⁻¹ -----					
1/2	47,1	72,8	89,9	106,2	127,4	143,2
1	34,0	53,7	66,8	79,3	95,5	107,7
2	21,8	34,8	43,3	51,5	62,2	70,1
4	13,5	21,5	26,7	31,7	38,2	43,1
8	8,4	13,1	16,2	19,2	23,1	26,0
12	6,3	9,8	12,1	14,3	17,2	19,3
24	3,7	5,7	7,0	8,3	10,0	11,3
48	2,0	3,2	3,9	4,7	5,6	6,3

Denardin et al. (1980) propuseram para Rio Grande a equação $I = 774,14 T^{0,23} [(t + 6.9)^{0,74}]^{-1}$ ($r^2 = 0,9963$), onde I é a intensidade máxima média da chuva, em mm h⁻¹, T é o período de retorno (anos), e t é o tempo de duração da chuva, em minutos. Para o período de retorno de 2 anos e os tempos de duração das chuvas estudados (1/2, 1, 2, 4, 8, 12, 24 e 48 horas), as intensidades máximas encontradas para Rio Grande no presente trabalho foram entre 9,5% (para 12 horas) a 25,1% (para 1/2 hora) menores do que as intensidades obtidas quando se aplica a equação proposta por Denardin et al. (1980). No presente trabalho, para os tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos as intensidades máximas para um tempo de duração de chuva de 1/2 hora foram menores (entre 0,5%, período de retorno de 20 anos, e 7,4%, período de retorno de 100 anos), comparadas com aquelas obtidas mediante a equação de Denardin et al. (1980). Para os tempos de duração da chuva de 1, 2, 4, 8, 12 e 24 horas e períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos as intensidades máximas encontradas foram entre 2,5 e 21,6% maiores do que aplicando a equação proposta no trabalho de Denardin et al. (1980).

Os parâmetros das regressões (a, b e c) entre o log da intensidade e log da duração da chuva podem-se observar para Quaraí na Tabela 16 e para Rio Grande na Tabela 17. Para a localidade de Quaraí obteve-se uma alta significância estatística (probabilidade de 0,01%) e alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,9998$) nas 6 regressões dos períodos de retorno considerados. Isto indica que a variação da intensidade em função da duração é explicada em mais de 99% pelo modelo quadrático considerado ($\log I = a + b (\log D) + c (\log D)^2$), significando uma alta confiabilidade nos resultados quando são utilizadas ditas equações. Eltz

et al. (1992) tiveram resultados também altamente significativos para a localidade de Santa Maria-RS.

Tabela 16 – Parâmetros das regressões (a, b e c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm h⁻¹, e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (r²) e de variação (CV) em Quaraí-RS.

T	log I = a + b(log D) + c(log D) ²				
	a	b	c	r ²	CV (%)
anos					%
2	1,6395	-0,6055	-1,0818	0,9998 ^{****}	0,5917
5	1,8158	-0,5956	-0,0821	0,9998 ^{****}	0,4947
10	1,9025	-0,5921	-0,0821	0,9998 ^{****}	0,4803
20	1,9719	-0,5898	-0,0821	0,9998 ^{****}	0,4682
50	2,0481	-0,5875	-0,0823	0,9998 ^{****}	0,4601
100	2,0974	-0,5863	-0,0823	0,9998 ^{****}	0,4508

^{****} Significativo ao nível de 0.01%.

Tabela 17 – Parâmetros das regressões (a, b e c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm h⁻¹, e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (r²) e de variação (CV) em Rio Grande-RS.

T	log I = a + b(log D) + c(log D) ²				
	a	b	c	r ²	CV (%)
anos					%
2	1,5033	-0,4878	-0,1406	0,9962 ^[1]	3,0692
5	1,6646	-0,4200	-0,1703	0,9813 ^[1]	5,6268
10	1,7388	-0,3842	-0,1852	0,9504 ^[1]	8,4854
20	1,7952	-0,3525	-0,1979	0,9078 ^[2]	10,9993
50	1,8527	-0,3122	-0,2138	0,8343 ^[3]	14,1474
100	1,8592	-0,2346	-0,2430	0,6497 ^[4]	21,1619

^[1], ^[2], ^[3] e ^[4]: Significativos ao nível de 0,01%; 0,02%; 0,19% e 2,54%, respectivamente.

Os resultados para Rio Grande (Tabela 17) mostram altos coeficientes de determinação para as regressões dos períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos (r² = 0,9504-0,9962), intermediários para as regressões dos períodos de retorno de 20 e 50 anos (r² = 0,8343-

0,9078) e relativamente baixo para o período de retorno de 100 anos ($r^2 = 0,6497$), sendo menor a confiabilidade no uso destes parâmetros.

As curvas que geraram os coeficientes das equações acima nomeadas estão representadas na Figura 11 para Quarai e na Figura 12 para Rio Grande. Com o uso dessas figuras é possível estimar diretamente a intensidade, duração e período de retorno da chuva. Considerando uma duração e período de retorno específico, pode-se determinar a intensidade da chuva para essas condições.

De forma similar, partindo de dados de duração e intensidade chega-se ao período de retorno e com os valores de intensidade e período de retorno pode-se encontrar a duração da chuva.

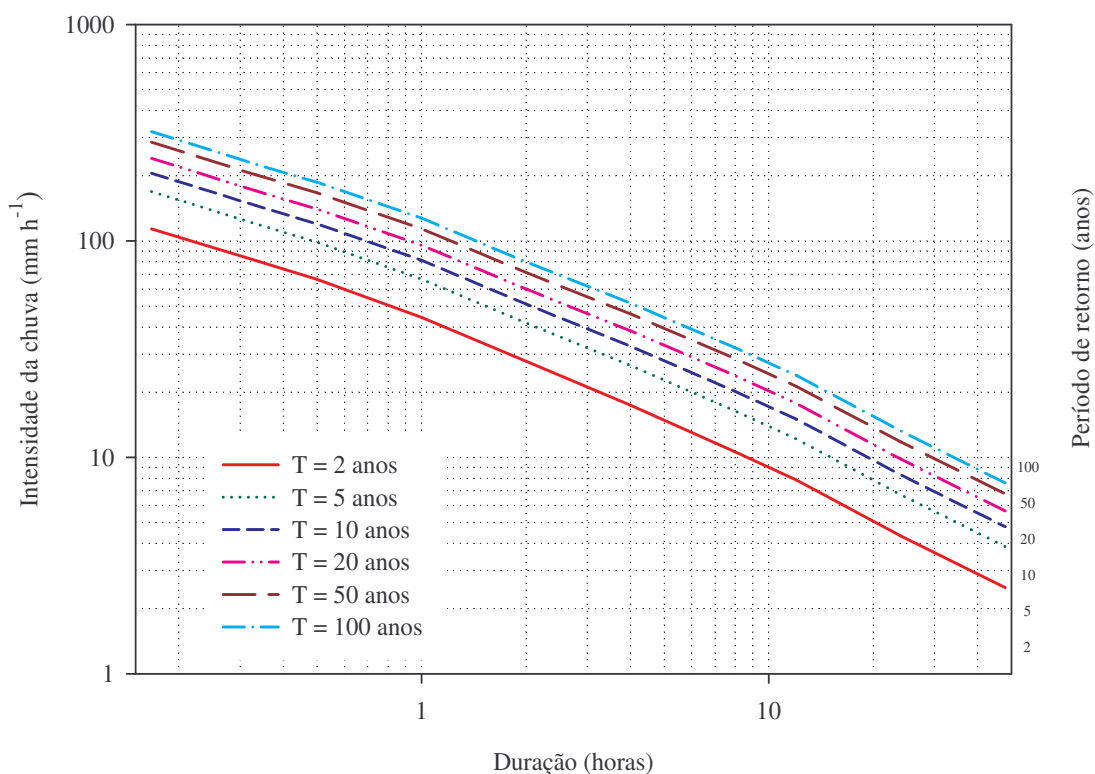


Figura 11 – Períodos de retorno esperados (T), em anos, da chuva em Quarai-RS, em função da intensidade e duração das chuvas.

Dentro das amplitudes de duração, intensidade e períodos de retorno apresentados no presente estudo podem ser feitas interpolações. Para extrapolações fora desses limites a

confiabilidade é menor. Em função de que a origem de dados corresponde a uma quantidade de anos limitada (38 e 23 anos para Quaraí e Rio Grande respectivamente), os eventos pluviais máximos reais podem ser maiores do que os observados.

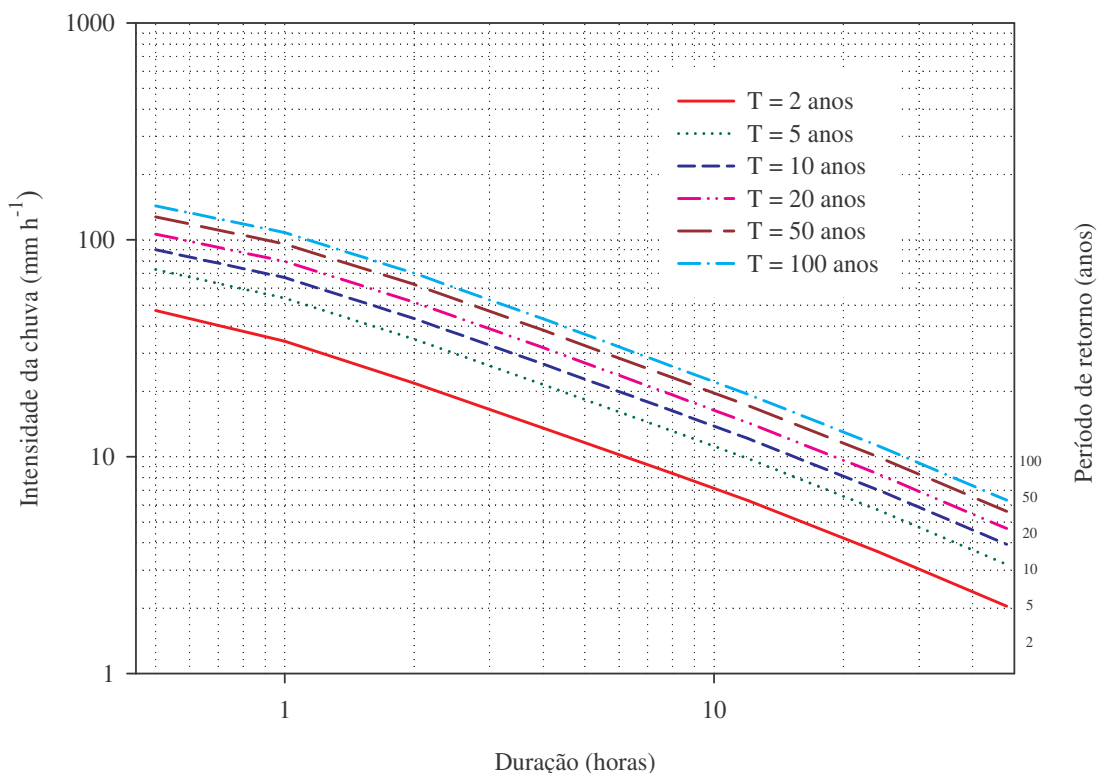


Figura 12 – Períodos de retorno esperados (T), em anos, da chuva em Rio Grande-RS, em função da intensidade e duração das chuvas.

As informações que proporcionam as análises de frequência apresentadas nos gráficos de intensidade-duração-frequência (Figuras 11 e 12) poderão ser levadas em consideração para o dimensionamento de obras de conservação de solo, como canais de escoamento e espaçamento entre terraços, assim como diferentes obras civis. O dimensionamento mais ajustado ou superestimado de uma determinada obra implica respectivamente em menor ou maior segurança da obra para resistir aos eventos pluviais, sendo as últimas mais onerosas. Assim, um planejamento eficaz deverá tomar em consideração estes aspectos.

4. CONCLUSÕES

1. O valor do fator R da equação universal de perdas de solo, é de $9292 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a localidade de Quaraí e para a localidade de Rio Grande é de $5135 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.
2. Em Quaraí obteve-se uma alta correlação do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação e com o coeficiente de chuva.
3. As equações de regressão linear do índice de erosividade mensal EI_{30} com a precipitação média mensal (p), $EI_{30} = -754,37 + 13,50 p$, e com o coeficiente de chuva (Rc), $EI_{30} = -47,35 + 82,72 Rc$, encontradas para Quaraí, podem ser utilizadas para estimar o fator R da USLE.
4. Em Rio Grande não foi encontrada correlação significativa do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação e nem com o coeficiente de chuva, não devendo estes parâmetros serem utilizados como estimadores do fator R da USLE.
5. Em Quaraí, o padrão de chuva de maior ocorrência foi o padrão avançado, seguido do intermediário e atrasado. O volume de chuvas e a erosividade (EI_{30}) correspondeu em sua maioria a chuvas classificadas no padrão avançado, seguido do intermediário e atrasado.
6. Em Rio Grande, o padrão de chuva de maior ocorrência foi o padrão avançado, seguido do atrasado e intermediário. O volume de chuvas e a erosividade (EI_{30}) correspondeu em sua maioria a chuvas classificadas no padrão avançado, seguido do intermediário e atrasado.
7. Em relação ao total das chuvas estudadas, 44,3% do número e 90,4% do volume foram erosivas em Quaraí, e 32,6% do número e 99,3% do volume foram erosivas em Rio Grande.

8. O método da distribuição extrema tipo I foi adequado para obter as curvas de intensidade-duração-freqüência para Quaraí e Rio Grande.
9. Os períodos de retorno da chuva em Quaraí e Rio Grande podem ser calculados através das equações afins, utilizando os valores dos parâmetros encontrados, ou pelos gráficos das curvas de intensidade-duração-freqüência.
10. As intensidades médias máximas das chuvas podem ser calculadas para os diferentes períodos de retorno, T , e durações da chuva, D .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. W. **Determinação da erosividade de Caruaru-PE**: 1. Correlação com perdas de solo, 2. Distribuição de probabilidade de ocorrência. 01/02/1992. (Tese de Mestrado). 1v. 100p. Univ.de São Paulo/Escola Sup. de Agricultura Luiz de Queiroz - Agronomia (Solos E Nutrição De Plantas).
- BEDIANT, P. B.; HUBER, W. C. **Hydrology and food plain analysis**. New York, Addison Wesley, 1988. 650p.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de campos novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v29, n9, p.1.453-1.458, set. 1994.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v28, n4., p.515-521, abr. 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. Equação de perdas de solo. **Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo**. Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. Instituto Agrônomo. Boletim técnico N° 21. 1975. 25p.
- BISCAIA, R. C. M.; RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C. Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 5:183-186, 1981.
- BROWNING, G. M.; PARISH, C. L.; GLASS, J. A. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. **Amer. Soc. Agron. J.** 39:65-73, 1947.
- BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 595p.
- CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI values**. West Lafayette, Purdue University, USA, 6p., 1976. (não publicado).
- CAMPOS FILHO, O. R.; IVANDRO DA SILVA, I. de F., DE ANDRADE, A. P., LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 27(9): 1363-1370, set.1992.
- CARVALHO, M. P. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP)**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1987. 104p. (Tese de Mestrado).

- CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo distrófico de Campinas (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 17:445-450, 1993.
- CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-amarelo de Pindorama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 21:279-286, 1997.
- CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo Índice EI₃₀. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13:243-249, 1989.
- CASSOL, E. A.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; FALLEIRO, R. M. Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI₃₀, no período de 1963 a 1999. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 2004a. **Anais** em CD: Manejo: integrando a Ciência do Solo na Produção de Alimentos. SBCS, Depto. de Solos-CCR-UFSM, Santa Maria, RS, 25 a 30 de Julho de 2004. 4p. (Resumo expandido, em CD-ROM).
- CASSOL, E. A.; MAZURANA, J.; ELTZ, F. L. F.; DULLIUS, M. V. Erosividade das chuvas em Porto Alegre, RS, determinada pelo índice EI₃₀, com base no período de 1974 a 2003. In: V REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004, Florianópolis. **Anais** da V Reunião Sul Brasileira de Ciência do solo, 2004b. v.1n.p1-4.
- CASTRO FILHO, C; CATANEO, A.; BISCAIA, R. C. M. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 6:240-241, 1982.
- CLÉRICI, C.; GARCIA PRECHAC, F. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata Miscelánea. **Agrociência**. 2001. Vol.V. n.1. p. 92-103.
- DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. de; WÜNSCHE, W. A.; WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil. I. Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 15(4):419-421, 1980.
- DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). I - Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. 1ª Aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:335-345, 2003.

- ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 25:485-493, 2001.
- ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 16:265-269, 1992.
- ESCALANTE, C. A.; REYES, L. Influencia del tamaño de muestra en la estimación del factor de lluvia R. **Inf. tecnol.** [online]. v. 15, n. 4, p. 105-110, 2004. ISSN 0718-0764. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000400015&Ing=es&nrm=iso>. Acesso em: 19 abr. 2005.
- FALLEIRO, R. M.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas nos municípios de Taquarí, Farroupilha e Júlio de Castilhos, RS, para um período de dez anos (1982-1991). In: VIII SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1996, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, PROPESP-UFRGS, Área de Ciências Agrárias, p. 72, resumo nº 008.
- FOSTER, G. R.; LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, 25(1):124-129, 1982.
- FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI units. **J. of Soil and Water Conserv.**, Ankeny, 36:355-9, 1981.
- FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion: estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic**. Int. Public., 1956. 6p. v.38.
- FREITAS, P. L.; MADEIRA NETO, R. S. Um programa computacional para cálculos dos índices de erosividade das chuvas. In: 3º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 1980, Recife. **Resumos...** Recife, SUDENSE, 1980.
- GARCIA, P.; PANNONE, J. Índice de erosividad de lluvias en Uruguay. In: MEMÓRIAS DEL PRIMER TALLER NACIONAL DE INVESTIGACIÓN SOBRE CUENCAS EXPERIMENTALES. Montevideo, Uruguay. 1984. Mimeografado.
- GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes**. New York, Columbia University Press, 1958. 375p.
- HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the ASAE**, v. 107, p. 1039-1117, 1941.
- HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 2. ed. Ithaca, New York, Cornell University Press, 1981. 324p.

- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. IPAGRO. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989. v. 1, 102p.
- KINNELL, P. I. A. Rainfall intensity-kinetic energy relationship for soil loss prediction. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, 45:153-155, 1981.
- KITE, G. W. **Frequency and risk analysis in hydrology**. Littleton, Water Resources Publications, 1988. 257p.
- LAGO, J. C. **Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul**. UFPel, 2000. 53p. (Tese de doutorado).
- LAL, R. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria, III. Effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, Amsterdam, 16:389-401, 1976.
- LEPRUN, J. C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo do nordeste brasileiro: balanço diagnóstico e novas linhas de pesquisa**. Recife, SUDENE/ORSTOM, 1981. 107p.
- LIMA, V. S.; CASSOL, E. A.; SEVERO, M. D. A. Determinação da erosividade das chuvas nos municípios de Ijuí e São Borja, RS, no período de 1982 a 1991. In: IV Salão de Iniciação Científica, 1992, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, PROPESP-UFRGS, Área de Ciências Agrárias, p.185, resumo nº 282.
- LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity** – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil. West Lafayette-USA, Purdue University, 1977. 53p. Thesis (MSc.).
- LOMBARDI NETO, F. **Universal soil loss equation (USLE), runoff erosivity factor, slope length, and slope steepness for individual storms**. West Lafayette-USA, Purdue University, 1979. 128p. Thesis (PhD.).
- MANNAERTS, C. M.; GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. **Soil & Tillage Research** 55 (2000) 207-212. Disponível em: <http://www.itc.nl/library/Papers_2000/annaerts_rai.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2005.
- MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÈ, I.A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 25:475-483, 2001.
- MORAIS, L. F. B. de; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 12:281-284, 1988a.

- MORAIS, L. F. B. de; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 12:285-288, 1988b.
- MORAIS, L. F. B. de; SILVA, V. da; NASCHENVENG, T. M. da C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L. de; WEBER, O. L. dos S.; BOEL, E.; DURIGON, E. Índice EI₃₀ e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 15:339-344, 1991.
- MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L.R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 27:713-725, 2003.
- MUSGRAVE, G. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. **J. Soil and Water Conserv.** 2:133-138, 1947.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. de; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 14:235-239, 1990.
- PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. R. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Biblioteca de ciências agrárias Luiz de Queiroz. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- REBOLLEDO R., H. H. **Manual SAS por computadora: análisis estadístico de datos experimentales**. México: Trillas, 2002. 208p.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MC COOL, D. K.; YONDER, D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, **Agriculture Handbook** Number 703. 1997.
- RONCATO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; GRAMINHO, D. H.; STEFANELO, C.; FIGUEIREDO, J. V.; PEDROSO, R. F. Erosividade mensal das chuvas de Santa Maria de abril 1996 a março de 2004. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 2004. **Anais** em CD: Manejo: integrando a Ciência do Solo na Produção de Alimentos. SBCS, Depto. de Solos-CCR-UFSM, Santa Maria, RS, 25 a 30 de Julho de 2004. 4p. (Resumo expandido, em CD-ROM).
- ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o

- coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.25, p.147-156, 2001.
- RUFINO, R. L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 10:279-281, 1986.
- RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 17:439-444, 1993.
- SCALABRIN, G. A.; SILVA, P. R. A.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas em Encruzilhada do Sul, Vacaria e Uruguaiana, RS, para um período de dez anos (1982-1991). In: VI SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1994, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, PROPEP-UFRGS, Área de Ciências Agrárias, p.92, resumo nº 299.
- SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II – Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 27:347-354, 2003.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p. 515-521, outubro. 1997.
- SMITH, D. D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agr. Eng.** 22:173-175, 1941.
- SORIANO, B. M. A.; CLARKE, R. T.; GALDINO, S. **Evolução da erosividade das chuvas na bacia do Alto Taquari**. EMBRAPA, Corumbá-MS. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 25, novembro, 2001. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/BP25>. Acesso em: 09 mai. 2005.
- TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. R. C; MOREIRA, E. G. S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapara, Estado de Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.9, p.59-62, 1985.
- WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva: energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.12, p.197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 23:246-249, 1959.

- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington: USDA-Agricultural Research, 1965. 47p. **Agricultural Handbook** n° 282.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA-Agricultural Research, 1978. 58p. (Agricultural Handbook n° 537).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v.39, p.285-291, 1958.
- ZANCHI, C.; TORRI, D. Evaluation of rainfall energy in Central Italy. In: DE BOODT, M. & GABRIELS, D., ED. **Assessments of erosion**. Chichester, UK, John Wiley, 1980. 563p.
- ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agr. Eng.** 21:59-64, 1950.