

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM A PRECIPITAÇÃO EM ÓBIDOS-PA (BRASIL)

RAINFALL EROSIVITY: DISTRIBUTION AND CORRELATION WITH PRECIPITATION IN ÓBIDOS-PA (BRAZIL)

EROSIVIDAD DE LA LLUVIA: DISTRIBUCIÓN Y CORRELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN EN ÓBIDOS-PA (BRASIL)

Amanda Gama Rosa

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Belém, Brasil
amandagamarosa@gmail.com

Adriano Marlisom Leão de Sousa

Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Socioambiental e dos Recursos
Hídricos, Belém, Brasil
marlisoms@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho buscou determinar o valor do índice erosividade da chuva para Óbidos/PA, além de avaliar o seu período de retorno e probabilidade de ocorrência, analisar a distribuição anual deste índice e correlacioná-lo com a precipitação local. Para isto, utilizaram-se dados de precipitação, de 1986 a 2015, de uma estação meteorológica do INMET localizada no município. A partir destes, calculou-se o índice de erosividade para todos os anos de análise, gerando um índice final. Calculou-se a frequência dos valores dos índices e os períodos de retorno correspondentes, que foram plotados em curvas de probabilidade de ocorrência para análise. Realizaram-se análises de regressão para analisar a relação entre a erosividade e a precipitação. No período de análise, a erosividade da chuva para Óbidos foi $13.361 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com probabilidade de 52% de ser equiparado ou excedido pelo menos uma vez a cada 2 anos. Este valor do índice de erosividade classificou a região em área de Muito Alta Erosividade. Nos meses de fevereiro, março e abril são esperados os maiores riscos de erosão, com 60,88% do valor total da erosividade anual. Na análise de regressão, o modelo matemático que apresentou melhor correlação foi o linear ($r^2 = 0,9991$).

Palavras-chave: Perda de solo; Comportamento da precipitação; Distribuição anual.

ABSTRACT

This study aimed to determine the value of rainfall erosivity index for Óbidos/PA, and to evaluate your return period and probability of occurrence, to analyze the annual distribution of this index and correlate it with the local rainfall. For this, was used rainfall data, from 1986 to 2015, from a meteorological station of INMET in the city. From these, it calculated the erosivity index for all years of analysis, generating a final index. Were calculated the frequency of index values and return periods corresponding, that were plotted on probabilities curves for analysis. Regression analyzes were performed to examine the relationship between the erosivity and precipitation. In the analysis period, the rainfall erosivity for Obidos was $13.361 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, with a probability of 52% to be equated or exceeded at least once every 2 years. This value erosivity index has classified the region of Very High Erosivity. In the months of February, March and April are expected the biggest

risks of erosion, with 60.88% of the total annual erosivity. In regression analysis, the mathematical model showed better correlation was the linear ($r^2 = 0.9991$).

Keywords: Loss of soil; Rainfall behavior; Annual distribution.

RESUMEN

Este trabajo buscó determinar el valor del índice erosividad de la lluvia para Óbidos / PA, además de evaluar su período de retorno y probabilidad de ocurrencia, analizar la distribución anual de este índice y correlacionarlo con la precipitación local. Para ello, se utilizaron datos de precipitación, de 1986 a 2015, de una estación meteorológica del INMET ubicada en el municipio. A partir de estos, se calculó el índice de erosividad para todos los años de análisis, generando un índice final. Se calculó la frecuencia de los valores de los índices y los períodos de retorno correspondientes, que fueron trazados en curvas de probabilidad de ocurrencia para análisis. Se realizaron análisis de regresión para analizar la relación entre la erosividad y la precipitación. En el período de análisis, la erosividad de la lluvia hacia Óbidos fue de $13.361 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con una probabilidad de que el 52% se asimiló o se superó al menos una vez cada 2 años. Este valor del índice de erosividad clasificó la región en área de Muy alta Erosividad. En los meses de febrero, marzo y abril se esperan los mayores riesgos de erosión, con un 60,88% del valor total de la erosividad anual. En el análisis de regresión, el modelo matemático que presentó mejor correlación fue el lineal ($r^2 = 0,9991$).

Palabras clave: Pérdida de suelo; Comportamiento de la precipitación; Distribución anual.

INTRODUÇÃO

Os desastres decorrentes de fenômenos naturais são uma questão recorrente na realidade do Brasil e do mundo, oriundos de diversos fenômenos naturais. Apesar de ter causas especialmente naturais, o que se observa hoje é a intensificação desses desastres naturais sob influência da ação antrópica e da urbanização descontrolada (MELLO et al., 2006). Nos últimos anos foi observado um significativo crescimento na frequência e intensidade destes desastres, resultando na maximização dos seus impactos (CEPED, 2013).

Dentre estes, destacam-se os eventos de erosivos, caracterizados por um processo que ocorre naturalmente envolvendo as seguintes etapas: remoção de partículas, transporte e deposição lenta ou acelerada de materiais, sejam eles formados por rochas, solos ou depósitos superficiais inconsolidados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; BONNA, 2011). Existem diversos tipos de erosão, porém a erosão hídrica é o tipo mais comum no Brasil e, dessa forma, esta tem recebido especial atenção quanto ao gerenciamento do solo e da água, devido ao amplo potencial de desencadear problemas de caráter ambiental, econômico e social, essenciais para um ecossistema equilibrado (SANTOS et al., 2010).

A chuva é um dos principais agentes responsáveis pela energia necessária para a ocorrência da erosão, tanto pelo impacto direto sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir escoamento superficial (PRUSKI, 2009). Assim, se torna necessário de imediato avaliar e propor soluções para esta problemática. Diante disso, a modelagem do

processo de erosão surge como uma alternativa para o entendimento da dinâmica deste fenômeno natural e para o planejamento e conservação do solo.

Nesse contexto, atuando como um modelo matemático capaz de prever a perda de solos tem-se a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) (ou USLE – Universal Soil Loss Equation, traduzida para o inglês) (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A EUPS é uma ferramenta bastante utilizada para estimar a perda de solo e/ou estimar valores numéricos de diferentes componentes dos processos erosivos, sendo bastante útil para o planejamento conservacionista. Esta equação apresenta-se da seguinte forma:

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

Onde A é a perda média anual de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), R é o fator de erosividade da chuva anual ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$), K é o fator de erodibilidade do solo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$), L é o fator de comprimento da rampa, S é o fator de declividade do terreno, C é o fator de manejo e cobertura do solo e P é o fator de práticas conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erosividade da chuva, fator R , foco deste estudo, consiste em uma interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a superfície do solo. Essa interação pode resultar em um menor ou maior grau de desprendimento e transporte de partículas do solo de acordo com a quantidade de energia e intensidade da chuva, considerando o mesmo tipo de solo, mesmas condições topográficas, de cobertura de solo e manejo (WISCHMEIER; SMITH, 1978; HUDSON, 1971).

Este parâmetro, desenvolvido nos EUA (WISCHMEIER; SMITH, 1978), é muito aplicado em regiões tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil nos trabalhos de Carvalho et al. (2010) para o município de Seropédica (RJ), Gonçalves (2002) no estado do Rio de Janeiro, Montebeller (2005) em Magé (RJ), Aquino et al. (2006) nas terras secas do estado do Piauí, Almeida et al. (2009) na Serra do Tepequém (RR), Alvarenga et al. (1998) para a região de Sete Lagoas (MG), Silva et al. (2010) para o Centro-Leste de Minas Gerais, Bazzano et al. (2007) em Quaraí (RS), Cassol et al. (2008) em São Borja (RS), Oliveira Jr e Medina (1990) no estado do Amazonas, Dias e Silva (2003) no Ceará, , entre vários outros.

Tendo este fator como um dos principais na análise de perda de solos e sendo a precipitação sua principal variável e um dos agentes ativos mais atuantes nos processos de erosão hídrica, é fundamental avaliar o provável comportamento do solo às diferentes

precipitações. Assim, podem-se prognosticar períodos do ano em que sejam mais prováveis as ocorrências de processos erosivos e, a partir disto, planejar e informar as comunidades.

Nesse contexto, o município de Óbidos, localizado no noroeste paraense, se destaca quando se trata de processos erosivos, sendo o segundo município do estado com mais casos de eventos erosivos registrados oficialmente pela defesa civil entre 1991 e 2012 (CEPED, 2013). Deste modo, este foi selecionado para a área de interesse deste trabalho em função das suas particularidades e seus problemas erosivos antecedentes.

A limitação de conhecimentos sobre a erosividade da chuva na área de estudo compõe um obstáculo ao planejamento de controle da erosão e ao manejo racional dos solos da região. Dessa forma, este estudo objetiva: (a) determinar o fator erosividade da chuva para o município de Óbidos (PA), assim como o seu período de retorno e sua probabilidade de ocorrência; (b) analisar a distribuição anual do índice de erosividade, e (c) correlacionar a erosividade média mensal com o coeficiente de chuva do local.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Óbidos, localizada na região norte do território brasileiro, no noroeste do estado do Pará e na Mesorregião do Baixo Amazonas, com sede municipal localizada na latitude $01^{\circ}55'03''\text{S}$ e longitude $55^{\circ}31'05''\text{W}$ (Figura 1) (IBGE).

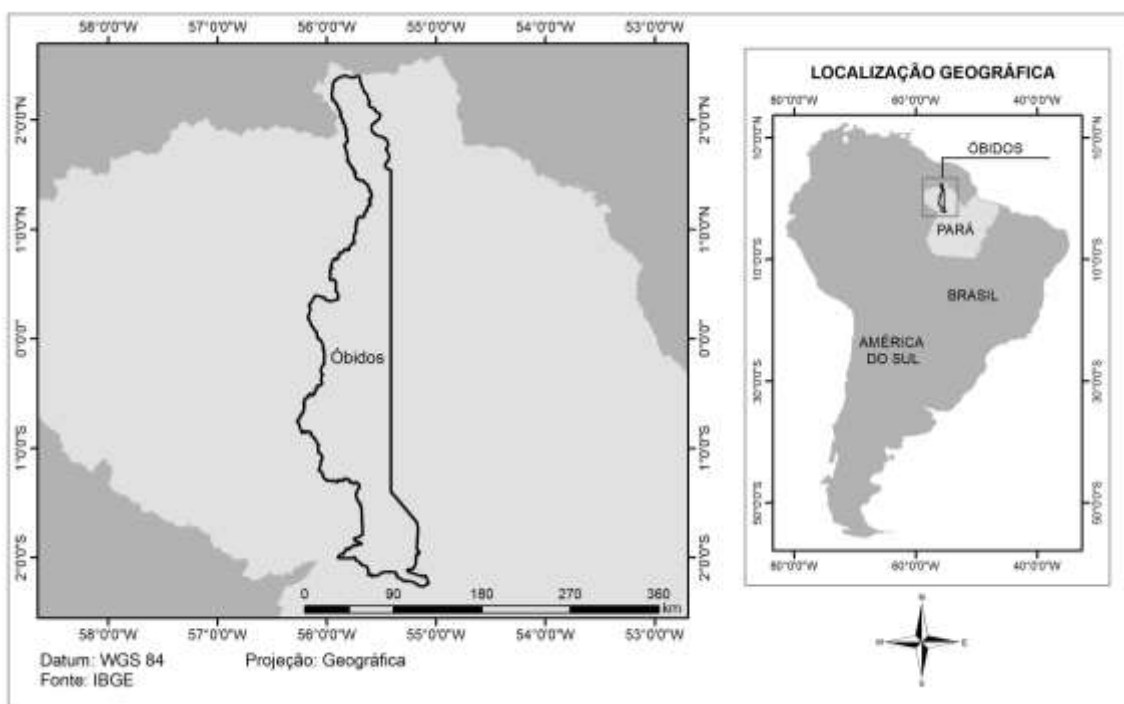


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autores.

A média anual de precipitação no município é de 1.948,9 mm e o tipo climático dominante na região é Am, de acordo com a classificação de Koppen, simplificada por Setzer (1966), caracterizado por um clima tropical de monção, com moderada estação seca e com precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. O ano hidrológico da região do município se inicia em dezembro com a estação chuvosa e termina em novembro, com o encerramento da estação seca (INMET). As perdas de solo se intensificam entre janeiro e maio, período de elevada precipitação no município.

Para alcançar os objetivos deste estudo foram usados dados observados de precipitação obtidos a partir de estação meteorológica localizada no município, disponibilizados pelo banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, o BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) (<http://www.inmet.gov.br/portal/>).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990) e assim como aplicado em diversos estudos que abordam a erosividade da chuva, a exemplo de Carvalho et al. (2010), Aquino et al. (2006), Waltrick (2010), Bazzano et al. (2007), Cassol et al. (2008), Dias e Silva (2003), Colodro et al. (2002), Bazzano et al. (2010) e Hickmann et al. (2008), a condição ideal seria trabalhar com uma série de dados de precipitação de ao menos 20 anos de dados, embora seja possível estimar a erosividade com séries de dados mais curtas, com cerca de 7 a 10 anos de dados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; MANNAERTS; GABRIELS, 2000). Dessa forma, este trabalho adotou uma série de dados de precipitação superior a 20 anos, mais especificamente 27 anos de dados de precipitação, excluídos os dados dos anos 1998, 1999 e 2004 da série 1986-2015.

Os passos traçados neste estudo seguiram a metodologia também adotada por Rosa et al. (2016), onde foram determinados os índices de erosividade da chuva, seguidos dos seus períodos de retorno e probabilidade de ocorrência e sua correlação com o coeficiente de chuva local.

A erosividade da chuva consiste, basicamente, na capacidade potencial da chuva em provocar o processo erosivo. O índice de erosividade originalmente indicado foi o EI30, sugerido por Wischmeier e Smith (1978), que era determinado a partir do produto entre a energia cinética da chuva e a intensidade máxima ocorrida em 30 minutos, porém exigia grande quantidade de dados específicos de precipitação e grande trabalho, o que era um obstáculo (HUDSON, 1971; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; BERTOL, 1993; SILVA, 1997). A partir de então, outros trabalhos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999; MARQUES, 1996) foram sendo elaborados de modo a simplificar a obtenção de informações

sobre a erosividade de dada região, dentre eles o de Silva (2004), com metodologia aplicada para este estudo.

A metodologia sugerida por Silva (2004) permite calcular a erosividade da chuva mensal e anual a partir de dados mensais e anuais de precipitação. Silva (2004) propôs que o Brasil fosse dividido em oito regiões homogêneas em termos de precipitação, sendo que cada região possuiria uma equação específica de acordo com as suas condições regionais. O município de Óbidos, área de interesse deste estudo, está contido na região dois desta divisão (Figura 2), que possui método instituído por Moraes et al. (1991) de acordo com a equação abaixo:

$$R_x = 36,849 \left(\frac{M_x}{P}\right)^{1,0852} \quad (2)$$

sendo: R_x = erosividade da chuva para cada mês; M_x = precipitação média mensal; P = precipitação média anual.



Figura 2. Divisão do Brasil de acordo com as regiões homogêneas em termos de precipitação. Fonte: Silva, 2004.

A partir desta equação, foram calculados índices mensais erosividade para todo o período de estudo e, posteriormente, a partir da soma dos índices mensais, foram gerados índices anuais para os 27 anos de dados, 1986 a 2015 (com exceção dos anos 1998, 1999 e 2004). A média dos índices de erosividade anuais gerou, finalmente, o índice de erosividade

da chuva para Óbidos (PA). Este valor do índice final classificou a área de estudo dentre as classes de erosividade de acordo com a Tabela 1.

De posse dos índices anuais de erosividade da chuva de 1986 a 2015 (com exceção dos anos 1998, 1999 e 2004), foram calculados o período de retorno (Equação 3) e a probabilidade de ocorrência (Equação 4) para estes. Para isto, foram aplicadas a lei de probabilidade logarítmica e a teoria de valores extremos (SCHWAB et al., 1981).

$$T = (N + 1)/m \quad (3)$$

Onde: T é o período de retorno, no qual o índice de erosividade é igualado ou excedido; N o número de anos da série de dados, e m o número de ordem do índice de erosividade, quando a série de dados de erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude.

$$Pr = 100/T \quad (4)$$

Onde: Pr é a probabilidade de ocorrência e T o período de retorno.

Tabela 1. Classificação do Índice de Erosividade Anual (R).

Erosividade (MJ mm ano⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹)	Classe de Erosividade
R ≤ 2452	Baixa erosividade
2452 < R ≤ 4905	Média erosividade
4905 < R ≤ 7357	Média-alta erosividade
7357 < R ≤ 9810	Alta erosividade
R > 9810	Muito Alta erosividade

Fonte: Carvalho (1994), modificado de Foster et al. (1981).

Para a elaboração do gráfico da plotagem dos valores calculados de período de retorno e probabilidade de ocorrência e da curva de distribuição de probabilidade, utilizou-se o software OriginPro 8.0 como auxílio.

Em seguida, para a análise da distribuição anual e mensal da percentagem acumulada da erosividade, foram obtidos os valores relativos deste índice a partir da divisão da erosividade média mensal pelo seu valor médio anual, gerando valores relativos mensais referentes. Quando transformados para percentagens, esses valores relativos representam a percentagem acumulada da erosividade para cada mês do ano, permitindo a avaliação da sua distribuição anual.

Por fim, fazendo uso dos dados de precipitação do período de análise do estudo, foi calculado o coeficiente de chuva, de acordo como proposto por Lombardi Neto (1977), cuja expressão é dada por:

$$Rc = Pm^2/Pa \quad (5)$$

sendo: Rc o coeficiente de chuva em mm; Pm a precipitação média mensal em mm e Pa a precipitação média anual.

Os coeficientes de chuva (Rc) para cada mês foram correlacionados com os valores dos índices de erosividade através de regressão, objetivando avaliar relação entre a ocorrência da precipitação e as de perdas de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade da chuva (R) verificada para Óbidos (PA), baseada na série de precipitação observada de 1986 a 2015, foi de 13.361 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, apresentando desvio padrão de 2.558 e coeficiente de variação de 19%, qualificando a região como de Muito Alta Erosividade, segundo a classificação de Carvalho (1994). (Tabela 2 e Figura 3).

Tabela 2. Distribuição média mensal da precipitação, da erosividade absoluta e relativa e do coeficiente de chuva de Óbidos (PA), nos períodos de 1986 a 2015.

Total Mensal					
Ano	Mês	Prp (mm)	Erosividade (MJ mm ano ⁻¹ ha ⁻¹ h ⁻¹)	Erosividade Relativa (%)	Coef. De Chuva – Rc (mm)
1986 a 2015	Jan	273,6	2240	16,76	38,42
	Fev	286,9	2367	17,72	42,22
	Mar	338,1	3275	24,52	58,67
	Abr	295,3	2492	18,65	44,75
	Mai	214,8	1387	10,38	23,68
	Jun	108,0	325	2,43	5,99
	Jul	71,4	150	1,12	2,62
	Ago	32,9	37	0,28	0,56
	Set	38,5	46	0,35	0,76
	Out	47,2	75	0,56	1,14
	Nov	97,6	286	2,14	4,89
	Dez	144,6	679	5,08	10,72
Total anual		1948,9	13361	100	-

Fonte: Autores.

Os índices de erosividade da chuva apresentados para Óbidos se mostraram elevados quando comparados aos apresentados para outras regiões do país, como o encontrado para

Seropédica (RJ) ($5.960,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Carvalho et al. (2010), para as terras secas do Piauí ($5.153 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Aquino et al. (2006), para São Borja (RS) ($9.751 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Cassol et al. (2008), para a região de Sete Lagoas (MG) ($5.835 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Alvarenga et al. (1998), para o centro-leste de Minas Gerais ($11.656 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Silva et al. (2010), para Quaraí (RS) ($9.292 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Bazzano et al. (2007), para Fortaleza (CE) ($6.774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Dias & Silva (2003), para Barranquinho (MT) ($8.493 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Moraes et al. (1991), e para Goiânia (GO) ($8.355 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por Silva et al. (1997). Estes outros valores de erosividade encontrados para outros lugares do Brasil se mostram distintos, possivelmente, em função das diferenças climáticas entre esses lugares e a área de estudo, sendo o norte do Brasil com maiores valores de precipitação durante o ano e, conseqüentemente, com maiores valores de erosividade.

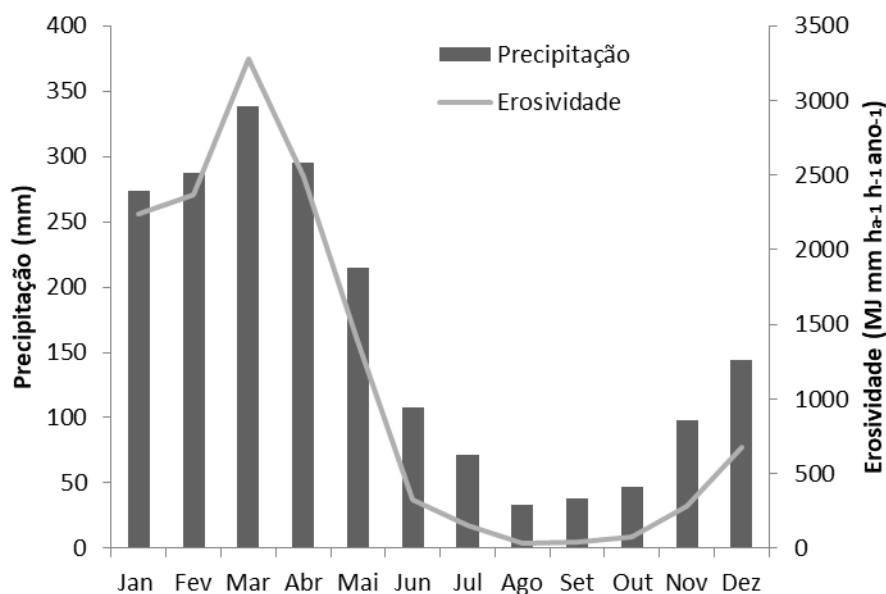


Figura 3. Distribuição do fator erosividade (R) e da precipitação médias anuais de Óbidos (PA). Fonte: Autores.

Índices próximos de erosividade foram encontrados para regiões próximas à área de estudo. Para a cidade de Manaus, Oliveira Jr e Medina (1990) obtiveram um índice de $14.129 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para Conceição do Araguaia, Oliveira Jr (1996) obteve um índice de $11.487 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para a Serra do Tepequém, em Roraima, Almeida et al. (2009) obtiveram um índice de $16.697,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para Bragança (PA) e Marabá (PA), com índices de 12.350 e $13.914 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, obtidos por Oliveira Júnior (1988), e para a cidade de Rondon do Pará (PA), Rosa et al. (2016) obtiveram um índice de 16.390 MJ

mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A proximidade entre os valores era esperada em função da similaridade da distribuição anual e comportamento da precipitação na região norte do Brasil. Valores próximos também foram encontrados em Quedas do Iguaçu (PR) (12.169 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), por Waltrick (2010), se justificando pela intensidade da precipitação no período estudado.

A chuva é um elemento climático que exerce significativa influência sobre os processos erosivos, principalmente através da sua intensidade, duração e frequência (SANTOS et al., 2010) e, devido a isto, é fundamental analisar suas características. Desde muito tempo, autores como Ellison (1947) tratam da ação da chuva sobre a erosão. Este autor considera que a principal função das gotas de chuva é a de destacar partículas do solo, e a principal função do escoamento superficial é a de transportar materiais destacados do solo. Porém, estudos mais recentes complementam essa afirmação. Lima (2003) considera que, além da função de destacar partícula do solo (“salpicamento”), as gotas de chuva tem o poder de compactar solo pelo efeito da energia cinética que adquirem na queda, afetando a sua capacidade de infiltração e favorecendo o escoamento superficial, principalmente em solos com ausência de cobertura vegetal, a qual atua como uma defesa natural (MORGAN, 2005).

Avaliando os valores relativos da erosividade mensal, entre os anos de 1986 a 2015, observa-se que no semestre de dezembro a maio ocorre 93,12% da erosividade anual. O trimestre fevereiro-março-abril é o mais expressivo, ocorrendo 60,88% da erosividade anual, valor ajustado com a distribuição da precipitação na região, sugerindo que neste trimestre é esperado o maior risco de erosão em Óbidos/PA (Tabela 2).

A Figura 3 sugere existir uma harmonia entre as distribuições médias mensais do fator erosividade e precipitação observada, entre os anos de 1986 a 2015, do município de Óbidos (PA). Verifica-se que a erosividade média anual para o município é de 13.361 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para uma precipitação média de 1.948,9 mm ano⁻¹, sendo os meses com maior volume de precipitação relacionados com os meses de maiores índices de erosividade, demonstrando o grande potencial que precipitação tem em caracterizar o potencial erosivo, embora este não seja o único fator influente sobre as erosões, a exemplo da geologia do local, tipo de solo, relevo, uso do solo, entre outros. Esta concordância entre a precipitação e a erosividade foi abordada em outros trabalhos, como o de Carvalho et al. (2010), para Seropédica (RJ), de Aquino et al. (2006), para o Piauí, de Bertol (1993), para Lages (SC), de Campos Filho et al. (1992), para Pernambuco, de Almeida et al. (2009), para Roraima, de Waltrick (2010), para o Paraná, de Alvarenga et al. (1998), para Minas Gerais, de Silva et al. (2010), para o centro-leste de Minas Gerais, de Bazzano et al. (2007) para Quaraí (RS), de Cassol et al. (2008) para

São Borja (RS), de Oliveira Jr (1996), para Conceição do Araguaia (PA), e de Rosa et al. (2016), para Rondon do Pará (PA).

Os resultados do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior parâmetro de erosividade anual observado (18.447 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, em 2000), foram de 28 anos e 3,6%, respectivamente (Tabela 3). Os períodos de retorno e probabilidade de ocorrência para o menor valor de erosividade (9.021 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, em 1987) foram, respectivamente, 1,0 ano e 96,4%. Dessa forma, é provável que incida no município, com uma probabilidade de 3,6%, uma erosividade anual igual ou superior a 18.447 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ ao menos uma vez a cada 28 anos, e que, com uma probabilidade de 96,4%, ocorra um valor de erosividade igual ou superior a 9.021 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ ao menos uma vez a cada 1,0 ano. O maior valor do fator de erosividade observado classifica a área de estudo como de Muito Alta Erosividade e o menor valor a classifica como de Alta Erosividade.

Tabela 3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores anuais de erosividade de Óbidos (PA) no período de 1986 a 2015.

Ano	Erosividade (MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹)	Número de Ordem, m	Período de Retorno, T (anos)	Probabilidade, Pr (%)
2000	18447	1	28,0	3,6
2011	17347	2	14,0	7,1
1988	16660	3	9,3	10,7
2008	16458	4	7,0	14,3
2006	15805	5	5,6	17,9
2005	15585	6	4,7	21,4
2013	15170	7	4,0	25,0
2009	15067	8	3,5	28,6
2001	14614	9	3,1	32,1
2002	14498	10	2,8	35,7
1996	14406	11	2,5	39,3
2007	13711	12	2,3	42,9
2014	13639	13	2,2	46,4
1989	13601	14	2,0	50,0
2012	13331	15	1,9	53,6
1991	13166	16	1,8	57,1
1994	12800	17	1,6	60,7
1995	12670	18	1,6	64,3
2010	12007	19	1,5	67,9
2015	11550	20	1,4	71,4
1990	10918	21	1,3	75,0
1993	10917	22	1,3	78,6
1986	10143	23	1,2	82,1
1997	9946	24	1,2	85,7
2003	9849	25	1,1	89,3
1992	9419	26	1,1	92,9

1987	9021	27	1,0	96,4
DP	2.558			
CV %	19			

Fonte: Autores.

Para um período de 29 anos de análise, Carvalho et al. (2010) encontraram para Seropédica (RJ) um valor máximo de erosividade da chuva de 9.792,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (em 1996) e um valor mínimo de 3.350,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (em 1984), com um período de retorno e probabilidade de ocorrência 31 anos e 3,2% para o máximo e 1,03 ano e 96,8% para o mínimo. Em 47 anos de análises de dados, Cassol et al. (2008) determinaram para São Borja (RS) um valor máximo de erosividade de 23.088 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com período de retorno de 49 anos e probabilidade de ocorrência de 2%, e um valor mínimo de 3.166 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com período de retorno de um ano e probabilidade de ocorrência de 98%. Para 17 anos de dados de precipitação, Rosa et al. (2016) determinaram para Rondon do Pará (PA) um valor máximo de 23.880 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (em 200) e mínimo de 10.110 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (em 2012) da erosividade anual, com períodos de retorno de 18 e 1,1 anos e probabilidades de ocorrência de 5,6% e 94,4%, respectivamente. Com esta avaliação podemos concluir que, tanto os períodos de estudo diferentes da análise como as diferenças climáticas entre as distintas regiões do Brasil, explicaram valores distintos de erosividade encontrada para Óbidos (PA).

O índice de erosividade da chuva final para Óbidos (13.361 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) apresentou um período de retorno de cerca de 2,0 anos, com probabilidade de ocorrência de 52% (valores na Figura 4). Esse valor foi próximo daqueles obtidos para os fatores R de Seropédica (RJ) (1,97 ano), por Carvalho et al. (2010), de São Borja (RS) (2,2 anos), por Cassol et al. (2008), de Teodoro Samapio (SP) (2,33 anos), por Colodro et al. (2002), de Fortaleza (CE) (2,2 anos), por Dias e Silva (2003), de Conceição do Araguaia (PA) (2,7 anos), por Oliveira Jr (1996), e de Rondon do Pará (PA) (2,1 anos), por Rosa et al. (2016). Dessa forma, observamos ser provável ocorrer na área de estudo, com probabilidade de 52% um índice de erosividade anual idêntico ou maior ao fator R calculado, ao menos uma vez a cada 2,0 anos. A leitura da Figura 4 possibilita verificar os períodos de retorno e probabilidades de ocorrência para distintos índices de erosividade no período estudado.

A Figura 5 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Óbidos (PA), para os anos de 1986 a 2015. De acordo com a análise de regressão, observou-se grande correlação entre o fator erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva local. Este resultado confirma o fato de que a erosividade mensal das

chuvas no município pode ser medida utilizando dados de precipitação. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o linear ($r^2 = 0,9991$), de acordo com a equação da Figura 3, concordando com os resultados de Colodro et al. (2002) e Rufino (1993), nos quais a regressão linear foi a que apresentou melhores resultados.

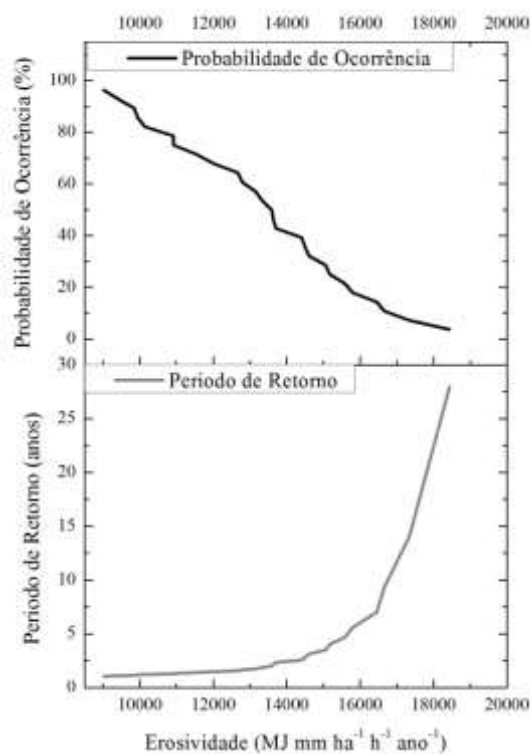


Figura 4. Curva de probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade anual de Óbidos (PA) no período de 1986 a 2015. Fonte: Autores.

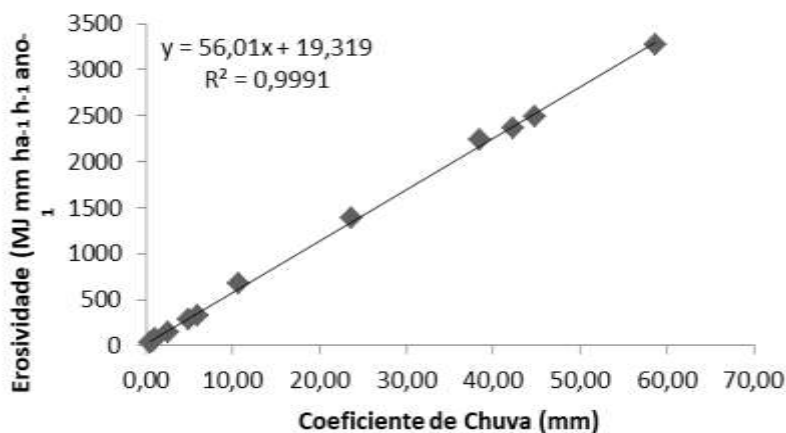


Figura 5. Curva de regressão entre a erosividade média mensal (R) e o coeficiente de chuva de Óbidos (PA), no período de 1986 a 2015. Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fator erosividade da chuva para o município de Óbidos (PA) foi de 13.361 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Este fator revelou uma probabilidade de ocorrência de 52%, podendo ser igualado, ou superado, pelo menos uma vez a cada 2,0 anos. Esse índice foi considerado muito alto, definindo cenários preocupantes para o tratamento com as questões de planejamento e conservação do solo e da água.

Entre os meses de fevereiro, março e abril, verificou-se uma distribuição de 60,88 % do total na erosividade da chuva anual, indicando, que neste período, era provável a maior parte das perdas anuais de solo por erosão. Esse período coincidiu com o período de maior precipitação anual, como normalmente é observado em diversos trabalhos.

O modelo matemático que apresentou a melhor correlação entre a erosividade média mensal e o coeficiente de chuva local foi o linear, com alta correlação ($r^2 = 0,9991$).

Essas informações se mostram úteis assim que são capazes de estabelecer em quais períodos do ano são prováveis maiores perdas de solo por processos erosivos. Embora a metodologia adotada aborde apenas a questão climática para a avaliação da erosividade da chuva, sabendo que outros fatores ambientais também influenciam neste processo, os resultados são satisfatórios e mostram a significativa influência que a precipitação tem sobre a erosão.

A metodologia usada se mostrou eficiente frente aos objetivos do trabalho, que buscou trazer uma alternativa para a avaliação da erosividade em situações de carência de dados horários e diários de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. A.; PARENTE JÚNIOR, W. C.; BESERRA NETA, L. C. Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima. **Revista Acta Geográfica**. v. 3, n. 6, p. 39-46, 2009.

ALVARENGA, R. C.; SANS, L. M. A.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N. **Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região de Sete Lagoas**. Pesquisa em Andamento – PA n°24, Embrapa, 1998. 8 p.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**. v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **R. Bras Ci Solo**. v. 34, p. 235-244, 2010.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 31, p. 1205-1217, 2007.

BERTOL, I. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 28, n. 4, p. 515-521, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 3º ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 2011. 119 p.

CAMPO FILHO, O. R. I.; SILVA, F.; ANDRADE, A. P.; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 27, n. 9, p. 1363-1370, 1992.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental.** v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 1994. 372 p.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991-2012.** Volume Pará. 2º ed. ver. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 114 p.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **R. Bras. Ci. Solo.** v. 26, p. 809-818, 2002.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 27, p. 335-345, 2003.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. **Agricultural Engineering.** v. 28, n. 4, p. 145-146, 1947.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **J. Soil Water Conserv.** v. 36, p. 355-359, 1981.

GONÇALVES, F. A. **Erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2002. 90 p.

HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo Índice EI₃₀, com base no período de 1963 a 1991. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 825-831, 2008.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. New York: Cornell Univ. Press; 1971. 391 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. IBGE Cidades – **Óbidos**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150510&search=para|%C3%93bid os|infograficos:-informacoes-completas>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.

LIMA, V. E. R. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. **Revista Cadernos do Logepa**. v. 1, n. 1, p. 3-43, 2003.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Purdue University, West Lafayette, 1977. 53 p.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas. SP. **Bragantia**. v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MANNAERTS, C. M.; GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. **Soil Tillage Res.** v. 55, p. 207-212, 2000.

MARQUES, J. J. G. S. M. **Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil**. Dissertação (Mestrado em ...) - Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), 1996. 119 p.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 21, p. 427-434, 1997.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. v. 10, p. 315-322, 2006.

MONTEBELLER, C. A. **Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (RJ), 2005. 103 p.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI₃₀ e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 15, p. 339-344, 1991.

- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3^o ed. Oxford: Blackwell, 2005. 316 p.
- OLIVEIRA JR, R. C. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. Belém: EMBRAPA-CPATU; 1996. Boletim de Pesquisa N^o 165. 20 p.
- OLIVEIRA JR, R.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **R. Bras. Ci. Solo**. v. 14, p. 235-239, 1990.
- PRUSKI, F. F. Fatores que Interferem na Erosão Hídrica do Solo. In: Pruski FF. (edit.). **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2^o ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. p. 40-73.
- ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Rev. Ambient. Água**. v. 11, n. 4, p. 1006-1021, 2016.
- RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. Avaliação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria. Terceira Aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 17, p. 439-444, 1993.
- SANTOS, G. S.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental**. v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.
- SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 3^o ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 525 p.
- SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1966. 61p.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**. v. 57, p. 251-259, 2004.
- SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 1029-1039, 2007.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEAU, P.; CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). **Pesq. Agropec. Bras**. v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.
- WALTRICK, P. C. **Erosividade de Chuvas do Paraná: atualização, influência do “El Niño” e “La Niña” e estimativa para cenários climáticos futuros**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2010. 107 p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA – Agricultural Research; 1978. Agricultural Handbook, 537. 58 p.