

AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DE MINAS GERAIS*

Wellington Pereira
Telmo Carvalho Alves da Silva
Fábio Ribeiro Gomes**

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país baseia-se, em grande parte, no conhecimento e posse dos recursos naturais vigentes e, sobretudo, na sua utilização racional.

O solo, como um dos recursos naturais mais importantes, como bem de produção, pode ter sua capacidade de produzir limitada pelo desgaste, fruto, muitas vezes, de um manejo inadequado. De acordo com as condições brasileiras, tal desgaste se dá, basicamente, em consequência da erosão hídrica, advinda do escasso ou impróprio uso de práticas conservacionistas. Atualmente, sobretudo em razão de incentivos governamentais, novas e extensas áreas estão sendo desbravadas e incorporadas ao processo da produção agrícola. Tal fato, positivo sob certos aspectos, pode tornar-se uma preocupação, quando se verifica que a ocupação e a utilização de tais áreas têm ocorrido, por via de regra, sob precários preceitos tecnológicos. Todavia, é necessário aplicar técnicas apropriadas ao solo, com uma ação reparadora e protecionista, no que toca aos aspectos edáficos e climáticos prevaletentes.

Os fatores que têm efeito sobre os processos de erosão hídrica são: chuva, solo, cobertura vegetal e topografia. Entre os quatro fatores mencionados, as chuvas, como fonte de energia, têm um papel ativo no processo de erosão, ao contrário do que ocorre com os demais, cuja ação deve ser entendida como passiva (7).

Para que um eficiente sistema de manejo possa ser estabelecido, é necessário, entre outras condições, que haja um conhecimento mais real do fenômeno da erosão nos seus aspectos qualitativo e quantitativo (perda de solo, de água e de nutrientes) e nas suas relações com outros fatores, como, por exemplo, os de natureza geográfica.

O entendimento daquele fenômeno e, conseqüentemente, seu controle têm sido facilitados, ultimamente, pela utilização de uma equação de previsão anual de perdas de solo com alto grau de confiabilidade (9, 11). O modelo, aperfeiçoado nos Estados Unidos, passou a se denominar equação «universal» de perdas de

* Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, como uma das exigências para o grau de «Magister Scientiae» em Fitoecnia.

Recebido para publicação em 12-09-1977. Projeto n.º 4.1391 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

** Respectivamente, Pesquisador do SNLCS-EMBRAPA e Professores Titulares da Universidade Federal de Viçosa.

solo, por sua aplicação «universal» e por demonstrar maior eficiência na predição de perdas de solo num local (3, 9, 12, 16). Essa equação, ou seja,

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

expressa as perdas anuais de solo, em toneladas por hectare (A), como função do padrão de chuva (R), do solo (K), da topografia (LS), da combinação de cultivo e manejo (C) e de práticas conservacionistas (P) (11, 16).

É importante salientar, também, que a aplicabilidade da equação (1) vai depender da disponibilidade de dados para cada um dos fatores, visto que eles podem diferir de um local para outro.

Smith, citado por RICORDI e ITURRI (7), diz ser conveniente calcular, primeiramente, o fator R, quando se trabalha com a equação «universal» de perdas de solos.

Pretendendo somar subsídios que permitam a predição de perdas de solo para determinados locais, indispensáveis ao planejamento conservacionista dos solos e à elaboração e execução de projetos agropecuários, este trabalho teve por finalidade:

1. Determinar o fator R (índice de erosividade das chuvas) da equação «universal» de perdas de solo, em diferentes locais do Estado de Minas Gerais.
2. Determinar as curvas de distribuição do índice de erosão, durante o ano, para cada local estudado.
3. Analisar a distribuição de frequência do índice de erosão e determinar curvas de probabilidade para as magnitudes anuais do índice.
4. Estabelecer a metodologia para a obtenção dos valores do índice de erosão, segundo a conversão das unidades, relativas aos fatores da equação, do sistema inglês para o sistema métrico decimal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Generalidades

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se dados de chuvas registradas em pluviogramas e provenientes de estações meteorológicas do Estado de Minas Gerais.

Os dados disponíveis foram levantados no 5.º Distrito de Meteorologia, Minas Gerais, do Departamento de Meteorologia do Ministério da Agricultura (5.º DISME). A relação das estações meteorológicas, com suas características, encontra-se no Quadro 1. Por sua vez, a distribuição das estações no Estado, referidas no Quadro 1, pode ser vista na Figura 1. Os pluviógrafos existentes são do tipo H. FÜESS — modelo 700, e os pluviogramas usados são de registros diários, com capacidade de 10 mm (Figura 2).

O critério estabelecido para a leitura foi baseado no registro de cada chuva ocorrida em determinado dia, anotando-se a quantidade acumulada, em mm, para cada intervalo de 10 minutos. Ao se encontrar uma interrupção temporária do registro da chuva, anotava-se o valor zero; posteriormente, caso ocorresse nova chuva, continuava-se a leitura acumulada. A Figura 2 ilustra como o transcurso da chuva ocorre na realidade.

2.2. Cálculo do Índice de Erosão das Chuvas

O cálculo do índice de erosão se baseou na tabulação e análise das intensidades das chuvas que caem num determinado local, utilizando-se o computador do Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa. O procedimento adotado para o cálculo do índice foi desenvolvido, nos Estados Unidos, por WISCHMEIER (10, 13) e WISCHMEIER e SMITH (16), considerando-se todas as chuvas com, pelo menos, 30 minutos de duração contínua e 12,7 mm de altura.

Diversos pesquisadores afirmam que a erosão hídrica é um processo mecânico que requer energia, que é, em grande parte, fornecida pela gota de chuva. Por isso, a mais exata e simples avaliação do índice de erosão é a que se fundamenta na intensidade da chuva (3, 5, 10, 13).

WISCHMEIER e SMITH (14), baseados em dados da distribuição do tamanho das gotas e das velocidades terminais, fizeram o cálculo da energia cinética para diferentes intensidades de chuva, obtendo uma equação de regressão que dá os valores da energia em função da intensidade da chuva, ou seja:

$$Y = 916 + 331 \log_{10} X \quad (2)$$

QUADRO 1 - Relação das estações pluviográficas, do 5º DISME, com suas características

Código de Local	Local da Estação	Categoria (1)	Longitude W. Gr.	Latitude S	Altitude (m)	Períodos de observação (anos)	Número de anos registrados	Funcionamento atual
A	Água Limpa	EMO	43°20'	21°46'	425	1947-1975	29	SIM
B	Arauaí	EMP	42°14'	16°51'	293	1972-1975	4	SIM
C	Bambuí	EMP	45°59'	20°00'	680	1972-1975	4	SIM
D	Barbacena	EMP	43°46'	21°15'	1136	1941-1972	31	SIM
E	Belo Horizonte	EMP	43°56'	19°53'	830	1938-1972	27	SIM
F	Caratinga	EMP	42°09'	19°48'	575	1971-1975	*	SIM
G	Caxambu	EMO	44°56'	21°59'	904	1941-1961	12	NÃO
H	Diamantina	EMP	45°36'	18°15'	1262	1972-1973	*	SIM
I	IBIRITE	EMO	44°03'	20°03'	870	1959-1971	13	NÃO
J	ITABIRA	EMO	45°13'	19°37'	763	NOVA	*	SIM
K	Itamarandiba	EMP	42°51'	17°51'	964	1971-1972	*	SIM
L	Januária	EMP	44°21'	15°30'	434	NOVA	*	SIM
M	João Monlevade	EMO	43°08'	19°51'	845	1961-1968	7	NÃO
N	Lavras	EMP	45°00'	21°14'	801	1960-1972	13	SIM
O	Montes Claros	EMP	43°51'	16°44'	638	1968-1973	*	NÃO
P	Ouro Preto	EMO	43°30'	20°23'	1061	1948-1956	9	NÃO
Q	Paracatu	EMP	46°52'	17°13'	710	1948-1973	*	SIM
R	Patos de Minas	EMP	46°31'	18°36'	856	1959-1972	14	SIM
S	Pirapora	EMP	44°57'	17°21'	472	1940-1944	*	NÃO
T	Passa-Quatro	EMO	44°58'	22°27'	915	1943-1961	19	NÃO
U	São João del-Rei	EMO	44°16'	21°08'	860	1964-1972	*	SIM
V	São Lourenço	EMP	45°03'	22°06'	867	1938-1973	*	SIM
X	Sete Lagoas	EMP	44°15'	19°28'	732	1930-1972	41	SIM
Y	Teófilo Otoni	EMP	41°30'	17°51'	319	NOVA	*	SIM
W	Viçosa	EMP	42°51'	20°45'	651	1945-1973	12	SIM

(1) EMP = Estação meteorológica principal. EMO = Estação meteorológica ordinária. (*) Locais não estudados.

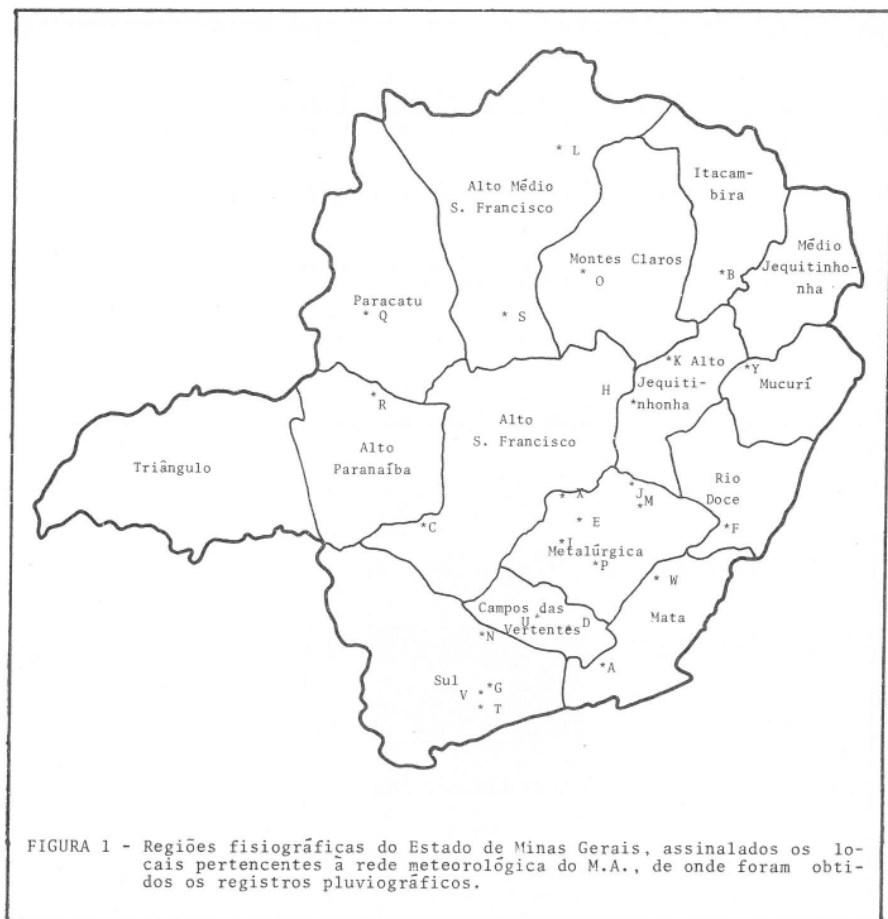


FIGURA 1 - Regiões fisiográficas do Estado de Minas Gerais, assinalados os locais pertencentes à rede meteorológica do M.A., de onde foram obtidos os registros pluviográficos.

em que Y é a energia cinética, em tonelada curta-pé/acre-polegada de chuva e X é a intensidade de chuva, em polegadas por hectare.

Os resultados sumarizados por WISCHMEIER *et alii* (15), obtidos mediante 8250 parcelas anuais, em 60 estações experimentais dos Estados Unidos, mostraram que o fator que mais se correlacionou com a erosão foi a energia cinética; entretanto, houve considerável variação não explicada. Várias regressões múltiplas foram testadas, e o melhor estimador encontrado para a predição de perdas de solos em alqueive foi o produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos, representado por EI₃₀.

Experimentalmente, tem-se verificado que os valores do produto EI₃₀ explicam de 72 a 97% da variação nas perdas causadas por cada chuva em solos em alqueive, nos estados norte-americanos de Missouri, Iowa, Wisconsin, Ohio, New York e South Caroline (16). O cálculo da energia da chuva foi feito por meio da seguinte fórmula:

$$Y = 12,132 + 8,904 \log X \quad (3)$$

em que Y é a energia cinética, em tonelâmetro/hectare-milímetro de chuva (t. m/ha.mm), e X é a intensidade da chuva, em milímetros/hora. Essa fórmula foi obtida em unidades métricas, pela conversão da fórmula (2) encontrada por WISCHMEIER e SMITH (14), cujos valores estão, normalmente, expressos em unidades do sistema inglês, e está demonstrado no item 3.3 desse trabalho.

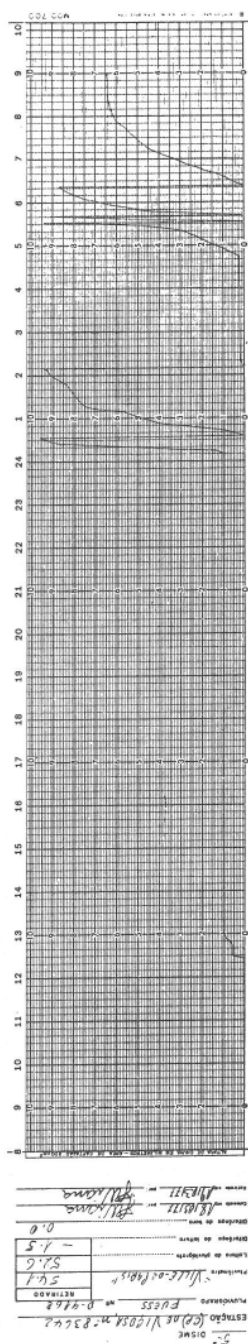


FIGURA 2 - Modelo do diagrama usado nos pluviógrafos da rede meteorológica do Estado, com o registro de chuva do dia 19/03/77, no Posto de Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais.

O cálculo da energia e do índice de erosão foi obtido do seguinte modo:

1. Os diagramas foram divididos em intervalos de 10 minutos, fazendo-se a leitura acumulada da quantidade da chuva, em mm.
2. Determinou-se a altura de chuva (h_i), em mm, para cada um dos intervalos.
3. Determinou-se a intensidade de cada intervalo (X_i), em mm/h.
4. Determinaram-se as energias parciais para cada uma das intensidades, nos respectivos intervalos, por meio da equação (3).
5. Somaram-se os valores do produto das energias parciais calculadas para a intensidade de cada intervalo (X_i), em mm/h, pela altura (h_i), em mm, da chuva caída no respectivo intervalo, resultando na energia total da chuva

$$(E = \sum_{i=1}^n Y_i h_i), \text{ em t. m/ha.}$$

6. Selecionou-se, no pluviograma, um período de 30 minutos consecutivos em que ocorreu maior quantidade da chuva, calculando-se a intensidade máxima em 30 minutos (IM30), em mm/h.

7. Multiplicou-se o valor da energia total (E) pela intensidade máxima em 30 minutos (IM30). O resultado representa o valor do índice de erosão (IE30), para a chuva em estudo, em tm/ha x mm/h.

Para demonstrar as considerações anteriormente mencionadas, escolheu-se um pluviograma, ao acaso, cujo modelo, utilizado nas estações meteorológicas da rede do Ministério da Agricultura, está representado na Figura 2. Por sua vez, o registro da chuva ilustra o cálculo do índice de erosão, expresso no Quadro 2.

Após a consistência dos dados em fita magnética, efetuou-se o cálculo do número de intervalos, e os valores da quantidade de chuva, para cada um dos respectivos intervalos, foram gravados em outra fita magnética. Desta última, procederam-se aos cálculos relativos à duração, quantidade, energia, intensidade máxima em 30 minutos e índice de erosão, para cada chuva com, pelo menos, 30 minutos de duração e 12,7 mm de altura. Posteriormente, foram calculados os valores mensais e anuais dos parâmetros supracitados, em todos os locais.

Para o cálculo dos valores médios mensais foi necessário selecionar os meses que apresentaram continuidade de registros, uma vez que os dados disponíveis no 5.º DISME nem sempre são completos, e, em determinados casos, os pluviogramas apresentam-se rasurados. Assim, os meses incompletos foram descartados e, portanto, as médias mensais foram calculadas de acordo com o número de meses completos durante o período disponível, nos diferentes locais (Quadro 3).

2.3. Cálculo do Fator R da Equação de Perdas de Solo

O fator R é um índice numérico que expressa a capacidade das chuvas que caem em determinado local para erodir o solo de um terreno em alqueive. Somando-se os valores do índice de erosão das chuvas que ocorrem durante o ano, resulta o seu valor para aquele local. Assim, o valor R representativo de cada local foi calculado pela soma dos valores médios dos doze meses do ano, uma vez que, de modo geral, os registros pluviográficos nem sempre apresentaram continuidade de registro (Quadro 3).

2.4. Determinação das Curvas de Distribuição do Índice de Erosão

Determinaram-se, para todos os locais, as curvas de distribuição do índice durante o ano. Seus valores médios mensais foram expressos como percentuais do valor anual e colocados, acumulativamente, contra o tempo.

A fim de caracterizar os diferentes locais, os valores médios do índice de erosão foram expressos acumulativamente e plotados de acordo com os diferentes meses do ano.

2.5. Distribuição de Frequência dos Valores Anuais do Índice de Erosão Potencial

Dos locais estudados, apenas Sete Lagoas, Barbacena e Belo Horizonte apresentaram um número considerável de anos completos no registro das chuvas observadas, com 37, 31 e 22 anos, respectivamente. Portanto, somente os valores anuais do índice desses locais foram submetidos aos testes de normalidade. Utili-

QUADRO 2 - Cálculo da energia da chuva, com pelo menos 12,7 mm, registrada no pluviograma representado na Figura 2, com o respectivo valor do índice de erosão

Horas	Leitura acumulada	h_i (mm)	X_i (mm/h)	$\log X_i$	$8,90403 \log X_i$	Y_i (1)	$Y_i \times h_i$ (2)
00:10	1,0	-	-	-	-	-	-
00:20	5,4	4,4	26,4	1,42160	12,6580	24,790	109,076
00:30	9,2	3,8	22,8	1,35793	12,0911	24,223	92,048
00:40	10,3	1,1	6,6	0,81954	7,2972	12,429	21,372
00:50	12,9	2,6	15,6	1,19312	10,6236	22,755	59,165
01:00	14,5	1,6	9,6	0,98227	8,7461	20,878	33,405
01:10	15,8	1,3	7,8	0,89209	7,9432	20,075	26,098
01:20	17,2	1,4	8,4	0,92428	8,2298	20,362	28,506
01:30	17,5	0,3	1,8	0,25527	2,2729	14,405	4,321
01:40	17,8	0,3	1,8	0,25527	2,2729	14,405	4,321
01:50	18,1	0,3	1,8	0,25527	2,2729	14,405	4,321
02:00	18,7	0,6	3,6	0,55630	4,9553	17,085	10,251
02:10	19,0	0,3	1,8	0,25527	2,2729	14,405	4,321
02:20	19,2	0,2	1,2	0,07918	0,7050	12,837	2,567
Duração 130 min				18,2	E = 399,772 (3)		

(1) Y_i (t.m/ha.mm) = $12,13210 + 8,90403 \log X$

(2) $Y_i \times h_i$ (t.m/ha) = energia parcial do intervalo

(3) E (t.m/ha) = energia total da chuva

IM30 = intensidade máxima em 30 minutos (de 00:10 a 00:40) = 9,5 mm = 18,6 mm/hora

IE30 = Índice de erosão da chuva = $E \times IM30 = 399 \times 18,6 = 7435,76$ t.m/ha x mm/h

QUADRO 3 - Relação do número de meses completos, usados no cálculo dos valores médios mensais dos parâmetros estudados nos diferentes locais

Local	Meses												Nº de anos registrados
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Água Limpa	25	24	22	24	23	25	25	29	25	26	26	26	29
Araçuaí	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bambu	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Barbacena	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	31
Belo Horizonte	21	22	22	25	19	22	22	24	23	24	25	24	27
Caxambu	7	8	8	7	7	6	12	5	7	6	6	6	12
Ibirité	11	12	11	11	11	13	13	13	11	12	11	11	13
João Monlevade	6	5	5	3	4	7	7	7	4	5	5	5	7
Lavras	10	10	9	11	12	12	12	13	12	11	11	11	13
Ouro Preto	6	5	6	7	8	9	9	9	9	4	4	7	9
Patos de Minas	9	8	9	10	10	10	11	12	12	12	12	10	14
Passa-Quatro	16	15	15	17	16	18	14	16	14	16	14	14	19
Viçosa	8	8	10	8	12	8	8	8	8	8	10	10	12
Sete Lagoas	37	39	39	49	41	39	38	37	39	39	37	39	41

zou-se o teste introduzido por Kolmogorov-Smirnov, modificado por LILLIEFORS (6), para testar a normalidade dos dados, com as médias e variâncias desconhecidas. Entretanto, estimaram-se as médias e as variâncias das amostras, estruturando o teste analogamente ao de Kolmogorov-Smirnov. Os logaritmos decimais dos dados também foram submetidos ao teste de normalidade, estimando-se a média aritmética e a variância dos dados transformados (4) para a idêntica estruturação do teste de LILLIEFORS (2, 6).

De acordo com a adaptação dos dados à normalidade, determinaram-se as curvas de probabilidade dos índices anuais de erosão potencial, baseado no cálculo da frequência acumulada para cada valor observado (4).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Generalidades

Há, em Minas Gerais, 25 estações meteorológicas munidas de pluviógrafo, com dezoito presentemente em funcionamento (Quadro 1). A Figura 1 ilustra a distribuição dessas estações, de acordo com as regiões fisiográficas do Estado, sendo interessante notar que nem todas as regiões dispõem de equipamentos que permitam o registro pluviográfico. Entretanto, deve-se ressaltar a necessidade de uma melhor distribuição desses equipamentos, abrangendo áreas que já têm uma agricultura relativamente desenvolvida, como o Triângulo Mineiro e o Sul de Minas, e outras potencialmente importantes do ponto de vista agrícola. Confirma essa idéia a afirmação de RODRIGUES (8) de que, a despeito de uma reduzida variação de tipos climáticos em Minas Gerais, é possível a identificação de grandes contrastes na distribuição pluviométrica, resultantes, principalmente, das oscilações das massas de ar e das condições morfológicas, fitogeográficas e litológicas.

Considera-se que, quanto menor for a fração de uma curva de intensidade, maior precisão será obtida no cálculo da energia total. Assim, com os pluviogramas de registro diário, com capacidade de 10 mm (Figura 2), podem-se obter intensidades aproximadas para períodos de 5 minutos. São esses os mais desejáveis, uma vez que as intensidades mais altas ocorrem em períodos curtos, como está ilustrado na Figura 3, e que, geralmente, há uma variação de intensidade durante o tempo de ocorrência da chuva. Como afirmam WISCHMEIER e SMITH (14), essa variação corresponde aos diferentes tamanhos das gotas e, conseqüentemente, a diferentes velocidades e energia cinética.

O fator R que se deseja obter para um local deve ser o valor médio anual, baseado num maior número possível de anos de registro de chuva. Deve-se acentuar que, além do acúmulo de dados, estes dependeriam da normalidade e da frequência de observação. O Quadro 3 mostra, por exemplo, que os dados não apresentaram continuidade de registro durante o período de observação. Entretanto, apesar de a disponibilidade de dados, em alguns locais, ser relativamente pequena, ainda é justificável seu uso no cálculo do índice, confirmando as idéias de HUDSON (5).

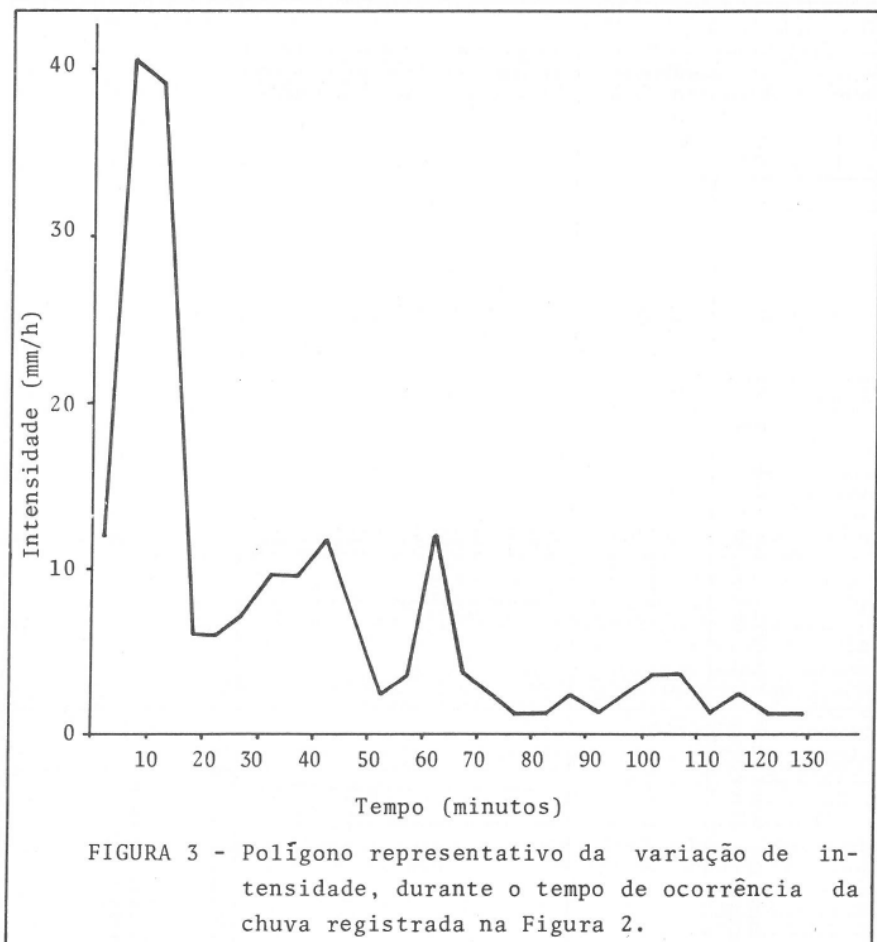
Procurou-se analisar todos os dados possíveis, registrados em cada estação, eliminando os questionários em razão das diversas espécies de erros, como, por exemplo, dificuldades na leitura de pluviograma, por falhas no seu registro (Quadro 3).

3.2. Análise da Erosividade das Chuvas nos Diferentes Locais Estudados

Os resultados de cada um dos parâmetros estudados, de várias chuvas, escolhidas ao acaso, em diferentes dias, meses, anos e locais, estão expressos no Quadro 4. Esses resultados foram obtidos segundo o esquema de cálculo ilustrado no Quadro 2.

A divisão dos pluviogramas em intervalos de 10 minutos faz pressupor que a intensidade da chuva, naquele intervalo, seja uniforme. Portanto, utilizando-se a fórmula (3), obtém-se a energia, para aquele período de intensidade, por unidade de altura de chuva. Essa energia, por sua vez, multiplicada pelo número de unidades de altura de chuva, vai resultar na energia para o período considerado.

Levando-se em conta que a energia total da chuva é o resultado da soma dos valores das energias parciais, obtidas para cada período de intensidade uniforme, parece haver uma tendência de as maiores energias corresponderem aos maiores períodos de ocorrência das chuvas (Quadro 4). Considera-se, também, que há uma



baixa correlação entre quantidade e intensidade da chuva. Entretanto, as «chuvas individuais» com maior duração e/ou quantidade não são, necessariamente, as que apresentam maior índice de erosão.

Os resultados médios mensais dos parâmetros duração, quantidade, energia, intensidade máxima e índice de erosão das chuvas, com pelo menos 12,7 mm de altura, estão expressos no Quadro 5, onde se encontram, também, os valores percentuais do índice de erosão e de seu acumulado para cada mês, em relação ao valor anual do índice para os diferentes locais. Os valores de cada parâmetro, expressos nesse Quadro, representam as médias para cada mês do ano, obtidas da soma dos meses completos, dentre os vários anos disponíveis, dividida pelo número de meses completos em cada local.

De modo geral, os maiores valores médios dos parâmetros estudados ocorrem em dezembro e janeiro (Quadro 5). Entretanto, o período que representa a maior contribuição anual estende-se de outubro a março. A exceção de Bambuí, este representa, aproximadamente, mais de 90% do potencial do índice de erosão, para os diferentes locais (Quadro 6). Esses resultados concordam com a afirmação de RODRIGUES (8), de que as influências que realmente favorecem as precipitações pluviométricas no período que vai de outubro a março estão na dependência da

QUADRO 4 - Resultados dos parâmetros: duração, quantidade, energia, intensidade máxima, índice de erosão de várias chuvas, escolhidos ao acaso, em diferentes dias, meses, anos e locais

Código (1)	Duração (2)	Quantidade (3)	Energia (4)	Intensidade máxima (5)	Índice de erosão (6)
A530314	30	30,0	83,894	60,0	5033
B731126	50	39,8	129,094	68,0	8778
B741116	240	22,1	330,193	33,0	10896
D431218	210	21,2	333,542	24,0	8005
D431221	770	29,6	1128,424	5,8	6544
D650212	440	75,8	637,279	121,2	77238
D660114	1270	84,9	2004,387	25,6	51312
E601217	60	16,7	127,996	27,8	3358
E601220	590	37,2	873,472	18,0	15722
I601218	180	23,0	299,276	30,0	8978
I601220	660	20,9	873,233	7,6	6636
N621203	70	64,2	176,498	107,0	18885
N621213	320	15,0	485,557	17,3	3593
X301018	40	55,0	38,377	111,9	4292
X660112	850	53,3	1200,182	29,0	34205
X711116	130	70,3	243,834	124,4	30333

(1) A = Código do local; 53 = ano; 03 = mês; 14 = dia

(2) Duração, em minutos

(3) Quantidade, em mm.

(4) Energia em t.m/ha

(5) Intensidade máxima em 30 minutos, dada em mm/h

(6) Índice de erosão da chuva, em t.m/ha x mm/h

QUADRO 5 - Resultados dos valores médios mensais e totais anuais dos parâmetros: duração, quantidade, energia, intensidade máxima e índice de erosão das chuvas maiores ou iguais a 12,7 mm, nos diferentes locais estudados

ÁGUA LIMPA

Mês	Duração (1)	Quantidade (2)	Energia (3)	Intensidade máxima (4)	Índice de erosão (5)	IE percen- tual (6)	IE Acu- mulado (7)	%IE Acu- mulado (8)
7	2	0,7	4	0,8	73	0,26	73	0,26
8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	73	0,26
9	2	0,6	4	0,9	86	0,31	159	0,57
10	52	5,1	85	4,7	1193	4,26	1352	4,83
11	185	21,8	303	21,4	6730	24,00	8082	28,83
12	114	11,0	189	10,1	2861	10,21	10943	39,04
1	185	25,3	316	28,5	7396	26,38	18399	65,42
2	161	21,7	272	25,8	5230	18,65	23569	84,07
3	60	12,0	107	18,8	3326	11,86	26895	95,93
4	13	12,6	24	4,0	524	1,87	27419	97,80
5	9	2,1	15	3,8	412	1,46	27831	99,26
6	12	1,2	19	1,3	212	0,74	28043	100,00
TOTAL	795	114,1	1338	120,1	28043	100,00	-	-

(1) = Duração, em minutos; (2) = Quantidade, em mm; (3) = Energia, em t.m/ha; (4) = Intensidade máxima em 30 minutos, em mm/hora; (5) = Índice de erosão, em t.m/ha x mm/h; (6) = Percentagem do índice de erosão mensal, em relação ao total anual; (7) = Índice de erosão acumulado; (8) = Percentagem do índice de erosão acumulado, em relação ao total anual

QUADRO 5 - (Continuação)

ARAÇUAÍ

Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per-centual	IE acumulado	% IE acumulado
7	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0	0,00
8	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0	0,00
9	25	4,0	46	5,4	987	1,30	987	1,30
10	290	41,3	484	51,7	11051	14,58	12038	15,58
11	678	89,7	1038	119,5	32847	43,33	44885	59,28
12	265	27,6	431	31,9	10254	13,53	55139	72,74
1	23	15,5	47	4,7	3232	4,26	58371	77,00
2	0	0,0	0	0,0	0	0,00	58371	77,00
3	383	50,8	561	75,5	17423	22,98	75794	100,00
4	0	0,0	0	0,0	0	0,00	75794	100,00
5	0	0,0	0	0,0	0	0,00	75794	100,00
6	0	0,0	0	0,0	0	0,00	75794	100,00
TOTAL	1664	228,9	2607	278,7	75794	100,00	-	-

QUADRO 5 - (Continuação)

BAMBUÍ								
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per-	IE acu-	% IE acu-
						centual	mulado	mulado
7	63	6,7	98	6,9	1364	1,26	1364	1,26
8	0	0,0	0	0,0	0	0,00	1364	1,26
9	38	7,7	67	12,5	1696	1,57	3060	3,83
10	170	38,7	291	56,2	10000	9,28	13060	12,11
11	165	39,6	297	60,5	8295	7,70	21355	19,81
12	200	46,7	356	69,1	16808	15,61	38163	35,42
1	467	71,6	752	104,7	22611	21,00	60774	56,42
2	363	40,8	517	38,4	16179	15,02	76953	71,44
3	188	44,7	346	50,2	15119	14,11	92152	85,55
4	453	34,9	689	29,7	14443	13,41	106595	98,96
5	18	8,0	35	15,9	1087	1,01	107682	100,00
6	0	0,0	0	0,0	0	0,00	107682	100,00
TOTAL	2125	339,4	3518	444,1	107682	100,00	-	-

QUADRO 5 - (Continuação)

BARBACENA						
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de IE per- erosão centual	IE acu- mulado % IE acu- mulado
7	29	2,5	46	2,6	620	0,28
8	62	5,0	96	2,0	1497	0,96
9	208	20,4	341	19,4	5407	3,43
10	583	66,8	964	71,1	20314	12,72
11	949	106,1	1556	104,6	32119	27,40
12	1282	134,8	2067	138,6	41621	43,03
1	1150	132,4	1871	135,4	43217	66,19
2	897	108,9	1453	120,8	36354	82,81
3	669	95,6	1138	107,2	27097	95,20
4	198	24,5	323	29,6	6247	208246
5	96	10,0	157	9,5	3071	12,39
6	34	4,8	59	6,2	1135	2,85
						214493
						217564
						218699
TOTAL	6157	711,8	10071	748,0	218699	100,00
						-

QUADRO 5 - (Continuação)

BELO HORIZONTE								
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade		IE per- centual	IE acu- mulado	% IE acu- mulado
				máxima	erosão			
7	79	4,1	110	2,4	1049	0,50	1049	0,50
8	74	8,3	120	8,8	2398	1,14	3447	1,64
9	153	17,3	245	20,9	4914	2,33	8361	3,97
10	442	59,1	745	64,6	17803	8,45	26164	12,42
11	915	112,7	1465	123,1	35515	15,90	59679	28,32
12	1167	144,5	1952	138,9	42256	20,05	101935	48,37
1	1273	145,4	2068	147,0	46955	22,28	148890	70,65
2	578	81,1	978	86,3	23756	11,27	172646	81,92
3	456	82,4	853	90,6	25165	11,94	197811	93,86
4	244	34,0	464	39,9	9191	4,36	207002	98,22
5	84	9,1	138	10,0	2689	1,28	209691	99,50
6	45	4,2	69	4,4	955	0,47	210686	100,00
TOTAL	5610	702,2	9207	736,9	210686	100,00	-	-

QUADRO 5 (Continuação)

CAXAMBU							
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per- centual	IE acu- mulado
							% IE acu- mulado
7	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0,00
8	22	2,9	30	5,4	817	0,64	0,64
9	241	14,2	368	7,5	3559	2,80	3,44
10	125	16,6	218	15,1	4547	3,58	7,02
11	548	55,3	818	59,7	18482	14,57	21,59
12	495	51,5	737	57,3	20998	16,55	38,14
1	704	92,2	1122	113,9	30650	24,16	62,30
2	432	29,9	673	40,2	13745	10,83	73,13
3	620	75,5	1005	70,8	26928	21,23	94,36
4	24	2,4	38	3,3	874	0,69	95,05
5	87	12,2	146	18,5	3660	2,88	97,93
6	228	8,9	280	7,5	2577	2,03	100,00
TOTAL	3526	271,6	5435	399,2	126837	100,00	-

QUADRO 5 - (Continuação)

IBIRITE

Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per- centual	IE acu- mulado	% IE acu- mulado
7	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0	0,00
8	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0	0,00
9	45	4,3	71	4,2	1678	1,95	1678	1,95
10	172	16,3	258	17,2	4999	5,80	6677	7,75
11	241	40,9	417	51,9	14055	16,31	20732	24,06
12	585	66,1	928	72,1	24062	27,93	44794	51,99
1	514	61,0	806	79,9	19698	22,87	64492	74,86
2	280	32,6	432	43,2	10485	12,17	74977	87,03
3	145	25,4	255	25,6	7398	8,59	82735	95,62
4	54	7,1	82	10,7	2568	2,98	84943	98,60
5	56	4,3	86	4,4	1190	1,38	86133	100,00
6	0	0,0	0	0,0	0	0,00	86133	100,00
TOTAL	2092	258,0	3335	309,2	86133	100,00	-	-

QUADRO 5 - (Continuação)

JOÃO MONLEVADE

Mês	Duração	Quantidade Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per-centual	IE acumulado	% IE acumulado
7	0	0,0	0,0	0	0,00	0	0,00
8	0	0,0	0,0	0	0,00	0	0,00
9	87	3,4	1,5	732	0,51	732	0,51
10	88	13,9	15,5	3643	2,57	4375	3,08
11	478	74,7	67,6	28543	20,34	33216	23,42
12	1206	103,8	99,7	36543	25,78	69759	49,20
1	622	105,6	142,8	33454	23,60	103213	72,80
2	600	76,6	88,6	20958	14,78	124171	87,58
3	70	18,4	28,3	6793	4,79	130964	92,37
4	140	15,7	21,4	7811	5,51	138775	97,88
5	47	8,2	8,3	2984	2,10	141759	100,00
6	0	0,0	0,0	0	0,00	141759	100,00
TOTAL	3338	420,3	473,7	141759	100,00	-	-

QUADRO 5 (Continuação)

LAVRAS								
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade		Índice de erosão	IE	
				máxima			per-centual	aucu-mulado
7	17	1,2	28	0,8		260	0,10	0,10
8	0	0,0	0	0,0		0	0,00	0,10
9	167	14,1	271	10,9		3778	1,53	1,63
10	526	66,3	883	79,4		20664	8,38	10,01
11	824	98,9	1386	93,8		30238	12,27	22,28
12	1259	142,3	2030	118,4		60942	24,73	47,01
1	1362	185,3	2272	201,6		65746	26,68	73,69
2	769	118,8	1334	132,1		39465	16,01	89,70
3	376	61,2	650	71,5		19297	7,83	97,53
4	57	10,9	101	16,6		2965	1,20	98,73
5	56	8,4	103	10,4		2524	1,02	99,75
6	27	2,8	43	3,3		552	0,22	100,00
TOTAL	5540	710,1	9101	738,8		246431	100,00	-

QUADRO 5 - (Continuação)

OURO PRETO							
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per- centual	IE acu- mulado
							% IE acu- mulado
7	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0,00
8	0	0,0	0	0,0	0	0,00	0,00
9	93	9,5	148	11,3	3034	2,20	2,20
10	283	26,0	483	18,0	7003	5,09	2,29
11	612	63,4	972	56,6	16802	12,22	19,51
12	1332	130,2	2138	106,4	40703	29,60	49,11
1	480	60,4	816	55,1	16875	12,27	68,38
2	912	79,3	1472	52,9	25224	18,34	79,72
3	895	79,9	1478	57,1	21425	15,58	95,30
4	59	12,0	105	16,8	2950	2,14	97,44
5	70	9,4	125	11,3	2316	1,68	99,12
6	80	5,1	126	3,1	1151	0,82	100,00
TOTAL 4816	475,2	7863	388,4	137483	100,00	-	-

QUADRO 5 - (Continuação)

PATOS DE MINAS								
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per- centual	IE acu- mulado	% IE acu- mulado
7	28	4,7	54	3,7	1111	0,46	1111	0,46
8	24	2,5	41	2,1	513	0,21	1624	0,67
9	83	14,2	145	18,0	4481	1,84	6105	2,51
10	634	87,9	1079	97,2	29210	12,03	35315	14,54
11	1061	128,8	1175	118,2	44347	18,26	79662	32,80
12	1368	162,0	2281	138,2	50610	20,84	130272	53,64
1	1152	152,7	1947	156,2	45703	18,82	175975	72,46
2	920	111,7	1557	109,3	34294	14,11	210249	86,57
3	540	68,2	864	83,6	21946	9,04	232195	95,61
4	221	24,8	360	24,6	7607	3,14	239802	98,74
5	92	6,2	140	4,5	1233	0,50	241035	99,74
6	37	5,5	62	8,5	1747	0,72	242782	100,00
TOTAL	6170	769,2	10305	764,1	242782	100,00	-	-

QUADRO 5 - (Continuação)

PASSA-QUATRO						
Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade Índice de máxima erosão	IE per- centual	IE acu- mulado
7	16	1,0	23	1,2	0,26	445
8	43	2,6	65	1,6	0,38	1103
9	176	16,7	271	19,8	2,90	6074
10	259	32,4	434	35,3	5,44	15395
11	690	88,0	1181	70,0	16,14	43043
12	1236	127,2	2028	106,8	21,94	80624
1	1261	139,1	2083	124,8	22,34	118882
2	763	94,1	1268	96,5	15,40	145271
3	506	54,4	846	45,4	9,32	161235
4	152	10,7	235	8,2	1,56	163911
5	179	17,6	289	15,3	3,24	169473
6	124	6,8	179	5,5	1,05	171271
TOTAL	5405	590,6	8902	530,4	100,00	-

QUADRO 5 - (Continuação)

SETE LAGOAS

Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade		Índice de		IE per-		IE acu- % IE acu-	
				máxima	erosão	centual	mulado	mulado	mulado		
7	26	1,4	36	1,2	268	0,13	268	0,13			
8	9	1,2	15	1,8	296	0,18	564	0,28			
9	120	13,6	198	15,1	4499	2,27	5062	2,55			
10	453	52,8	747	56,5	16254	8,21	21316	10,76			
11	814	96,6	1329	101,2	28688	14,48	50004	25,24			
12	1332	163,6	2199	159,2	50207	25,35	100211	50,59			
1	954	119,5	1570	124,0	37972	19,17	138183	69,76			
2	723	91,8	1199	97,4	27892	14,08	166075	83,84			
3	616	75,2	1002	80,9	23963	12,10	190038	95,24			
4	184	20,1	299	41,0	5640	2,85	195678	98,79			
5	83	7,0	132	5,3	1795	0,90	197473	99,69			
6	18	2,4	31	2,9	546	0,27	198019	100,00			
TOTAL	5332	645,2	8757	686,5	198018	100,00	-	-			

QUADRO 5 - (Continuação)

VIÇOSA

Mês	Duração	Quantidade	Energia	Intensidade máxima	Índice de erosão	IE per- centual	IE acu- mulado	% IE acu- mulado
7	80	8,5	137	9,0	2437	1,14	2347	1,14
8	10	3,7	20	7,3	608	0,29	2955	1,43
9	226	27,3	519	23,0	7676	3,72	10631	5,15
10	464	44,4	744	49,8	11918	5,78	22549	10,93
11	1230	134,8	1973	131,7	44887	21,76	67436	32,69
12	1075	115,9	1698	116,4	34842	16,89	102278	49,58
1	867	135,6	1491	127,3	40576	19,67	142854	69,25
2	761	90,8	1231	84,3	28883	14,00	171737	83,25
3	631	87,2	1089	79,2	28903	14,01	200640	97,26
4	108	15,3	174	21,9	4616	2,04	204856	99,30
5	0	0,0	0	0,0	0	0,00	204856	99,30
6	50	5,7	76	7,0	1468	0,68	206264	100,00
TOTAL	5503	669,2	9152	646,9	206264	100,00	-	-

QUADRO 6 - Valores dos índices de erosão e seus percentuais representativos, para os períodos de outubro a março e abril a setembro, para os diferentes locais.
Dados em t.m/ha x mm/h

Local	Índice de outubro a março	Índice de setembro a abril	
Água Limpa	26822	95,64	27341
Araçuaí	74807	98,46	75794
Bambu	89092	82,73	105231
Barbacena	200722	91,78	212376
Belo Horizonte	189450	89,92	203555
Caxambu	115350	90,34	119783
Ibirité	81057	94,10	89943
João Monlevade	130232	91,87	138775
Lavras	236352	95,91	243095
Ouro Preto	129032	93,85	134016
Patos de Minas	226090	93,12	238178
Passa-Quatro	155161	90,59	162808
Sete Lagoas	184976	93,41	195114
Viçosa	190009	92,12	201901
			97,49
			100,00
			97,72
			97,11
			96,61
			94,43
			98,62
			97,89
			98,64
			97,48
			98,10
			95,06
			98,53
			97,88

massa de ar equatorial continental, quente e úmida, caracterizada pela grande instabilidade convectiva, que provoca chuvas freqüentes.

O Quadro 6 mostra os valores do índice de erosão e seus percentuais, relativos ao total anual, nos locais estudados, para os períodos de outubro a março e de setembro a abril. O período de setembro a abril representa, nesse caso, mais de 94% do potencial de erosão, chegando até 100%, como ocorre em Araçuaí.

Dos locais estudados, apenas Araçuaí apresentou acentuada desuniformidade na distribuição das chuvas erosivas, com pelo menos 12,7 mm. Nesse caso, as chuvas do mês de janeiro contribuíram apenas com 4,26% do valor anual médio do índice de erosão, e fevereiro não apresentou chuvas com características erosivas. Por outro lado, apenas o mês de novembro contribuiu com 43,33%. Entretanto, o valor anual médio do índice de erosão para esse local é relativamente baixo, concordando com as afirmações de BARROS (1) de que as precipitações de verão ali ocorridas são pouco acentuadas, pois a massa equatorial continental o atinge após ter galgado a Serra do Espinhaço.

Em Água Limpa são verificadas, aparentemente, condições peculiares, sob o aspecto de ocorrência de chuvas erosivas, porquanto elas inexisteram no período de 1968 a 1975, indicando, possivelmente, que a fisiografia local exerce grande influência sobre as características das chuvas e, conseqüentemente, sobre as magnitudes do índice de erosão potencial. Esse fato, possivelmente, pode encontrar respaldo na citação de BARROS (1), que considera a situação de Juiz de Fora (próxima de Água Limpa) como exceção, relativamente à ocorrência de chuvas provenientes da massa equatorial continental, pela sua localização num estreito vale, onde ocorrem menores precipitações, por causa da orientação do relevo. Por outro lado, as massas frias, embora possam atingir essa região, sempre o fazem com freqüência e intensidade diminuídas, em razão da influência da escarpa meridional da Mantiqueira, que limita seu avanço para o norte.

A fim de caracterizar a distribuição do índice de erosão potencial no Estado e montar um mapa isoerosivo, os valores estimados do índice de cada local foram ajustados a um mapa hipsométrico, notando-se, porém, não haver nenhuma sistematização na sua distribuição. Assume-se portanto, que, de modo geral, as maiores influências na distribuição da erosividade, para os locais estudados, são devidas às condições locais. Por exemplo, Belo Horizonte apresentou um valor igual a

210686 e Ibitiré um valor de 86133. Também Patos de Minas, Bambuí, Viçosa e Água Limpa são exemplos de locais situados relativamente próximos e com grandes diferenças no índice de erosão potencial. É possível que características fisiográficas e a localização dos postos meteorológicos expliquem as discrepâncias anteriormente mencionadas. É conveniente, pois, sob todos os aspectos, que seja estabelecida, com maior densidade, uma rede de estações munidas de pluviógrafos, sobretudo nas regiões de maior importância econômica sob o ponto de vista agrícola (Figura 1).

As diferenças de erosão potencial nos vários meses do ano, associadas com o índice médio «padrão» dos diferentes locais, são ilustradas nas Figuras 4, 5 e 6. As curvas expressam os resultados dos índices de erosão acumulados, conforme o Quadro 5, tendo sido ajustadas visualmente, segundo os vários pontos existentes. Essas curvas dão uma visão geral da concentração das unidades do índice de erosão no ano, ainda que seu valor para caracterizar um local específico não seja inteiramente confiável, em razão do reduzido número de anos registrados em algumas estações. Observa-se que as curvas têm diferentes declividades, sabendo-se que, quanto maior for a sua inclinação, para determinado período, maior será o risco de erosão do solo desprotegido. Contudo, uma rápida subida da curva evidencia a importância de uma boa cobertura vegetal para a proteção do solo, naquele período. O exame das curvas ainda deixa transparecer, por exemplo, que, embora a erosão potencial média anual de Caxambu seja maior que a de Ibitiré, até dezembro, esses dois locais apresentaram, praticamente, os mesmos problemas de erosão potencial do solo. Por outro lado, o índice de Viçosa, até novembro, supera o de Lavras, ocorrendo o contrário após o mês de dezembro. A curva relativa a Araçuaí, conforme se depreende, apresenta uma acentuada subida no mês de novembro, com uma interrupção temporária de janeiro a fevereiro, estabilizando-se, praticamente, a partir de março.

De modo geral, as curvas foram semelhantes entre si, exceto para Araçuaí, que apresenta acentuada desuniformidade. Elas demonstram, por sua vez, as diferenças significativas do índice de erosão potencial entre os locais (Quadro 5), as quais devem ser atribuídas a aspectos de natureza geográfica, conforme acentua WISCHMEIER (13).

3.2.1. *Curvas de Distribuição do Índice de Erosão*

As curvas de distribuição do índice de erosão expressam os valores percentuais da média mensal do índice, para os diferentes locais (Figuras 7 a 13). Da mesma forma, elas dão uma idéia da distribuição percentual do índice de erosão potencial durante o ano, evidenciando que há diferenças significativas na sua distribuição estacional, como acentua WISCHMEIER (10).

As curvas indicam que, até dezembro, os diferentes locais apresentaram um valor percentual acumulado do índice de erosão potencial em torno de 50,0%, excetuando-se Araçuaí, Bambuí, Caxambu e Água Limpa, com cerca de 73, 35, 38 e 39%, respectivamente. Por outro lado, de julho até setembro todos os locais o apresentaram menor que 5%, e, até fim de março, maior que 92%, à exceção de Bambuí, com 85,5%.

A natureza das curvas permite estimar a perda potencial de solo, para determinado período, como, por exemplo, o que corresponda ao ciclo vegetativo de uma cultura, ou, mais especificamente, para um período crítico relativo à erosão potencial dos solos. Dessa forma, as curvas objetivam, principalmente, viabilizar a correção do fator C (cultivo-manejo) da equação «universal» de perda de solo (1), uma vez que a proteção do solo por uma cultura depende do estágio de desenvolvimento em que ela se encontra.

Visualizando-se, em conjunto, as curvas de distribuição do índice de erosão (Figuras 7 a 13), observa-se que todas elas têm forma muito próxima de uma sigmóide, a qual expressa a distribuição das chuvas erosivas durante o ano. Tais curvas diferem, de modo geral, daquelas encontradas por WISCHMEIER (16), nos Estados Unidos, onde elas tendem a ser mais lineares.

3.2.2. *Distribuição de Frequência dos Valores Anuais do Índice de Erosão Potencial*

No estudo de distribuição de frequência realizado, pelo teste de LILLIEFORS (6), é razoável admitir, com $\alpha = 0,05$, que os valores anuais do índice de erosão têm

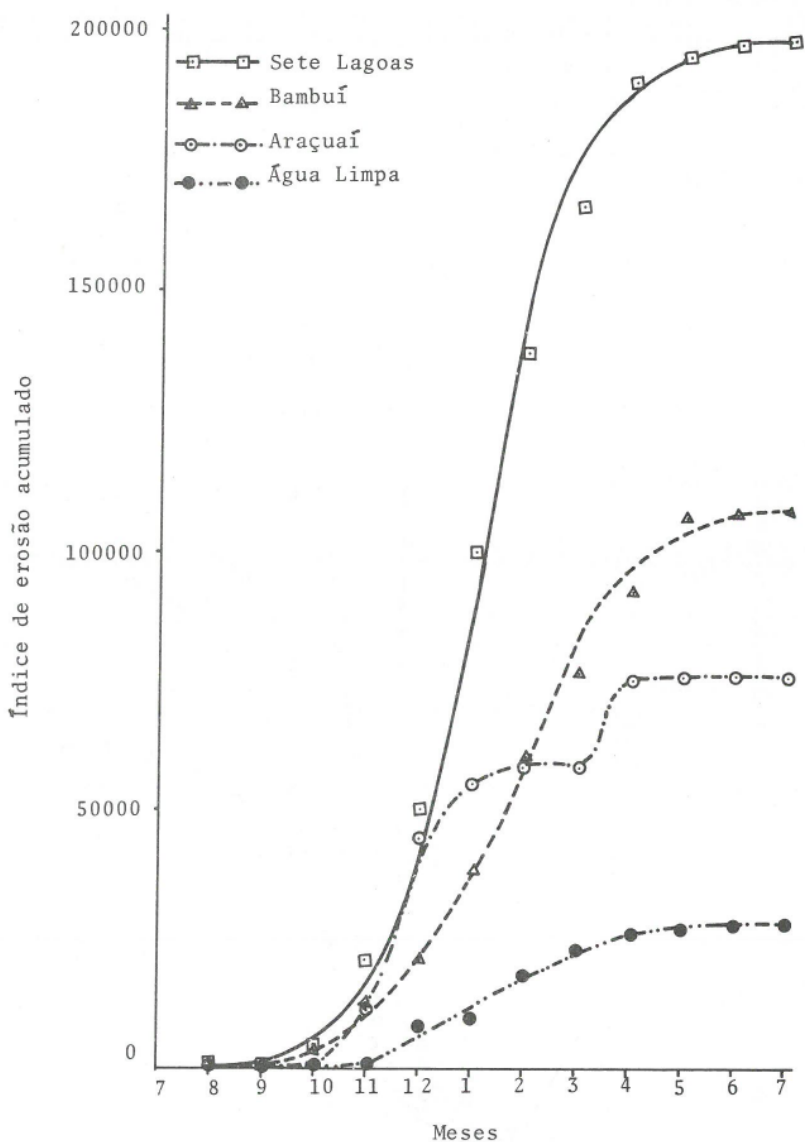


FIGURA 4 - Índice de erosão potencial das chuvas, através do ano, associado com as médias "padrão" de Sete Lagoas, Bambuí, Araçuaí e Água Limpa.

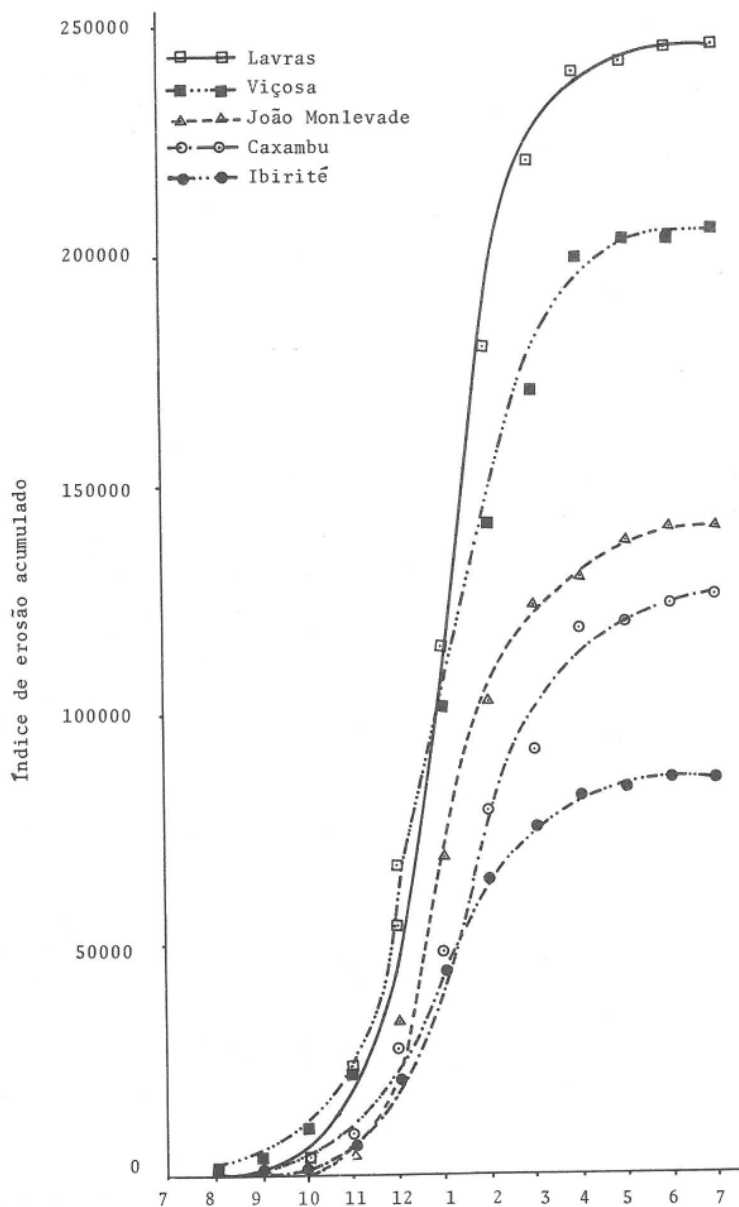


FIGURA 5 - Índice de erosão potencial das chuvas, através do ano, associado com as médias padrão de Lavras, Viçosa, João Monlevade, Caxambu e Ibiritê.

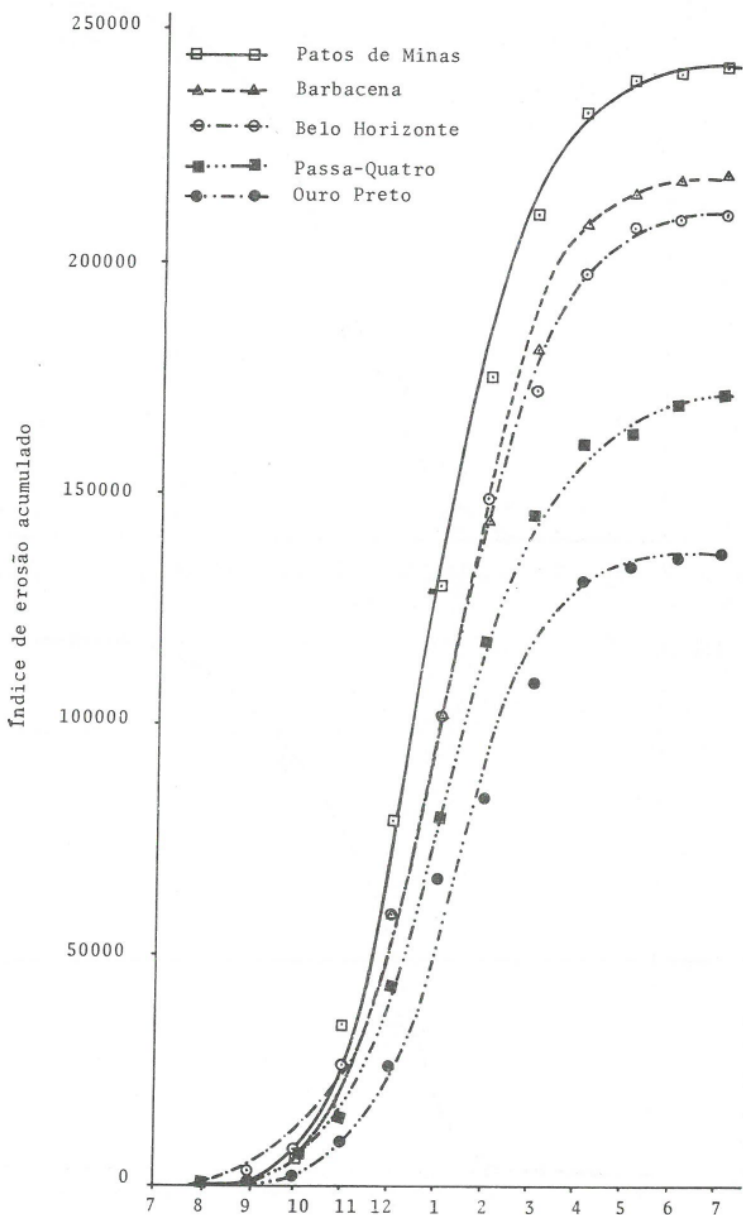


FIGURA 6 - Índice de erosão potencial das chuvas, através do ano, associado com as médias padrão de Patos de Minas, Barbacena, Belo Horizonte, Passa-Quatro e Ouro Preto

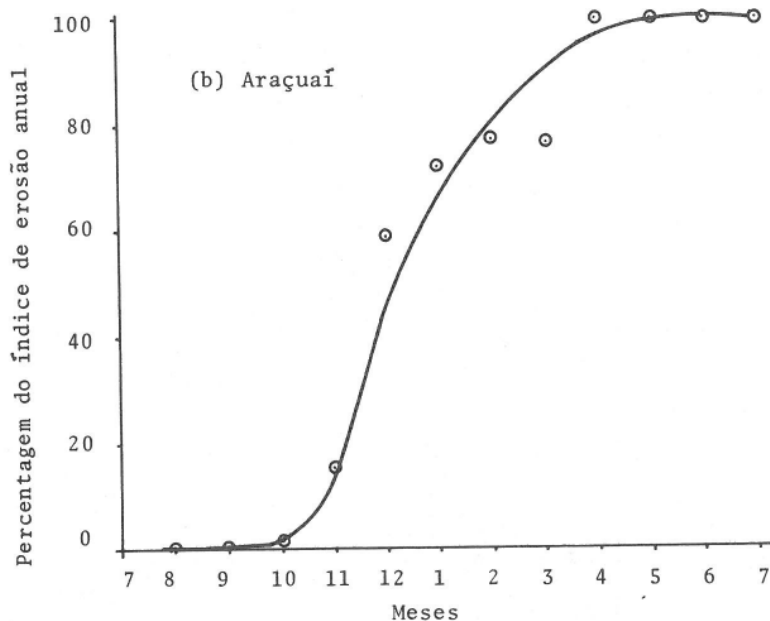
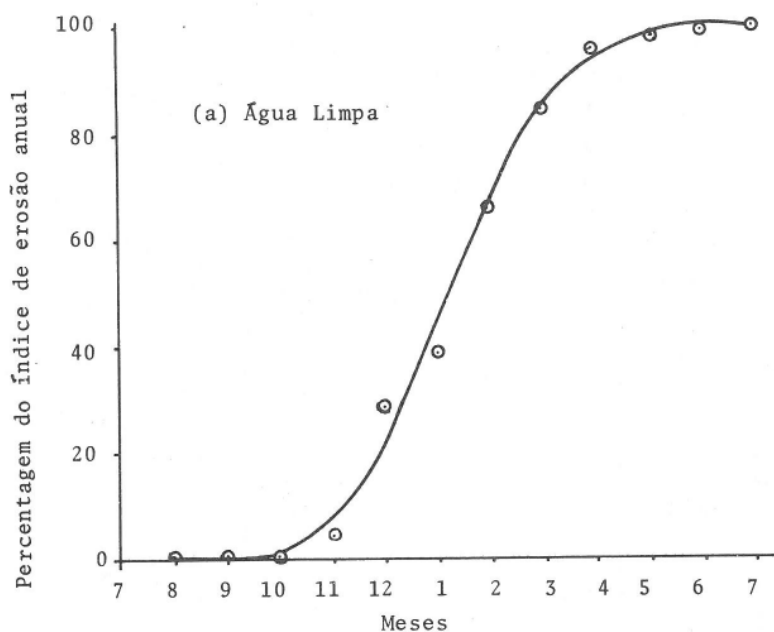


FIGURA 7 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das chuvas para Água Limpa (a) e Araçuaí (b)

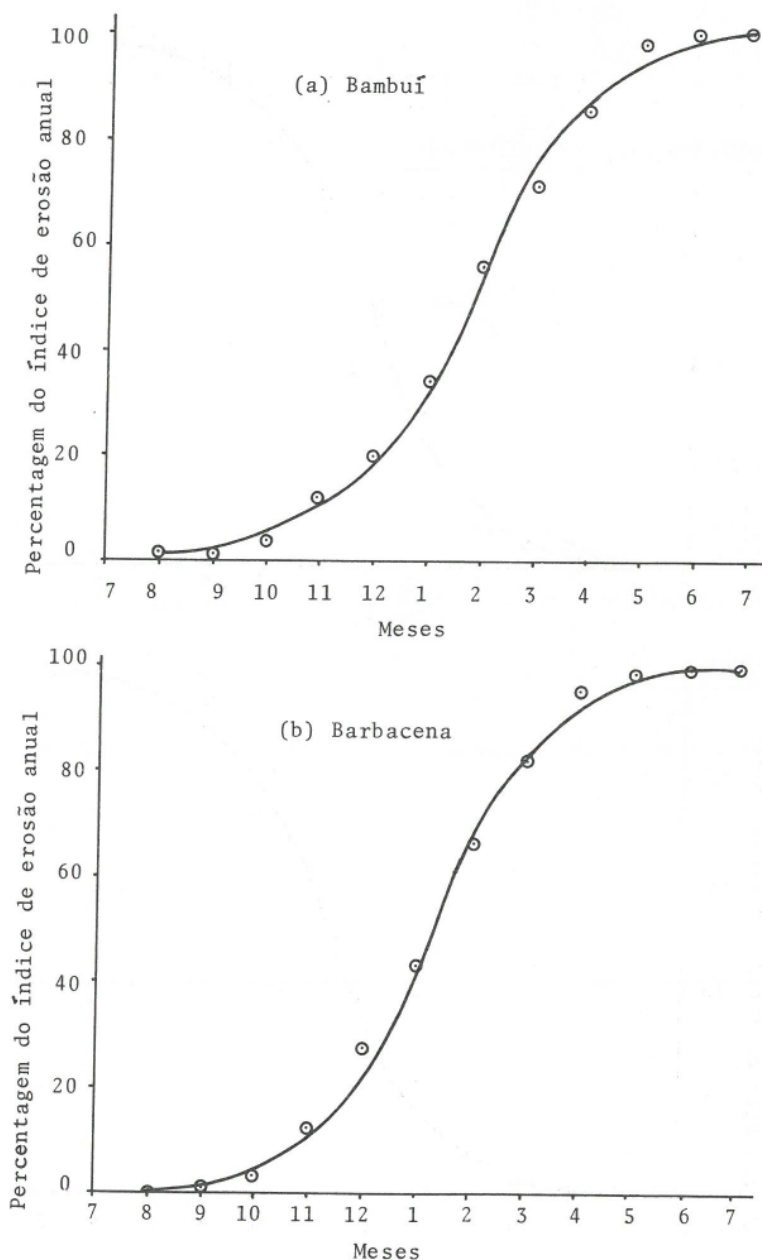


FIGURA 8 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das curvas para Bambuí (a) e Barbacena (b)

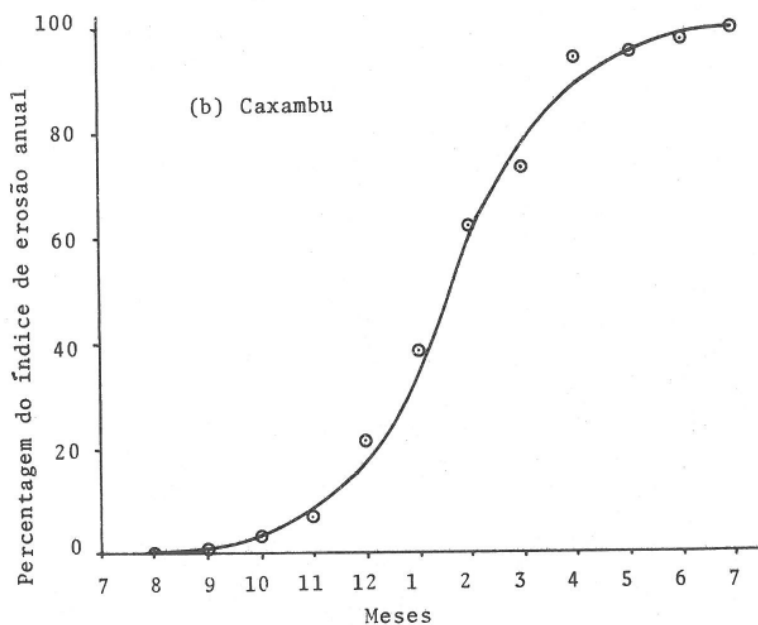
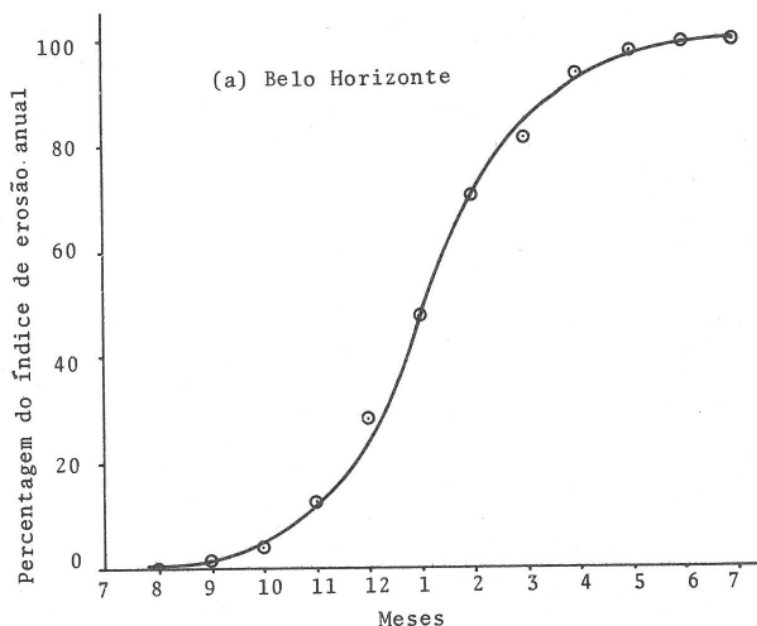


FIGURA 9 - Curvas de distribuição de erosão potencial das chuvas para Belo Horizonte (a) e Caxambu (b)

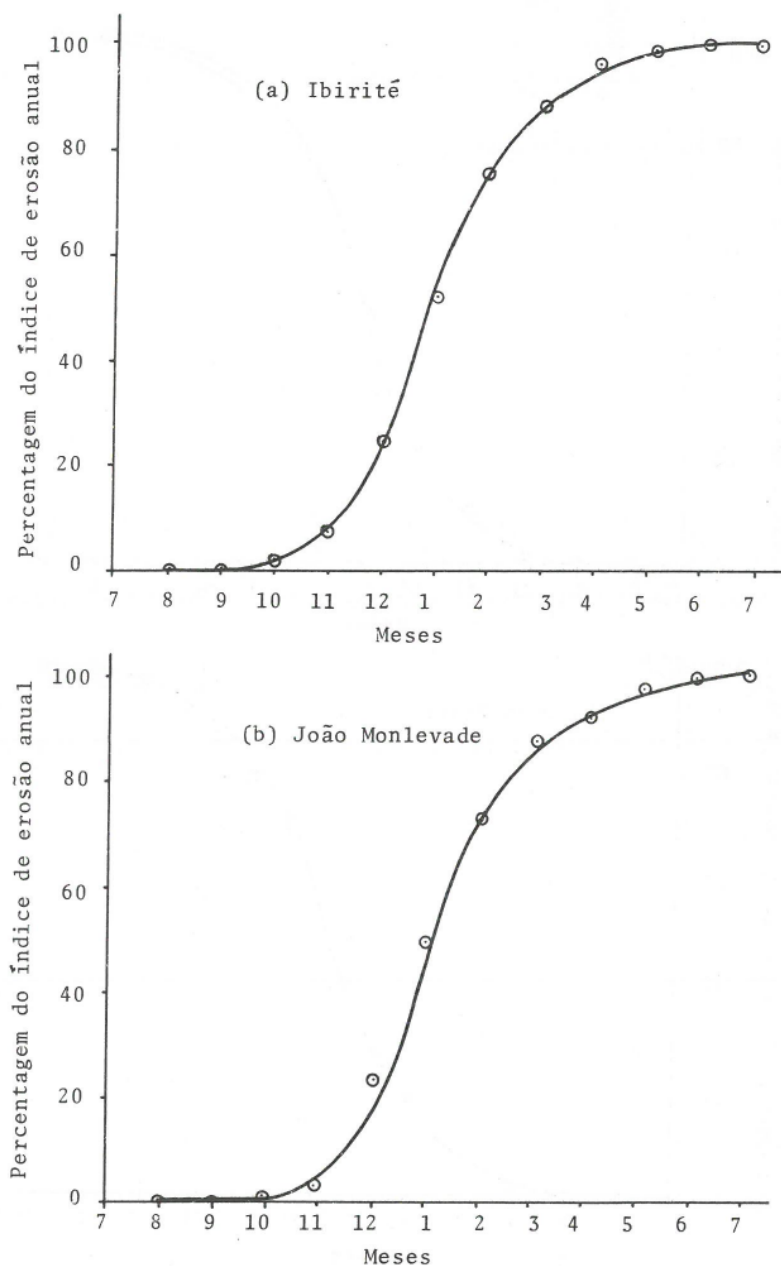


FIGURA 10 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das chuvas para Ibiritê (a) e João Monlevade (b)

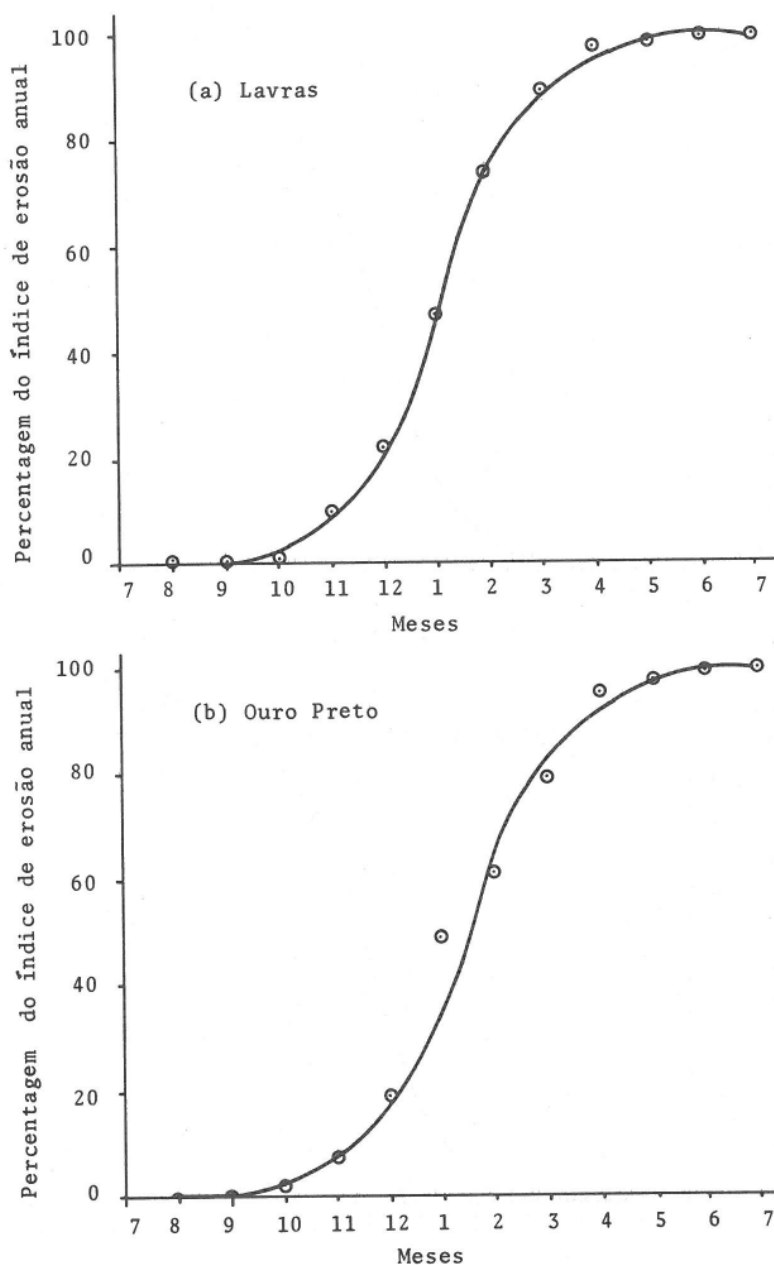


FIGURA 11 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das chuvas para Lavras (a) e Ouro Preto (b)

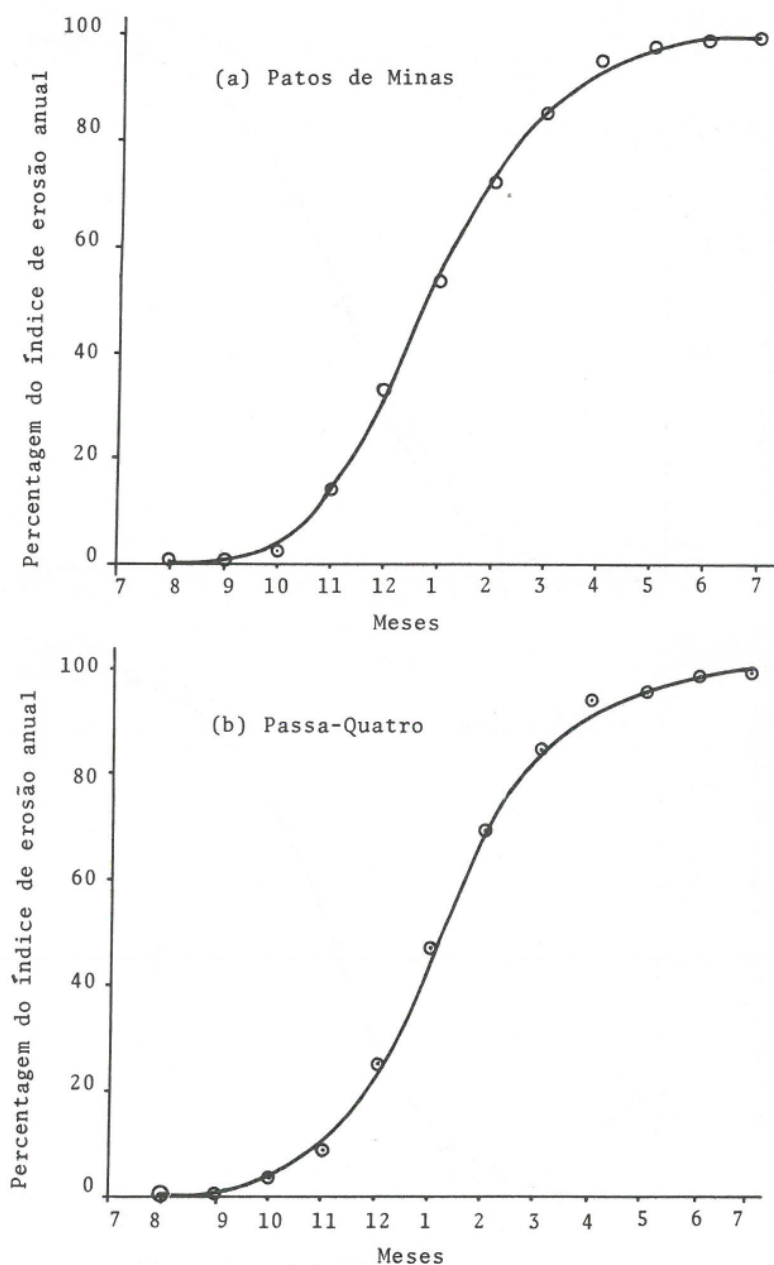


FIGURA 12 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das chuvas para Patos de Minas (a) e Passa-Quatro (b)

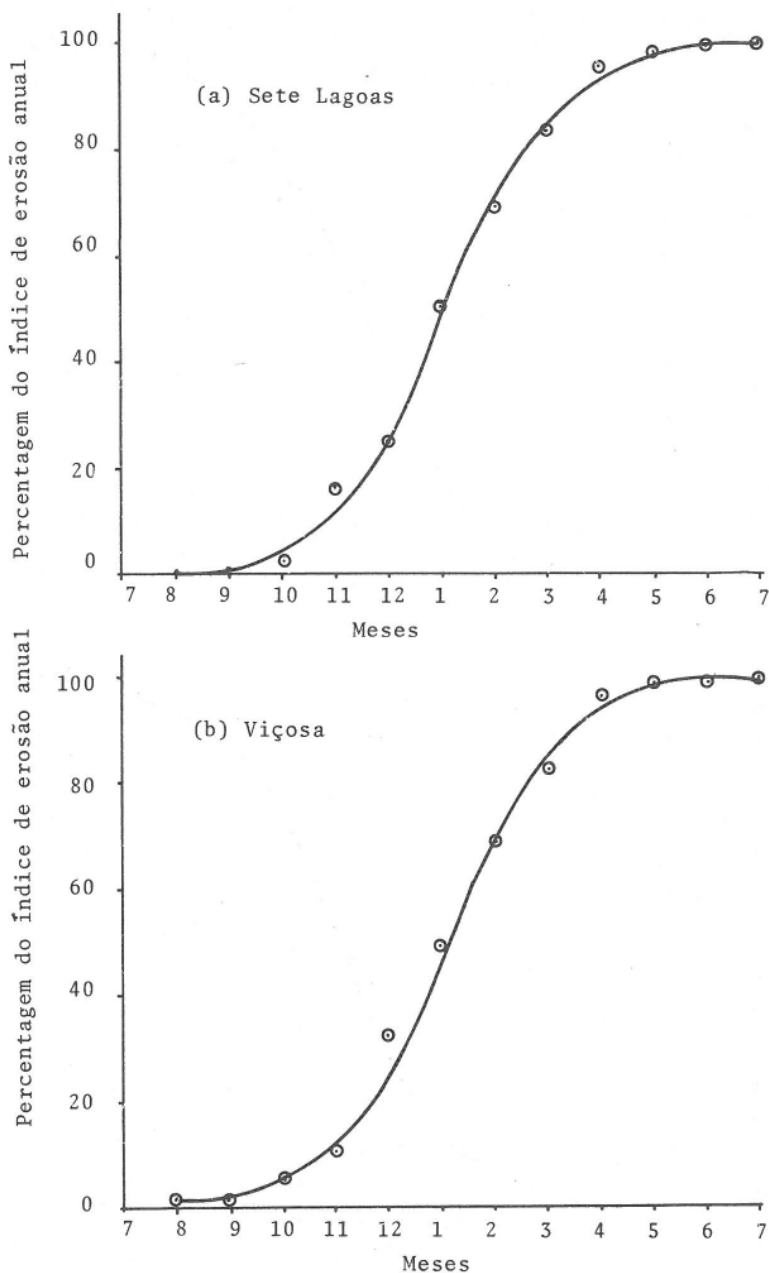


FIGURA 13 - Curvas de distribuição do índice de erosão potencial das chuvas para Sete Lagoas (a) e Viçosa (b)

uma distribuição normal para Sete Lagoas, Belo Horizonte e Barbacena, isto é, seria razoável estudá-los por meio da distribuição normal, admitida como não discrepante da verdadeira distribuição, que é desconhecida. Por outro lado, apenas para Belo Horizonte pode-se rejeitar, ao nível de 5% de probabilidade, a hipótese de que os índices têm uma distribuição log-normal.

Em sentido global, é possível que seja mais conveniente admitir que os valores anuais do índice de erosão se aproximem mais de uma função de distribuição normal que de uma log-normal. WISCHMEIER (10) relata que as distribuições de frequência dos valores anuais do índice de erosão em vasta área do leste dos Estados Unidos não diferem da distribuição log-normal, pelo teste do qui-quadrado.

A Figura 14 evidencia as curvas de probabilidade dos valores anuais dos índices de erosão potencial para Sete Lagoas, Belo Horizonte e Barbacena, baseadas em 37, 22 e 31 anos de registro, respectivamente. De acordo com o teste aproxima-

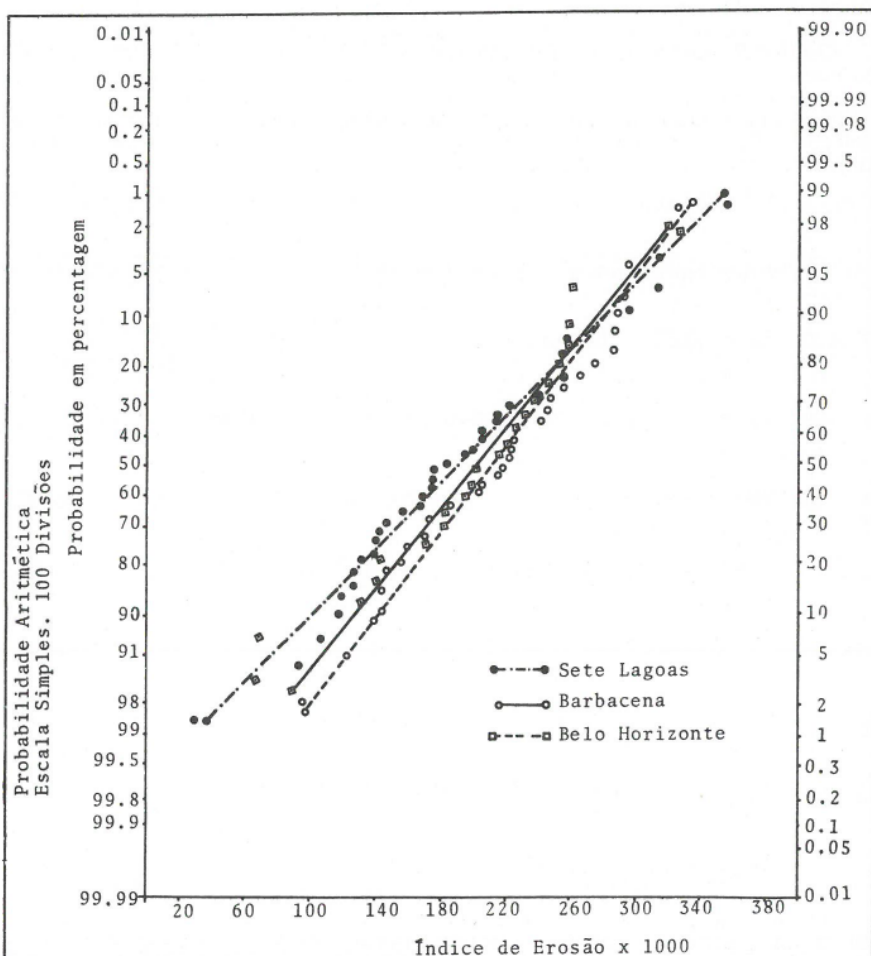


FIGURA 14 - Curvas de probabilidade para os valores anuais do índice de erosão em Barbacena, Sete Lagoas e Belo Horizonte.

do à normalidade dessas curvas, observa-se que, de modo geral, os locais têm, para um mesmo valor do índice, diferentes probabilidades. Por exemplo, as probabilidades de ocorrência de valores anuais do índice de erosão iguais ou superiores a 160000 são, aproximadamente, 83, 76 e 67%, para Barbacena, Belo Horizonte e Sete Lagoas, respectivamente. Por outro lado, em determinado nível de probabilidade, espera-se, para os três locais, diferentes valores do índice de erosão potencial.

3.3. Efeito da Conversão de Unidades Sobre o Valor do Índice de Erosão da Equação (1)

Os trabalhos básicos, relativos à equação «universal» de perdas de solo, foram elaborados nos Estados Unidos, segundo as unidades do sistema inglês. A utilização de tais subsídios no Brasil implica, necessariamente, o ajustamento das unidades ao sistema aqui prevalente (sistema métrico decimal). Uma consequência de tal procedimento, julgada importante, ocorre quando da determinação do equivalente da equação de energia (2), proposta por WISCHMEIER e SMITH (14), em função da intensidade da chuva, o que implicou a conversão de unidades do sistema inglês, utilizado pelos autores citados, para o sistema métrico decimal.

O fator R representa o número de unidades do índice de erosão, sendo função da energia das chuvas e da intensidade máxima em 30 minutos de cada chuva. No sistema inglês, a energia se obtém com a equação (2), que é função da intensidade da chuva em polegadas/hora, dando a energia em toneladas curtas-pé/acre-polegada. Para se determinar um equivalente dessa equação, em função da intensidade da chuva em mm/h, tem-se a seguinte conversão:

1 tonelada curta = 0,90718474 toneladas métricas

1 pé = 0,3048 m

1 polegada/hora = 25,4 mm/h

1 acre = 0,40468564 ha

Na equação, tem-se:

1 tonelada curta-pé = 0,90718474 tonelada 0,3048 metro =

acre-polegada 0,40468564 ha x 25,4 mm

0,2765098 t.m = 0,0269004 t.m , logo

10,279014 ha.mm ha.mm

a equação resulta em

$Y = 916 (0,0269004) + 331 \log_{10} X (0,0269004)$

$t.m/ha.mm = 24,64076 + 8,90403 \log_{10} X$ (4)

Ao converter $\log X$, tem-se

para $X = 1$ polegada = 25,4 mm, tem-se:

$\log_{10} 1 = 0$, e Diferença = 1,404833

$\log_{10} 25,4 = 1,404833$

Para $X = 2$ polegadas = 50,8 mm, tem-se:

$\log_{10} 2 = 0,30103$ Diferença = 1,404833

$\log_{10} 50,8 = 1,70586$

Observa-se que, ao aplicar milímetros em vez de polegadas, o $\log_{10} X$ aumenta numa quantidade constante, equivalente a 1,404833; conseqüentemente, ao usar-se mm/h na equação (4), estar-se-á multiplicando o valor 8,90403 por 1,404833 a mais do que se multiplicasse somente por polegada/hora. O produto 1,404833 x 8,90403 dá 12,50867, que representa um incremento ao valor do segundo termo da equação (4), levando, assim, a uma desigualdade. Contudo, como essa diferença é sempre a mesma, pode-se diminuir da constante 24,64076 o valor do produto ante-

riormente citado, mantendo, dessa forma, a igualdade da citada equação (7). Assim, tem-se:

$$Y = 24,64076 - 12,50867 + 8,90403 \log_{10} X$$

$$Y = 12,13210 + 8,90403 \log_{10} X \quad (5)$$

sendo

$$Y = \frac{t.m}{ha.mm} \quad e, \quad X = \frac{mm}{h}$$

Utilizando-se a fórmula (5), obtém-se a energia para um determinado período de intensidade uniforme por unidade de altura de água caída. Multiplicando a energia pelo número de unidades de altura de água caída, tem-se a energia para o período considerado, em t.m./ha.

O fator K , ou erodibilidade do solo, é expresso em unidades de perdas de solo por unidade de índice de erosão:

$$K = \frac{A}{R} = \frac{t/ha}{\frac{t.m}{ha} \times \frac{mm}{h}}$$

Quando o valor de K for obtido da equação em unidades do sistema inglês, e caso interessar a sua conversão para unidades do sistema métrico, tem-se que

$$A = \frac{\text{tonelada curta}}{\text{acre}} = \frac{0,907184 \text{ t}}{0,404685 \text{ ha}} = 2,24170 \frac{\text{t}}{\text{ha}}$$

Para converter R em unidades métricas:

$$\frac{\text{tonelada curta-pé}}{\text{acre}} \times \frac{\text{polegada}}{\text{hora}} = \frac{0,2765098 \text{ t.m}}{0,404685 \text{ ha}} \times 25,4 \frac{\text{mm}}{\text{h}} =$$

$$17,3551 \frac{t.m}{ha} \times \frac{mm}{h} \quad \text{logo,}$$

o fator de conversão do valor K , expresso em unidades do sistema inglês, para o uso em unidades do sistema métrico, é

$$K = \frac{2,2417}{17,3551} = 0,12916$$

Como resultado, os valores do índice de erosão obtidos, no sistema métrico, em t.m/ha x mm/h apresentam valores 17,35 vezes maiores que aqueles alcançados, com base no sistema inglês, em t pé/acre x pol. h. Por isso mesmo, para se fazer um estudo comparativo dos valores do índice, expressos nos dois sistemas de unidades mencionados, deve-se levar em conta um fator de correção correspondente a 17,35.

Os fatores L , S , C e P são relações de perdas de solo para determinadas condições relacionadas com um padrão, cujas perdas de solo são conhecidas. Consequentemente, dão valores adimensionais.

Os fatores R e K são funções das unidades que lhes dão origem; daí a necessidade de expressarem suas equivalências no sistema métrico.

Nos Estados Unidos (16, 13), os valores do fator R , representativos para 37 estados, variaram de 5000 a 60000 t-pé/acre x pol/h, que correspondem a 86775 e a 1641300 t.m/ha x mm/h. Por sua vez, para os 14 locais estudados em Minas Gerais, segundo a metodologia empregada neste trabalho, o fator R variou de 28043

a 246431 t.m/ha x mm/h. Considera-se que os valores aqui obtidos sejam relativamente inferiores aos dos Estados Unidos, porque nas condições norte-americanas as chuvas são consideradas como individuais, para o cálculo do índice de erosão, quando ocorrem espaçadas uma da outra de 6 horas. Já neste trabalho elas foram estudadas isoladamente sempre que houvesse uma interrupção, o que nos sugere ter havido maior número de chuvas consideradas como individuais, assim como maior proporção de chuvas menores que 12,7 mm, as quais foram desconsideradas no cálculo. Todavia, torna-se necessário definir, para as nossas condições, o tempo para que o efeito de uma chuva ocorrida anteriormente não influencie a ação de uma chuva que venha a ocorrer. Tal condição depende da velocidade de infiltração da declividade, da evaporação, etc., e, portanto, varia de local para local (7).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho se baseou em dados de registros de chuvas em pluviogramas e provenientes de 14 estações meteorológicas, da rede do 5.º Distrito de Meteorologia do Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

Pretendendo adicionar subsídios indispensáveis ao planejamento conservacionista dos solos, pela avaliação da erosividade das mencionadas chuvas, teve-se como objetivo determinar o fator R (índice de erosividade das chuvas) da equação «universal» de perdas de solo, determinar as curvas de distribuição do índice de erosão, durante o ano, analisar a distribuição de frequência dos valores anuais do índice e estabelecer uma metodologia para obtenção do índice, segundo a conversão das unidades relativas aos fatores da equação do sistema inglês para o sistema métrico decimal.

O procedimento adotado para o cálculo do índice de erosão potencial foi desenvolvido nos Estados Unidos, considerando todas as chuvas com pelo menos 30 minutos de duração contínua e 12,7 mm de altura. O valor do índice de erosão considerado resultou do produto da energia total de uma chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. O fator R representativo de cada local foi obtido pela soma dos valores médios mensais do índice de erosão das chuvas que ocorreram durante o ano.

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

1. Os índices de erosão potencial das chuvas apresentam, para os diferentes locais estudados, diferenças significativas entre si, em razão de características fisiográficas e localização dos postos meteorológicos. Água Limpa apresentou, aparentemente, condições peculiares sob o aspecto de ocorrência das chuvas erosivas.
2. A uniformidade da distribuição do índice de erosão varia de local para local de forma pouco acentuada, ocorrendo uma discrepância em relação a Araçuaí.
3. Não há, aparentemente, nenhuma tendência de distribuição sistemática do índice de erosão potencial no Estado de Minas Gerais.
4. As chuvas com maior duração e/ou quantidade não são, necessariamente, as que apresentam maior índice de erosão potencial.
5. As curvas de distribuição do índice de erosão evidenciam que há diferenças significativas na distribuição estacional deste.
6. De modo geral, os maiores valores médios do índice de potencial ocorrem, principalmente, em dezembro e janeiro. Entretanto, há uma concentração das unidades do índice no período de outubro a março, representando mais de 90% do potencial anual.
7. Pode-se admitir que os valores anuais do índice de erosão têm distribuição normal para Sete Lagoas, Belo Horizonte e Barbacena.
8. Uma rede mais ampla de estações meteorológicas no estado, sobretudo nas regiões de maior importância agrícola, é fator decisivo para uma melhor e mais apropriada esquematização regional da distribuição do índice de erosão potencial.

5. SUMMARY

Using rainfall data from rain gauge records from 14 meteorological stations, a study was carried out of the erosivity of rainfall at selected localities in Minas Ge-

rais State, Brazil. All 14 stations belong to the Fifth Meteorological District of the National Institute of Meteorology of the Ministry of Agriculture. The rainfall factor R (rainfall erosion index) of the universal soil loss equation and erosion index distribution curves for the year were determined, and frequency distribution of the annual values was analyzed. An attempt was made to establish a methodology to obtain the index according to metric equivalents of the English system for the equation factors.

Evaluation of erosivity of rainfall is essential for soil conservation planning. The procedure adopted to calculate potential erosion index was developed in the United States, taking into consideration all rainfalls of at least 30 minutes' continuous duration and of 12.7 mm. The value of the erosion index considered resulted from the product value of total kinetic energy of rainfall times its maximum 30-minute intensity. The rainfall factor R representative of each location was obtained by the sum of the monthly mean values of erosion index that occurred during the year.

The results obtained permit the following conclusions:

1. The potential erosion index for the different locations studies shows significant differences due to physiographic characteristics and location of meteorological stations. Água Limpa presented, apparently, distinctive conditions as to occurrence of erosive rainfall.
2. The uniformity of erosion index distribution does not vary much from location to location with the exception of a discrepancy in relation to Araçuaí.
3. Apparently there is no tendency to a systematic distribution of the potential erosion index in Minas Gerais.
4. Rainfalls with greater duration and/or intensity do not necessarily present greater potential erosion index.
5. Erosion index distribution curves show that there are significant differences in their seasonal distribution.
6. Generally, the greater mean values of potential erosion index occur mainly in December and January; nevertheless, there is a concentration of index units in the period from October to March, representing more than 90% of the annual potential.
7. The annual values of the erosion index have a normal distribution for Sete Lagoas, Belo Horizonte and Barbacena.
8. A more concentrated dense network of meteorological stations Minas Gerais, especially in major agricultural areas, is essential for a better and more appropriate regional schematization of the potential erosion index distribution.

6. LITERATURA CITADA

1. BARROS, L.F. de. *Esboço climatológico da região leste brasileira*. Rio de Janeiro, IBGE, 1968. Separata da *Revista Brasileira de Geografia*, 29/30 (2-4 e 1): 1-19, 1967/1968.
2. CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. 2.^a ed. Piracicaba, ESALQ, 1976. 332 p.
3. FAO. *La erosion del suelo por el agua — Algunas medidas para compartirla en las tierras de cultivo*. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1967. 207 p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario n.º 81).
4. HALD, A. *Statistical theory with engineering applications*. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1952. 783 p.
5. HUDSON, N. *Soil conservation*. New York, Cornell University Press Ithaca, 1971. 320 p.
6. LILLIEFORS, H.W. On the Kolmogorov — Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *J. Amer. Statist. Ass.*, 62:399-402. 1967.
7. RICORDI, A.D. & ITURRI, M.P. *La equacion universal de perdida de suelo y*

su aplicacion al planejamento del uso de las tierras agricolas. Lima, Programa de Conservacion de suelos, 1967. 77 p. (Pub. n.º 2).

8. RODRIGUES, D.M.S. Condições climáticas de Minas Gerais. *Boletim Mineiro de Geografia*, 7 (12):3-36. 1966.
9. SPRINGER, D.K., BREINNIG, C.B. & SPRINGER, M.E. Predicting soil losses in Tennessee. *Soil Water Conserv.*, 18:157-158. 1963.
10. WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23(3):246-249. 1959.
11. WISCHMEIER, W.H. Cropping — management factor evaluations for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24(4):322-326. 1960.
12. WISCHMEIER, W.H. A universal soil loss equation to guide conservation farm planning In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7.º, Madison, 1960. *Transactions*, Madison, 2:418-425. 1960.
13. WISCHMEIER, W.H. Rainfall erosion potential — Geographic and location differences of distribution. *Agr. Eng.*, 43(4):212-215, 225. 1962.
14. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Un.*, 39(2):285-291. 1958.
15. WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. & UHLAND, R.E. Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agr. Eng.*, 39(8):458-462. 1958.
16. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains — Guide selection of practices for soil and water conservation.* Washington, USDA. 47 p. (Agriculture Handbook n.º 282).