



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ARAPIRACA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

JULIO CÉSAR CALIXTO COSTA

**POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS DO MUNICÍPIO DE CACIMBINHAS – AL
OBTIDO POR MODELOS MATEMÁTICOS**

**ARAPIRACA – AL
2023**

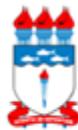
JULIO CÉSAR CALIXTO COSTA

**POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS DO MUNICÍPIO DE CACIMBINHAS – AL
OBTIDO POR MODELOS MATEMÁTICOS**

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Arapiraca, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos
Coorientadora: Renata Rikelly Silva Barbosa

**ARAPIRACA - AL
2023**



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Biblioteca *Campus* Arapiraca - BCA

C837p Costa, Julio César Calixto
Potencial erosivo das chuvas do município de Cacimbinhas-AL obtido por modelos matemáticos / Julio César Calixto Costa. – Arapiraca, 2023.
41 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos.
Coorientadora: Renata Rikelly Silva Barbosa.
Trabalho de Conclusão de Curso – (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Arapiraca, 2023.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus* Arapiraca).
Referências: f. 37-41.

1. Agronomia. 2. Erosão. 3. Pluviosidade. I. Santos, Cícero Gomes dos. II. Barbosa, Renata Rikelly Silva. III. Título.

CDU 63

Bibliotecário responsável: Márcio Thiago dos Santos Albuquerque
CRB - 4 / 2052

JULIO CÉSAR CALIXTO COSTA

**POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS DO MUNICÍPIO DE CACIMBINHAS – AL
OBTIDO POR MODELOS MATEMÁTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Arapiraca, para obtenção do título de Engenheiro-Agrônomo.

Aprovado em: 15/03/2023

Documento assinado digitalmente



CICERO GOMES DOS SANTOS
Data: 10/05/2023 19:07:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos
Curso de Agronomia – UFAL - *Campus* Arapiraca
Orientador

Documento assinado digitalmente



RENATA RIKELLY SILVA BARBOSA
Data: 04/05/2023 09:31:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bióloga Renata Rikelly Silva Barbosa
Mestranda do PPGAA – UFAL - *Campus* Arapiraca
Coorientadora

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente



MARCIO AURELIO LINS DOS SANTOS
Data: 10/05/2023 18:54:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcio Aurélio Lins dos Santos
Curso de Agronomia – UFAL - *Campus* Arapiraca
Examinador 1

Documento assinado digitalmente



ANDRE LUIZ PEREIRA BARBOSA
Data: 09/05/2023 16:25:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Agr. André Luiz Pereira Barbosa
Mestrando do PPGAA – UFAL - *Campus* Arapiraca
Examinador 2

*Dedico este trabalho a minha mãe
e a minha irmã, que são o meu
alicerce e sempre me apoiaram em
toda essa jornada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, pela força que me foi dada para enfrentar toda a trajetória dos últimos anos.

Aos meus familiares, por todo suporte e incentivo recebido. Em especial a minha mãe Claudia e a minha irmã Julia, que são o motivo pelo qual eu cheguei até aqui. Ao meu avô Serafim Zuza (in memoriam) por todos os ensinamentos e a minha avó Vandete por todo apoio.

Aos meus amigos e colegas, por toda ajuda recebida nos momentos críticos e por terem tornado essa jornada um pouco mais leve. Em especial a Vitória, pela parceria durante os anos de graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cícero Gomes, o responsável por eu ter conhecido a área de solos e me encontrado nela. Grato por todos ensinamentos e oportunidades que me foram concebidos.

Aos meus professores de graduação, por todo aprendizado durante o curso. Em especial a Prof. Dra. Madalena Zambi, a qual tenho um enorme carinho.

A Universidade Federal de Alagoas – *Campus Arapiraca*, por todo suporte dado durante os anos de graduação.

RESUMO

A erosão hídrica é um processo que consiste no desprendimento, arraste e posterior deposição de partículas de solo. Considera-se a chuva como o fator climático que mais influencia este processo, apontado como um dos maiores problemas ambientais. A capacidade que a chuva possui em causar erosão no solo é denominada de erosividade e este fator depende da intensidade com que a chuva ocorre e da energia cinética de impacto das gotas de chuva sobre o solo. Devido à escassez de dados pluviográficos para a maioria dos municípios do Brasil, utiliza-se dados pluviométricos para determinação dos índices de erosividade. O município de Cacimbinhas está localizado na região noroeste do Estado de Alagoas. O presente estudo teve como objetivo a determinação da erosividade através de diferentes modelos matemáticos para o município de Cacimbinhas – AL. Os dados pluviométricos foram obtidos através do portal Hidroweb, coordenado pela Agência Nacional de Águas, para o período de 1963 a 2000. Os dados foram tabulados para realização do cálculo da chuva, o coeficiente de chuva e sua relação com a erosividade utilizando seis equações. Os dados foram submetidos à análise de regressão por meio de planilha de cálculo. A média anual de precipitação para o município foi de 687,01 mm. Foram observados 14 anos com valores acima da média e 24 anos com valores abaixo da média de precipitação pluviométrica. O ano de 1975 é o que obteve o maior registro pluviométrico, com precipitação de 1181,30 mm, enquanto que o ano de 1998 é referente a menor precipitação, registrando 219,10 mm. Os meses de abril, maio, junho e julho obtiveram as maiores precipitações, representando 57,41% da precipitação anual. Os meses com menores índices de precipitação foram outubro e novembro, correspondendo a 5,57% da precipitação pluviométrica anual. Para o município estudado, o coeficiente de chuva total corresponde a 10,88% da média de precipitação pluviométrica entre o período de 1963 a 2000. Para todos os modelos matemáticos, os maiores índices de erosividade compreendem os meses de março a julho, enquanto novembro é o mês com o menor índice deste fator. A correlação entre o índice de erosividade e o coeficiente de chuva foi alta para todos os modelos analisados. A erosividade média anual obtida utilizando os seis modelos matemáticos apresentaram valores que variam de 246,51 a 4964,13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os meses de março a julho representam o maior potencial erosivo das chuvas, sendo maio o mês mais crítico; e novembro o mês com menor potencial desse fator. Todos os modelos matemáticos podem ser utilizados para calcular a erosividade média mensal e anual das chuvas no município de Cacimbinhas – AL.

Palavras-chave: erosão do solo; pluviosidade; nordeste.

ABSTRACT

Water erosion is a process that consists of the detachment, drag and subsequent deposition of soil particles. Rain is considered the climatic factor that most influences this process, pointed out as one of the biggest environmental problems. The ability that rain has to cause erosion in the soil is called erosivity and this factor depends on the intensity with which rain occurs and the kinetic energy of impact of raindrops on the soil. Due to the scarcity of rainfall data for most municipalities in Brazil, rainfall data is used to determine erosivity indices. The municipality of Cacimbinhas is located in the northwest region of the State of Alagoas. The present study aimed to determine erosivity through different mathematical models for the municipality of Cacimbinhas - AL. The rainfall data were obtained through the Hidroweb portal, coordinated by the National Water Agency, for the period from 1963 to 2000. The data were tabulated to perform the calculation of rain, the coefficient of rain and its relationship with erosivity using six equations. The data were subjected to regression analysis through a spreadsheet of calculation. The average annual precipitation for the municipality was 687.01 mm. 14 years were observed with values above the average and 24 years with values below the average rainfall. The year 1975 is the one that obtained the highest rainfall record, with precipitation of 1181.30 mm, while the year 1998 refers to the lowest precipitation, registering 219.10 mm. The months of April, May, June and July obtained the greatest precipitation, representing 57.41% of the annual precipitation. The months with the lowest precipitation rates were October and November, corresponding to 5.57% of the annual rainfall. For the municipality studied, the total rainfall coefficient corresponds to 10.88% of the average rainfall between the period from 1963 to 2000. For all mathematical models, the highest erosive indices comprise the months of March to July, while November is the month with the lowest index of this factor. The correlation between the erosivity index and the rain coefficient was high for all models analyzed. The average annual erosivity obtained using the six mathematical models showed values ranging from 246.51 to 4964.13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹. The months of March to July represent the greatest erosive potential of rainfall, with May being the most critical month; and November the month with the lowest potential for this factor. All mathematical models can be used to calculate the average monthly and annual erosivity of rainfall in the municipality of Cacimbinhas - AL.

Keywords: soil erosion; rainfall; northeast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Cacimbinhas no mapa do estado de Alagoas.....	19
Figura 2 - Distribuição da precipitação média anual no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	23
Figura 3 - Precipitação média mensal no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	24
Figura 4 - Distribuição da precipitação pluviométrica e do coeficiente de chuva médias anuais no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	25
Figura 5 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Oliveira Júnior e Medina (1990), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.....	27
Figura 6 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL. ...	28
Figura 7 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Val et al., (1986), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	28
Figura 8 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Leprun (1981), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	29
Figura 9 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Rufino et al., (1993), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	30
Figura 10 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Moraes et al., (1991), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	30
Figura 11 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Oliveira Júnior e Medina (1990) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	32
Figura 12 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	32
Figura 13 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Val et al., (1986) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.	33

Figura 14 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Leprun (1981) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL. 34

Figura 15 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Rufino et al., (1993) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL. 34

Figura 16 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Morais et al., (1991) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL. 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe para interpretação do índice de erosividade.....	21
Tabela 2 - Valores médios mensais e anuais da precipitação pluviométrica e do coeficiente de chuva no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

USLE	Universal Soil Loss Equation
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
CREAMS	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems Model
ANSWER	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation
WEPP	Water Erosion Prediction Project
EUROSEM	European Soil Erosion Model
LISEM	Limburg Soil Erosion Model
MJ	Megajoule
ha	Hectare
Km	Quilômetro
m	Metro
mm	Milímetro
h	Hora
Fator R	Erosividade da chuva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Erosão hídrica dos solos	14
2.2	Erosividade das chuvas.....	15
2.3	Coeficiente de chuva e Índice de Erosividade de chuva baseado em dados pluviométricos	17
2.4	Caracterização do município de Cacimbinhas.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Localidade de estudo	19
3.2	Dados pluviométricos	19
3.3	Estimativa do coeficiente de chuva (R_c)	19
3.4	Estimativa da erosividade através de modelos matemáticos	20
3.5	Classes de erosividade do solo	21
3.6	Tratamento estatístico dos dados de precipitação pluviométrica	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1	Distribuição espacial e temporal das chuvas no município de Cacimbinhas	23
4.2	Coeficiente de chuva (R_c)	24
4.3	Erosividade da chuva obtida por diferentes modelos matemáticos	26
4.4	Correlação entre a erosividade e o coeficiente de chuva.....	31
5	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A erosão é um processo causado pela água (erosão hídrica) e pelo vento (erosão eólica), que consiste no desprendimento e arraste de partículas de solo (DYONISIO, 2010). Esse processo é apontado como um dos maiores problemas ambientais, porque além de causar danos em terras agricultáveis e diminuir a produção, favorece a contaminação e a poluição dos recursos hídricos (BACK, 2018b). Sendo a chuva o fator climático que mais influencia este processo (MACHADO *et al.* 2013), que envolve a degradação de partículas do solo, o transporte e a posterior deposição dessas partículas (CASSOL *et al.*, 2008). Outro fator que influencia nesse processo é a inclinação do declive, visto que, à medida que ela aumenta, o volume e a velocidade da enxurrada também aumentam e a infiltração de água no solo diminui, aumentando a capacidade de transporte de partículas de solo pela enxurrada (COGO *et al.*, 2003).

A erosão hídrica e o manejo inadequado do solo estão atribuídos com a frequente diminuição de produtividade dos solos (MARTINS *et al.*, 2003). Segundo Bazzano *et al.*, (2007), a erosão hídrica é o resultado do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir a esta. Desta forma, a estimativa das perdas de solo através desse processo possibilita ter uma base importante para o planejamento ambiental e adoção de práticas que beneficiem a conservação do solo e da água (BACK; POLETO, 2018), uma vez que, a previsão dessas perdas é importante para avaliar os riscos de erosão do solo e determinar o uso e gestão apropriados do mesmo (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A capacidade potencial que as chuvas têm em causar erosão no solo é denominada de erosividade (CASSOL *et al.*, 2008). Este fator depende da intensidade com que a chuva ocorre e da energia cinética de impacto das gotas de chuva sobre o solo (HICKMANN *et al.*, 2008). E, contribui para erosão, em virtude do desprendimento de partículas de solo no local do impacto, no deslocamento por salpicamento das partículas desprendidas e na produção de energia na forma de turbulência à água da superfície, representando o estágio inicial da erosão hídrica (MACHADO *et al.*, 2013).

Segundo Wischmeier e Smith (1978) esta grandeza é medida através de índices, como o índice de erosividade padrão EI₃₀. Os referidos autores relatam que as perdas de solo ocasionadas pelo processo de erosão hídrica podem ser estimadas pela aplicação de modelos de predição de erosão, sendo a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) um dos modelos mais utilizados. Neste modelo, o efeito da chuva é dado pelo fator R, representando a erosividade da chuva e do escoamento superficial associado (CASSOL *et al.*, 2007). Sendo um

índice que, para ser determinado, requer longas séries de dados pluviográficos, com séries históricas de pelo menos 20 anos, apresentando dificuldades de execução por ser uma metodologia trabalhosa (BACK, 2018b).

Visando minimizar essa problemática, diferentes autores correlacionam o índice EI_{30} com o coeficiente de chuva, o qual é obtido com base no registro dos totais diários das precipitações, estando esses dados disponíveis para diversas localidades, o que simplifica sua obtenção, bem como, mantém uma precisão na estimativa do EI_{30} (MELLO *et al.*, 2007). O coeficiente da chuva representa a relação entre o quadrado da precipitação média mensal (p), com a média anual total (P), isto, para cada mês do ano (CASSOL *et al.*, 2007). Desta forma, quando em determinadas regiões houver a escassez de dados pluviográficos, a estimativa do índice de erosividade pode ser efetuada a partir de dados pluviométricos, que possuem maior facilidade de obtenção (GONÇALVES *et al.*, 2006).

O município de Cacimbinhas está localizado na região noroeste do Estado de Alagoas, inserido na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião de Palmeira dos Índios (CPRM, 2005). Este município apresenta uma série de registros de precipitação pluviométrica iniciada a partir do ano de 1963. Desta forma, objetivou-se a determinação da erosividade através de diferentes modelos matemáticos para o município de Cacimbinhas – AL.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão hídrica dos solos

Os processos erosivos decorrem naturalmente no meio ambiente, de modo lento e gradual, causando mudanças no relevo e vegetação. Sendo a forma mais prejudicial de degradação do solo, reduzindo a produtividade das culturas e podendo causar danos ambientais. Esta degradação ocorre principalmente pelo arraste das partículas menores e mais ricas em nutrientes. Uma preocupação constante, em todos os casos relacionados à gestão do uso do solo e da água, tem sido a erosão hídrica dos solos e a resultante produção de sentimentos (COGO *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2010).

A erosão hídrica é definida como o resultado dos processos de desagregação de partículas do solo, transporte e deposição dessas partículas (MACHADO *et al.*, 2013). Sendo um processo desencadeado através da energia que provém da água das chuvas e do escoamento superficial, principalmente a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Iniciando-se quando as gotas de chuva começam a incidir sobre a superfície do solo, destruindo inicialmente os agregados naturais através do impacto causado e, depois, transportando-os sob a forma de enxurrada. (CAMPOS FILHO *et al.*, 1992; CASSOL *et al.*, 2008).

As perdas de solo causadas pela erosão hídrica, na maioria dos casos, reduzem a espessura do solo, diminuindo a capacidade de retenção e redistribuição da água no perfil, gerando maiores escoamentos superficiais e, eventualmente, maiores taxas de erosão do solo (SANTOS *et al.*, 2010). Dependendo principalmente da declividade do terreno, de características do solo e do regime pluviométrico (CAMPOS FILHO *et al.*, 1992). Segundo Cândido *et al.*, (2014), existem tecnologias de conservação de solo e água que são utilizadas, a bastante tempo, como forma de combater os efeitos negativos das perdas de solo em decorrência da erosão hídrica, objetivando a redução tanto das perdas de solo e água no local quanto as consequências fora da região de erosão, como o assoreamento dos cursos d'água, deterioração da qualidade da água e inundações.

Conforme relata Meneses (2014), a determinação das áreas mais suscetíveis à erosão hídrica se torna fundamental, após a percepção das consequências resultantes deste problema, possibilitando a atuação imediata sobre as áreas mais afetadas e na implantação de políticas que visam a sua sustentabilidade.

Através do emprego de modelos matemáticos, vêm sendo estudadas melhores práticas de uso e manejo de solos, bem como, estimativas de perdas de solo pelo processo de erosão hídrica (BACK, 2018a). Há diferentes modelos para a determinação de erosão hídrica, como por exemplo o CREAMS (KNISEL, 1980), ANSWERS (BEASLEY *et al.*, 1980), WEPP (LANE *et al.*, 1992), EUROSEM (MORGAN, 1994), LISEM (ROO *et al.*, 1996), entre outros. No entanto, um dos mais empregados é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) ou USLE, proposta por Wischemeier e Smith (1965; 1978), versão posteriormente revista (RUSLE) por Renard *et al.* (1997).

Na Equação universal de perda de solo, expressa pela equação 1, conforme relata Back (2018a), a estimativa das perdas médias de solo se dá pelo produto de seis fatores, sendo eles o fator erosividade da chuva (R), o fator erodibilidade do solo (K), o fator comprimento do declive (L), o fator grau de declive (S), o fator uso e manejo (C) e o fator prática conservacionista (P). De acordo com Meneses (2014), na atualidade, a partir da evolução tecnológica, é possível integrar variada informação neste modelo, tornando-o mais procurado para a previsão da perda do solo e na determinação de áreas suscetíveis à erosão hídrica.

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

2.2 Erosividade das chuvas

A erosividade da chuva consiste no potencial da chuva em causar erosão, sendo representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min (EI₃₀). Representando um termo de interação que mede o efeito de como o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para desagregar e transportar as partículas desprendidas do solo. A determinação dos valores de erosividade, ao longo do ano, permite identificar os meses nos quais o risco de erosão é mais elevado, possuindo importância para o planejamento de uso da terra. (SILVA *et al.*, 2009; MACHADO *et al.*, 2013).

De acordo com Xavier *et al.*, (2019), a avaliação da erosividade das chuvas, fator R da EUPS, é fundamental para determinar as perdas de solo, visto que, exerce grande influência no impacto que as gotas de chuva ocasionam na degradação das partículas de solo, estando relacionada diretamente com a duração e intensidade da chuva. Ainda segundo esses autores, pode-se comprovar que o fator R é o índice de erosão pelas chuvas que representa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido.

A chuva é considerada o fator climático que mais influencia a erosão do solo (MACHADO *et al.*, 2013). Desta forma, Wischmeier e Smith (1978) estabeleceram a equação (2) para obtenção da energia cinética da chuva:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \times \log I \quad (2)$$

Onde:

E_c = energia cinética unitária, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹ de chuva;

I = intensidade do segmento da chuva, em mm h⁻¹.

Nesta situação, conforme relata Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), foi considerado que as gotas de tamanho médio não continuam a aumentar quando a intensidade da chuva excede 76 mm h⁻¹, esse valor é o limite superior do campo de definição da variável I , sendo a energia cinética equivalente a 0,283 MJ ha⁻¹ mm⁻¹.

Por sua vez, o índice de erosividade da chuva, EI_{30} , é calculado conforme a equação (3) (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992).

$$EI_{30} = E_{c_t} \times I_{30} \quad (3)$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosividade da chuva, em MJ mm ha⁻¹ h;

E_{c_t} = energia cinética total da chuva, em MJ ha⁻¹;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em mm h⁻¹.

Vários trabalhos realizados no Brasil que correlacionam as perdas de solo com índices de erosividade apontam que o índice EI_{30} é um bom estimador de erosividade (BACK, 2018a). Desta forma, para que sejam realizadas medições mais confiáveis e análises mais detalhadas da erosividade das chuvas de uma estipulada região, faz-se necessário o registro de longas séries históricas de monitoramento, em torno de 20 anos (MARTINS *et al.*, 2020). Porém, essa metodologia é trabalhosa e apresenta dificuldades de execução (BACK, 2018b).

É bastante comum no Brasil, a escassez de dados pluviográficos, ou, a falta de séries históricas apropriadas para se obterem índices de erosividade. Para superar esse entrave, uma alternativa muito utilizada é a estimativa a partir das médias pluviométricas mensais, denominada de método pluviométrico. Desta forma, por não existir pluviógrafos em muitas localidades do país ou, quando disponíveis, nem sempre os registros são contínuos para longas observações, vários pesquisadores vêm utilizando correlações entre a erosividade, determinada em registros pluviográficos, com simples dados de pluviometria mensais e anuais de municípios

do Brasil para acelerar a obtenção do fator R (SILVA; DIAS, 2003; MACHADO *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015; BACK, 2018b; MARTINS *et al.*, 2020).

Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), utilizando dados pluviométricos coletados durante 22 anos e optando pela simplificação do método, realizaram uma regressão entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva, expresso na equação 4, obtendo um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,983$).

$$EI = 68,730 \times \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,841} \quad (4)$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

p = precipitação média mensal, em mm;

P = precipitação média anual, em mm.

O índice de erosão média anual, ou seja, o fator R para um local, é a soma dos valores mensais do índice de erosão. Para um extenso período de tempo, em torno de 20 anos ou mais, essa equação estima, com relativa precisão, os valores médios de EI de um local, usando somente totais de chuva, disponíveis para muitos anos (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

2.3 Coeficiente de chuva e Índice de Erosividade de chuva baseado em dados pluviométricos

O coeficiente de chuva foi proposto por Fournier (1960), sendo expresso pela equação 5:

$$Cc = \left(\frac{p^2}{P}\right) \quad (5)$$

Onde:

Cc = coeficiente de chuva, em mm;

p = precipitação média mensal, em mm;

P = precipitação média anual, em mm.

Através da utilização de dados pluviométricos, determina-se a erosividade da chuva. Para isto, utiliza-se o coeficiente de chuva e, em seguida, aplica-se estes valores em equações ajustadas com dados locais ou ajustadas para outras localidades, contanto que as condições climáticas sejam semelhantes (CARDOSO *et al.*, 2015).

Com a escassez ou inexistência de dados pluviográficos para diversas localidades, a forma de avaliar a acurácia da utilização de diferentes modelos matemáticos com dados de regiões distintas daquela em que foi estimado, se faz utilizando curvas de regressão que relacionem o índice de erosividade aos coeficientes de chuva (ALBUQUERQUE, 1991; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

A estimativa da erosividade da chuva através do método pluviométrico é utilizada por diversos autores a partir dos dados de coeficiente de chuva. Entre eles foram estudados os municípios de Campinas – SP (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992); Quaraí – RS (BAZZANO *et al.*, 2007); o estado de Tocantins (VIOLA *et al.*, 2014); além dos demais estados brasileiros (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Sendo um parâmetro importante, visto que interfere na estimativa da erosividade da chuva.

2.4 Caracterização do município de Cacimbinhas

O município de Cacimbinhas localiza-se na região noroeste do Estado de Alagoas, limitando-se a norte com o município de Minador do Negrão e o estado de Pernambuco, a sul com Major Isidoro, a leste com Estrela de Alagoas e Igaci e a oeste com os municípios de Dois Riachos e Major Isidoro. Possuindo uma área que ocupa 272,80 km², inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião de Palmeira dos Índios. A altitude aproximada de Cacimbinhas é de 270 m, com coordenadas geográficas de 9° 24' 01'' de latitude sul e 36° 59' 25'' de longitude oeste (CPRM, 2005). Segundo este documento, o município possui relevo geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localidade de estudo

O município de Cacimbinhas está localizado na região noroeste do Estado de Alagoas (Figura 1). Possuindo uma área que ocupa 272,80 km², inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião de Palmeira dos Índios. A altitude aproximada é de 270 m, com as seguintes coordenadas geográficas de 9° 24' 01'' de latitude sul e 36° 59' 25'' de longitude oeste (CPRM, 2005).

Figura 1 - Localização do município de Cacimbinhas no mapa do estado de Alagoas.



Fonte: Adaptado de Wellber Drayton (2010).

3.2 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos foram obtidos através do portal Hidroweb, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA), para o período de 1963 a 2000. Os dados mencionados foram tabulados para realização do cálculo da chuva, o coeficiente de chuva e sua relação com a erosividade utilizando seis equações.

3.3 Estimativa do coeficiente de chuva (Rc)

Para analisar a acurácia dos valores de erosividade de chuva através de dados pluviométricos torna-se necessário a determinação do coeficiente de chuva (Rc). Neste trabalho, esse coeficiente com base nos dados pluviométricos para o município de Cacimbinhas

foi estimado utilizando a equação (6) proposta por Lombardi Neto (1977), embasada no modelo de Fournier (1960), com determinadas alterações:

$$R_c = \left(\frac{p^2}{P} \right) \quad (6)$$

Onde:

p = precipitação pluvial média mensal, em mm;

P = precipitação pluvial média anual, em mm.

3.4 Estimativa da erosividade através de modelos matemáticos

Há diferentes modelos matemáticos para a determinação da erosividade das chuvas. Para a realização desse trabalho foram escolhidas seis equações, descritas a seguir:

A equação (7) proposta por Oliveira Júnior e Medina (1990), que é embasada no modelo de Fournier (1960).

$$R_x = 3,76 \times \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 42,77 \quad (7)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm;

P = precipitação média anual, em mm.

A equação (8) proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), baseada no modelo de Fournier (1960), onde temos o coeficiente de chuva (R_c), que foi modificado para M_x .

$$R_x = 68,73 \times \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0,841} \quad (8)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm;

P = precipitação média anual, em mm.

A equação (9) também embasada no modelo de Fournier (1960), que foi proposta por Val et al., (1986).

$$R_x = 12,592 \times \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0,6030} \quad (9)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm.

P = precipitação média anual, em mm.

A equação (10) desenvolvida através de modelo exponencial, tendo sido proposta por Leprun (1981).

$$R_x = 0,13 \times (M_x^{1,24}) \quad (10)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm.

A equação (11) desenvolvida com base em modelos lineares, que foi proposta por Rufino et al., (1993).

$$R_x = 19,44 + (4,20 \times M_x) \quad (11)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm.

E, a equação (12) desenvolvida por Morais et al., (1991) que é baseada no modelo de Fournier (1960).

$$R_x = 36,849 \times \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{1,0852} \quad (12)$$

Onde:

R_x = fator R, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x = precipitação média mensal, em mm.

P = precipitação média anual, em mm.

3.5 Classes de erosividade do solo

A erosividade foi classificada conforme as classes disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1 - Classe para interpretação do índice de erosividade.

Erosividade (MJ mm ano ⁻¹ ha ⁻¹ h ⁻¹)	Classe de erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

3.6 Tratamento estatístico dos dados de precipitação pluviométrica

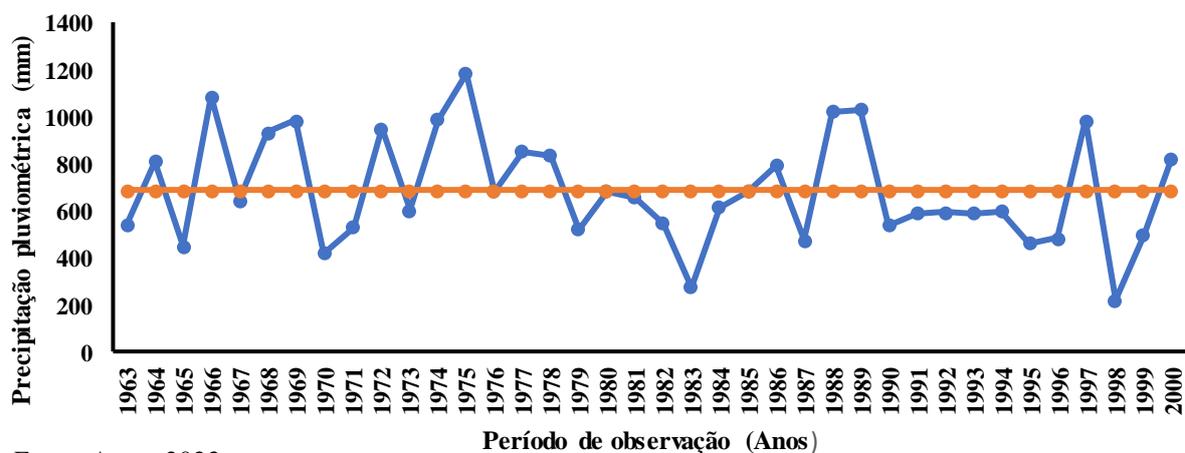
Os dados foram tabulados e submetidos à análise de regressão por meio de planilha de cálculo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição espacial e temporal das chuvas no município de Cacimbinhas

Foram analisados dados pluviométricos de 1963 a 2000, oriundos dos arquivos da Agência Nacional de Águas – ANA. Na figura 2, estão apresentados os valores médios da distribuição anual da precipitação pluviométrica para o município estudado. A média anual de precipitação para o município de Cacimbinhas – AL foi de 687,01 mm. Dentro da série histórica de 38 anos analisada, foram observados 14 anos com valores acima da média e 24 anos com valores abaixo da média de precipitação pluviométrica. O ano de 1975 é o que obteve o maior registro pluviométrico, com precipitação de 1181,30 mm, enquanto que o ano de 1998 é referente a menor precipitação, registrando 219,10 mm. Santos *et al.*, (2020), trabalhando com erosividade para o município de Água Branca – AL, no período de 1913 a 1985, obtiveram resultados semelhantes ao dessa pesquisa, com variação espacial e temporal das precipitações. Costa *et al.*, (2020), em estudo sobre a análise dos índices extremos climáticos no Nordeste do Brasil, entre os anos de 1961 a 2014, observaram para a maioria das estações meteorológicas, uma redução na precipitação total anual, bem como, na frequência de dias chuvosos na região. Contribuindo, possivelmente, com os valores abaixo da média de precipitação para o município estudado.

Figura 2 - Distribuição da precipitação média anual no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.

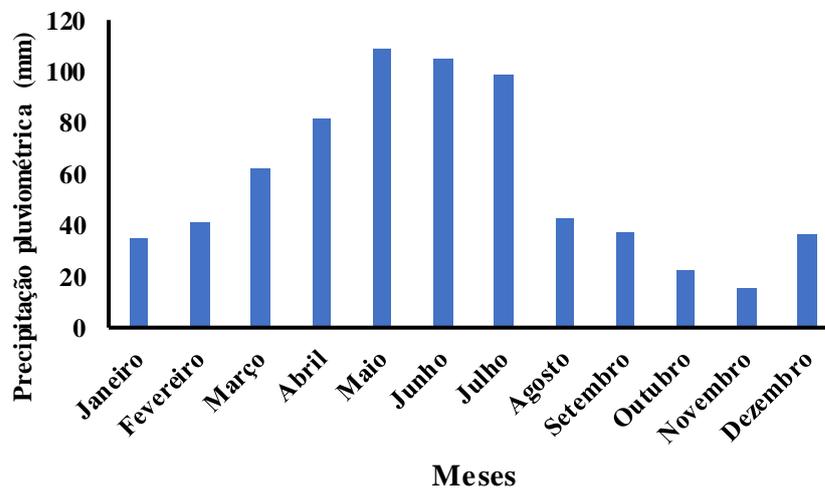


Fonte: Autor, 2023.

Na figura 3, estão exibidos os valores médios da distribuição mensal da precipitação pluviométrica para o município de Cacimbinhas. O quadrimestre abril-maio-junho-julho obteve

as maiores precipitações, com valores médios de 81,79; 108,74; 105,22 e 98,67 mm, respectivamente, representando 57,41% da precipitação anual do município. Os meses com menores índices de precipitação foram outubro e novembro, com valores médios de 22,75 e 15,54 mm, respectivamente, correspondendo a 5,57% da precipitação pluviométrica anual. Resultados semelhantes foram obtidos por Wanderley *et al.*, (2012), que estudando com dados mensais de 63 estações pluviométricas distribuídas espacialmente no estado de Alagoas, no período 1965 a 1980, verificaram que o período chuvoso está compreendido entre os meses de abril a julho, enquanto o período com menores índices de precipitação corresponde aos meses de outubro a janeiro.

Figura 3 - Precipitação média mensal no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Silva *et al.*, (2011), trabalhando com análise de pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil, com dados de mais de 30 anos contínuos, obtiveram resultados similares com os desse estudo, ao observarem que para o Estado do Alagoas, a média do número de dias chuvosos é maior entre os meses de abril à agosto, enquanto os meses de novembro e dezembro são os que apresentam a menor média de número de dias chuvosos. Justificando os dados pluviométricos atingidos para o município de Cacimbinhas.

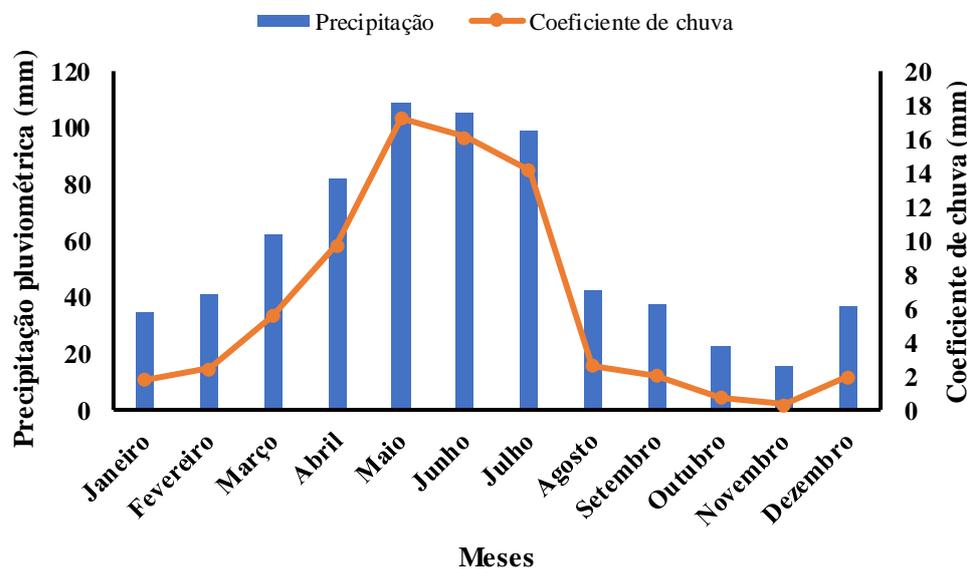
4.2 Coeficiente de chuva (Rc)

A figura 4 indica haver uma similaridade entre as distribuições médias mensais da precipitação pluviométrica (P) e do coeficiente de chuva (Rc). Desta forma, observa-se que para

os meses com os maiores índices de precipitação pluviométrica (abril, maio, junho e julho) os valores do coeficiente de chuva também foram maiores. E, para os meses com os menores índices de precipitação (outubro e novembro), os coeficientes de chuva também foram menores.

Amaral *et al.*, (2014), estudando a variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Estado da Paraíba, obtiveram resultados semelhantes, onde as maiores precipitações ocorrem entre os meses de fevereiro à junho, apresentando os maiores índices de coeficiente de chuva e as menores precipitações pluviométricas ocorreram em outubro e novembro, tendo também os menores registros de coeficiente de chuva.

Figura 4 - Distribuição da precipitação pluviométrica e do coeficiente de chuva médias anuais no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Na tabela 2 estão apresentados os valores de coeficiente de chuva obtidos utilizando a equação (6) proposta por Lombardi Neto (1977), embasada no modelo de Fournier (1960). Para o município de Cacimbinhas, o coeficiente de chuva total corresponde a 10,88% da média de precipitação pluviométrica entre o período de 1963 a 2000.

Diferentes autores, pesquisando sobre erosividade em alguns municípios de Alagoas, alcançaram coeficientes de chuva próximos ao obtido nesse estudo, correspondendo a 11,08% no município de Piaçabuçu (OLIVEIRA, 2021) e 11,73% no município de Arapiraca (PINHEIRO, 2021) da média de precipitação pluviométrica para cada série histórica analisada.

Tabela 2 - Valores médios mensais e anuais da precipitação pluviométrica e do coeficiente de chuva no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.

Mês	Total mensal	
	P (mm)	Rc (mm)
Janeiro	34,93	1,78
Fevereiro	40,79	2,42
Março	61,90	5,58
Abril	81,79	9,74
Maio	108,74	17,21
Junho	105,23	16,12
Julho	98,67	14,17
Agosto	42,42	2,62
Setembro	37,52	2,05
Outubro	22,76	0,75
Novembro	15,54	0,35
Dezembro	36,71	1,96
Total	687,01	74,75

Fonte: Autor, 2023.

4.3 Erosividade da chuva obtida por diferentes modelos matemáticos

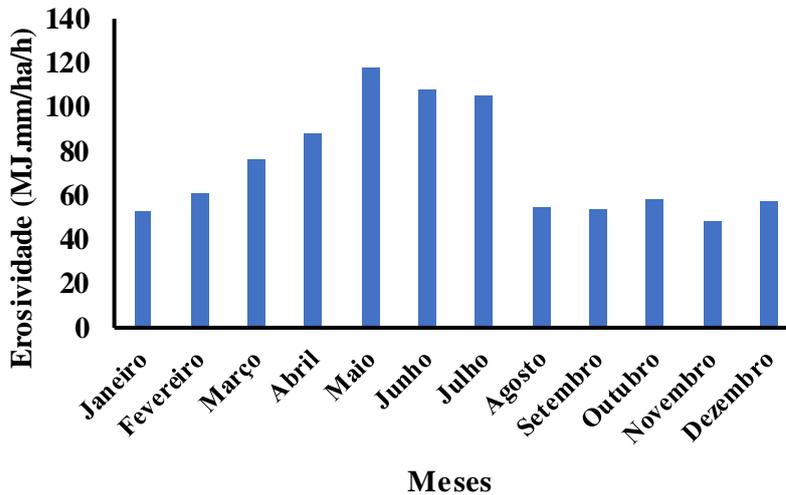
Foram utilizados seis modelos matemáticos para realização desse trabalho.

Nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10, estão apresentados os índices de erosividade média mensal obtidos através dos modelos propostos por Oliveira Júnior e Medina (1990); Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); Val *et al.*, (1986); Leprun (1981); Rufino *et al.*, (1993) e Morais *et al.*, (1991), respectivamente, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.

Na figura 5, o índice de erosividade média mensal variou de 48,00 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 117,52 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), apresentando uma média anual de 881,13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. De acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008), este índice de erosividade se enquadra na classe de erosividade fraca. Os meses com os maiores índices de erosividade correspondem de março à julho, que juntos representam 56,16% da média anual. Enquanto novembro é o mês com o menor índice de erosividade, sendo responsável por 5,44% da média anual. Duarte e Silva Filho (2019), estimando a erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma no município de Apuí – AM, para a série histórica de 1998 a 2016, e, utilizando esse modelo matemático, obtiveram resultados próximos aos desta pesquisa, com os meses de março, abril e maio entre os que apresentaram maiores índices de erosividade, com média anual de 1300,67 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Ferreira (2021) determinando a erosividade do município de Rio Largo – AL, em série histórica de 1963 a 2015, com a

utilização desse modelo matemático, obteve resultados semelhantes, com o trimestre maio-junho-julho apresentando maiores índices de erosividade, enquanto o trimestre outubro-novembro-dezembro exibiu os menores índices desse fator.

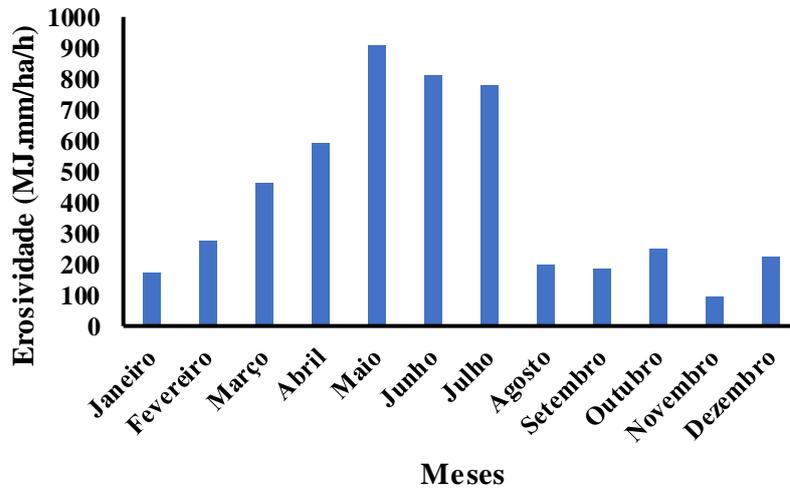
Figura 5 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Oliveira Júnior e Medina (1990), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 6, o índice de erosividade média mensal variou de 97,23 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 910,89 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), com uma média anual de 4964,13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Conforme a classificação estabelecida por Carvalho (2008), esse índice é classificado como erosividade moderada a forte. Os meses com maiores índices de erosividade compreendem de março a julho, correspondendo a 71,83% da média anual. Enquanto o mês de novembro possui o menor índice obtido, equivalendo a 1,95% da média anual. Silva *et al.*, (2023), analisando a variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas em Alagoas e utilizando esse modelo matemático, obtiveram resultados semelhantes, registrando os meses de maio a julho, os maiores valores médios mensais de erosividade, enquanto que, os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram os menores registros desse índice.

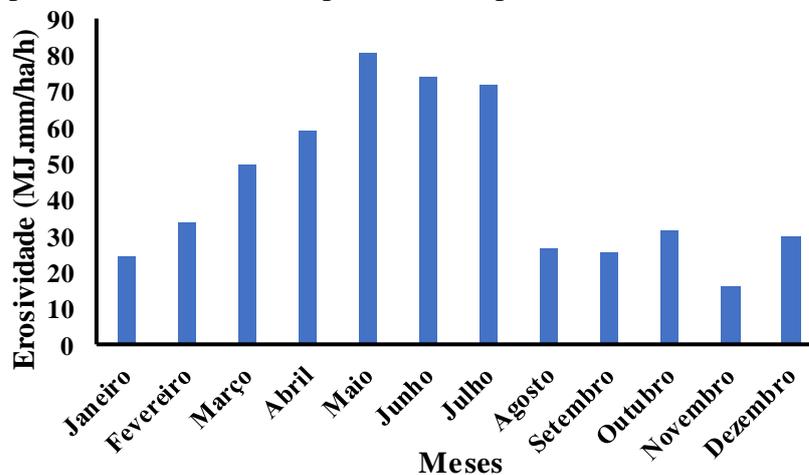
Figura 6 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 7, os valores dos índices variaram de 16,15 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 80,32 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), com uma média anual de 522,99 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Esse índice é classificado como erosividade fraca, conforme a classificação proposta por Carvalho (2008). Os meses com os maiores índices de erosividade são março, abril, maio, junho e julho, representando 64,07% da média anual, e novembro representa o mês com o menor índice, correspondendo a 3,08% da média anual. Silva e Silva (2021), analisando dados de erosividade para o município de Major Isidoro – AL no período de 71 anos, obtiveram resultados semelhantes ao utilizar esse modelo, com os meses maio a julho apresentando maiores índices, enquanto que no trimestre setembro-outubro-novembro, os valores de erosividade foram menores.

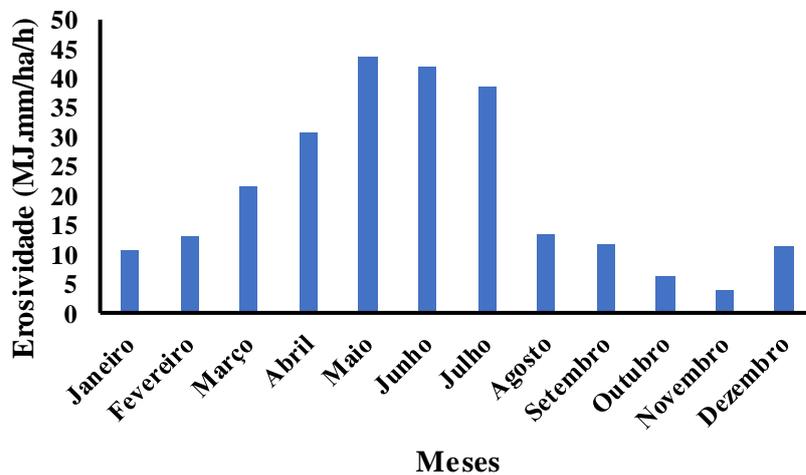
Figura 7 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Val et al., (1986), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 8, o índice de erosividade média mensal variou de 3,90 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 43,56 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), com uma média anual de 246,51 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Conforme a classificação estabelecida por Carvalho (2008), esse índice é classificado como erosividade fraca. Os meses de março a julho apresentam os maiores índices de erosividade, somando 71,49% da média anual, e novembro é o mês com o menor índice, correspondendo a 1,58% da média anual. Pereira (2019) estimando a erosividade para o município de Palmeira dos Índios – AL e utilizando esse modelo, obteve resultados similares, com os meses de maio a julho apresentando valores maiores de erosividade, e, outubro e novembro com os menores índices.

Figura 8 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Leprun (1981), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.

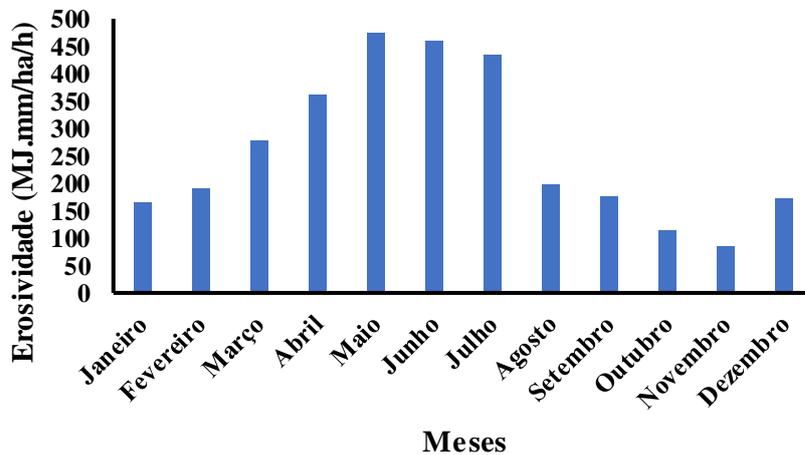


Fonte: Autor, 2023.

Na figura 9, os valores de erosividade média mensal variaram de 84,84 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 476,28 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), com uma média anual de 3120,02 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Conforme a classificação estabelecida por Carvalho (2008), esse índice é classificado como erosividade moderada. Os meses de março a julho possuem os maiores valores de erosividade, equivalendo a 64,56% da média anual, e novembro é o mês com o menor índice, correspondendo a 2,71% da média anual. Santos et al., (2020), estimando a erosividade para o município de Água Branca – AL, obtiveram resultados semelhantes ao utilizar esse modelo matemático, nos quais os meses de abril a julho representam os maiores índices de erosividade, enquanto outubro e novembro equivalem aos meses com menores valores desse índice, com média anual de 4237,51 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, que se enquadra na mesma classificação de erosividade encontrada para este modelo estudado.

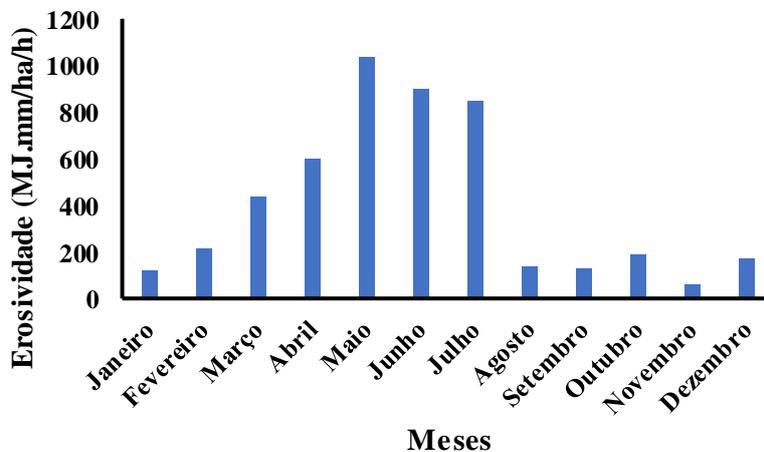
Na figura 10, os índices de erosividade média mensal variaram de 57,65 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em novembro) a 1034,27 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ (em maio), com uma média anual de 4448,44 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Conforme a classificação estabelecida por Carvalho (2008), esse índice é classificado como erosividade moderada. Os meses de março a julho obtiveram os maiores valores de erosividade, representando 85,60% da média anual, enquanto novembro equivaleu a apenas 1,19% dessa média. Rosa e Sousa (2018), utilizando esse modelo ao estimar a erosividade da chuva em Óbidos – PA, no período de 1986 a 2015, obtiveram resultados próximos ao encontrado nesse estudo, com o trimestre março-abril-maio estando entre os que apresentaram maiores índices de erosividade.

Figura 9 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Rufino et al., (1993), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 10 - Erosividade média mensal obtida pelo modelo proposto por Moraes et al., (1991), no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Observa-se que, os valores de máxima e mínima erosividade no período de estudo para todos os modelos aplicados, estão relacionados às maiores e menores precipitações (figura 3). E que, mesmo em regiões diferentes, a erosividade tende a aumentar com as precipitações mais intensas.

4.4 Correlação entre a erosividade e o coeficiente de chuva

Os modelos matemáticos utilizados nesse estudo compreendem equações exponenciais baseadas no modelo de Fournier (1960) (7, 8, 9 e 12), equação exponencial (10) e equação linear (11), que foram desenvolvidas em diferentes regiões do Brasil. Sendo assim, para analisar a acurácia dos valores, é utilizado curvas de regressão que relacionem o índice de erosividade aos coeficientes de chuva.

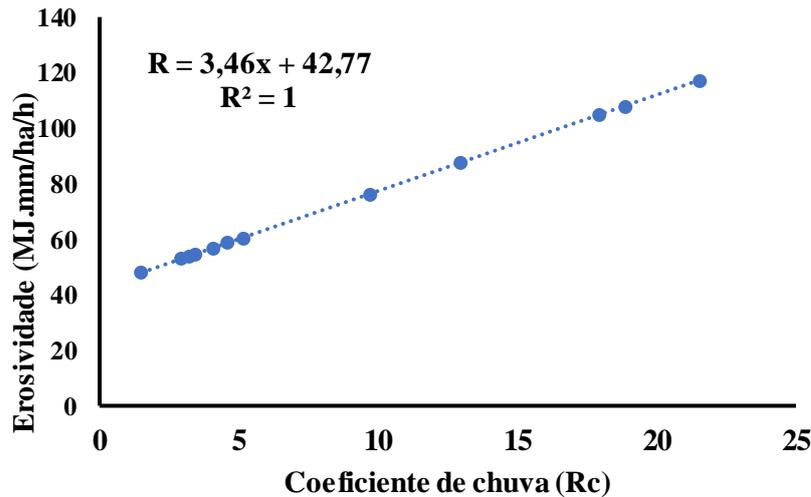
As figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16, apresentam as curvas de regressão entre a erosividade média mensal obtida através dos diferentes modelos matemáticos e o coeficiente de chuva, para os dados pluviométricos do município de Cacimbinhas – AL no período de 1963 a 2000.

A figura 11 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Oliveira Júnior e Medina (1990) e o coeficiente de chuva. De acordo com a análise de regressão, observou-se grande correlação entre o fator erosividade média mensal e o coeficiente de chuva local. Confirmando, desta forma, o fato de que a erosividade mensal das chuvas no município pode ser medida utilizando dados de precipitação. Esta correlação se ajustou a um modelo linear, com $R^2 = 1$, isso devido a equação de ser linear e usar o R_c como coeficiente angular (inclinação da reta), ajustando assim 100% dos pontos numa reta linear. Resultados semelhantes ao dessa pesquisa foram obtidos por Pereira (2019), ao utilizarem essa regressão em estudos sobre erosividade para o município de Palmeira dos Índios – AL, obtendo $R^2 = 1$.

A figura 12 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e o coeficiente de chuva. Analisando a curva de regressão, observou-se uma correlação grande entre o fator erosividade média mensal e o coeficiente de chuva local. Logo, os dados de precipitação podem ser utilizados para determinação da erosividade do município. Esta correlação se ajustou a um modelo linear, com $R^2 = 0,9986$. Alves e Azevedo (2013), determinando a erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri (PB) e utilizando modelo matemático embasado no modelo descrito por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), obtiveram resultados semelhantes, com a regressão entre os valores do índice de erosividade e

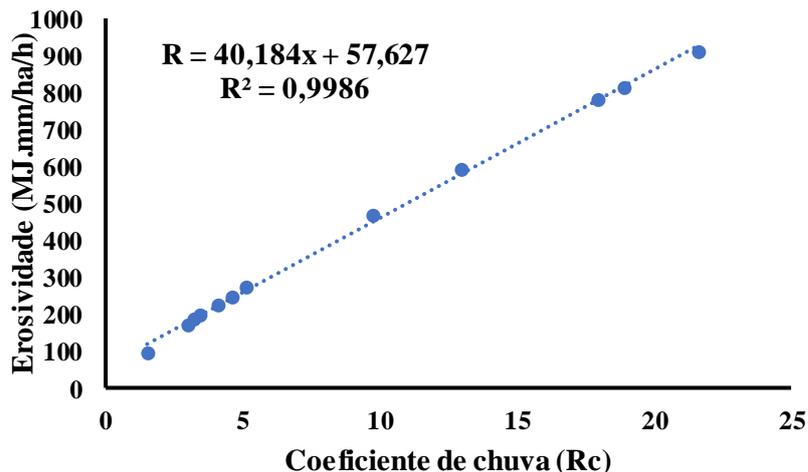
o coeficiente de chuva obtendo $R^2 = 0,9311$. Silva et al., (2009), estimando a erosividade para dois municípios de São Paulo, obtiveram valores de coeficiente de determinação elevados, com $R^2 = 0,99$ para o município de Sete Barras e $R^2 = 0,95$ para o município de Juquiá, apresentando uma forte correlação, semelhante a obtida nesse estudo.

Figura 11 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Oliveira Júnior e Medina (1990) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 12 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.

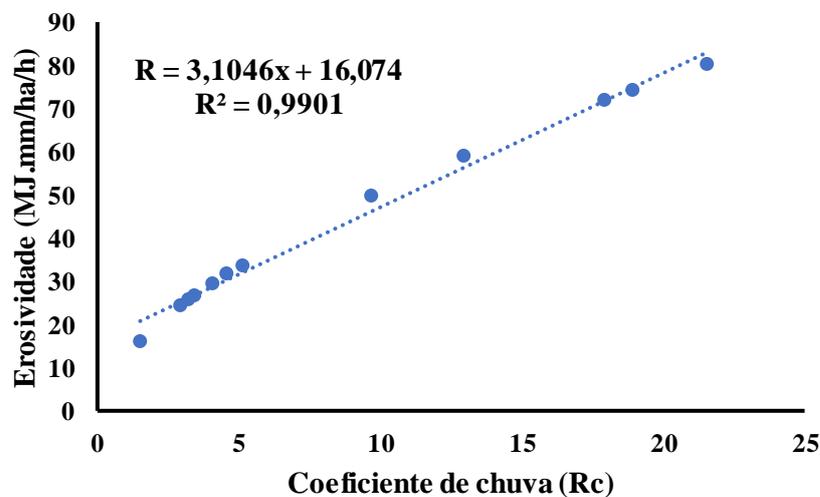


Fonte: Autor, 2023.

A figura 13 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Val *et al.*, (1986) e o coeficiente de chuva. A erosividade

média mensal e o coeficiente de chuva apresentam grande correlação, ao observarmos a curva de regressão. Desta forma, similar as curvas de regressões analisadas anteriormente, pode-se utilizar os dados pluviométricos para determinar a erosividade do município de Cacimbinhas. Esta correlação se ajustou a um modelo linear, com $R^2 = 0,9901$. Resultados similares foram encontrados por Silva et al., (2023), analisando a correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade para o município de Santana do Ipanema, com $R^2 = 0,9812$.

Figura 13 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Val *et al.*, (1986) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



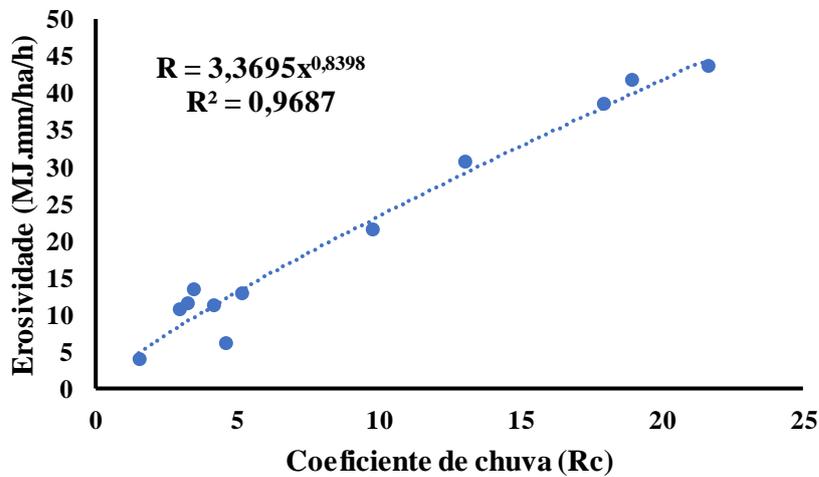
Fonte: Autor, 2023.

A figura 14 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Leprun (1981) e o coeficiente de chuva. De acordo com a análise de regressão, foi observado grande correlação entre ambos os fatores, confirmando o fato de que a erosividade mensal das chuvas no município estudado pode ser medida utilizando-se de dados pluviométricos. Esta correlação se ajustou a um modelo de potência, com $R^2 = 0,9687$. Contrastando com os resultados encontrados por Pinheiro (2021), que ao utilizar esta regressão, analisando a correlação entre ambos os fatores para o município de Arapiraca – AL, obteve um modelo matemático do tipo polinomial com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,851 e Ferreira (2021), que estudando a erosividade para o município de Rio Largo – AL, e utilizando essa regressão, obteve $R^2 = 0,9777$ com um modelo matemático linear. Evidenciando que, as precipitações variam dentro de uma mesma região, influenciando tanto na erosividade quanto no coeficiente de chuva.

A figura 15 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Rufino *et al.*, (1993) e o coeficiente de chuva. Ao analisar o

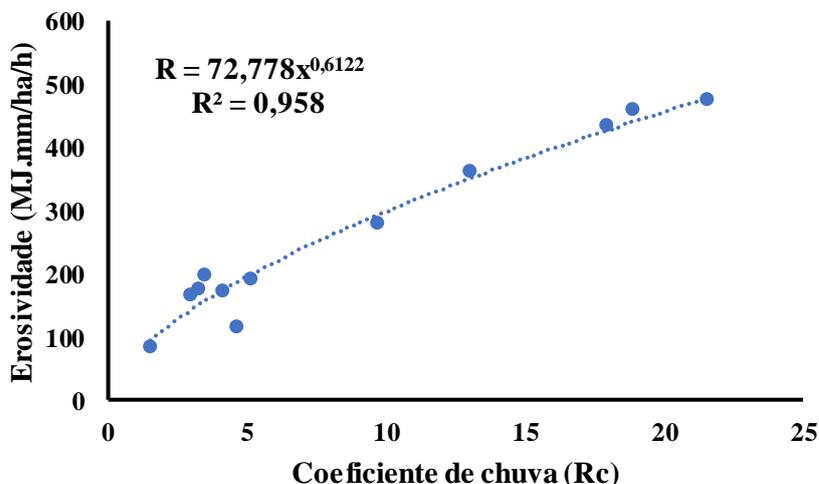
gráfico, percebemos a grande correlação entre ambos os fatores, sendo assim, a erosividade média mensal do município estudado por ser medida utilizando dados pluviométricos. Esta correlação se ajustou a um modelo de potência, com $R^2 = 0,958$. Diferente do que foi encontrado por Silva e Silva (2021), que utilizando essa regressão para correlação entre ambos os fatores no município de Major Isidoro – AL, obteve um coeficiente de determinação igual a 0,96 com um modelo matemático linear. Oliveira (2021) também obteve resultados diferentes ao utilizar essa regressão, encontrando um coeficiente de determinação igual a 0,9655 com um modelo matemático linear.

Figura 14 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Leprun (1981) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

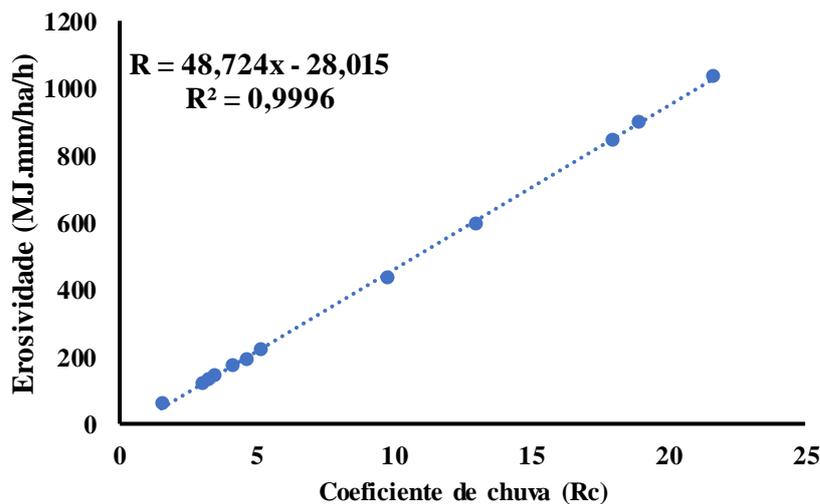
Figura 15 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Rufino et al., (1993) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

A figura 16 mostra a curva de regressão entre o índice de erosividade, obtido através do modelo matemático proposto por Morais *et al.*, (1991) e o coeficiente de chuva. Analisando a curva de regressão, observou-se uma correlação grande entre o fator erosividade média mensal e o coeficiente de chuva local. Desta forma, os dados de precipitação podem ser utilizados para determinação da erosividade do município. Esta correlação se ajustou a um modelo linear, com $R^2 = 0,9996$. Resultados semelhantes foram obtidos por Rosa e Sousa (2018) que ao estudarem a erosividade das chuvas no município de Óbidos – PA, utilizando esta regressão, observaram que o modelo linear foi o que apresentou a melhor correlação com $R^2 = 0,9991$. Diferindo dos resultados obtidos por Rosa et al., (2016) ao utilizar essa regressão em dados de erosividade de chuva em Rondon do Pará – PA, obtendo um modelo matemático de potência, com $R^2 = 0,993$.

Figura 16 - Curva de regressão entre a erosividade média mensal obtida pelo modelo de Morais *et al.*, (1991) e o coeficiente de chuva, no período de 1963 a 2000 para o município de Cacimbinhas – AL.



Fonte: Autor, 2023.

Embora algumas correlações estudadas diferenciem de resultados encontrados por outros autores, todas apresentam um coeficiente de determinação alto, indicando que dados pluviométricos podem ser utilizados por os modelos matemáticos para medição do fator erosividade no município de Cacimbinhas – AL.

5 CONCLUSÕES

A erosividade média anual obtida utilizando os seis modelos matemáticos apresentaram valores que variam de 246,51 a 4964,13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para o município estudado.

Os meses de março a julho representam o maior potencial erosivo das chuvas, sendo maio o mês mais crítico; e novembro o mês com menor potencial desse fator.

Todos os modelos matemáticos podem ser utilizados para calcular a erosividade média mensal e anual das chuvas no município de Cacimbinhas – AL.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Abel Washington de. **Determinação da erosividade das chuvas de Caruaru-PE: 1** Correlação com perdas de solo, **2.** Distribuição e probabilidade de ocorrência. 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 1991.
- AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J. F. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 04, p. 691-701, 2014.
- BACK, A. J. Erosividade da chuva para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 298-308. 2018a.
- BACK, A. J. Fator Erosividade e características das chuvas erosivas para a região do Planalto norte de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 61-66, jan./abr. 2018b.
- BACK, J. A.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da Erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 14, v. 22, jan/jun. 2018.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007.
- BEASLEY, D.; HUGGINS, L.; MONKE, E. ANSWERS: A model for watershed planning. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 23, n. 4, p. 938-944, 1980.
- CAMPOS FILHO, O. R.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P.; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1363-1370, set. 1992.
- CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.
- CARDOSO, D. P.; PIRES, F. R.; BONOMO, R. Avaliação do coeficiente de chuva – Rc. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 8, n. 3, sep/dec. 2015.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1239-1251, 2008.
- CASSOL, E. A.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 220-231, 2007.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COSTA, R. L. et al. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 100254, 2020.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: Diagnóstico do município de Cacimbinhas, estado de Alagoas. Organizado: João da Costa Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Júnior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005, 12p.

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P. Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma com base em dados do satélite TRMM. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 56, 2019.

DYONISIO, H. A. F. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, ano 7, n. 13, p. 15-25, 1º semestre, 2010.

FERREIRA, Anderson Cardoso. **Determinação da erosividade do município de Rio Largo – AL**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2021.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris: Press Universitaires de France, 1960. 201p.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e especialização da erosividade das chuvas para o estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 269-276, 2006.

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. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, v. 32, p. 825-831, 2008.

KNISEL, W. **CREAMS**: A field scale models for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. U.S.: Department of Agriculture, 1980. Report 26.

LANE, L.; NEARING, M.; LAFLIN, J.; FOSTER, G.; NICHOLS, M. Description of the US Department of Agriculture water erosion prediction project (WEPP) model. **Overland flow: Hydraulics and erosion mechanics**, p. 377-391, 1992.

LEPRUN, Jean-Claude. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro**: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisas. [S. l.]: Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Departamento de Recursos Naturais, Divisão de Recursos Renováveis, 1981.

LOMBARDI NETO, F. **Erosividade das chuvas**: sua distribuição e relacionamento com a perda de solo em Campinas, Brasil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53 p.

- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantina**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196. 1992.
- MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 529-547, 2013.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 395-403, 2003.
- MARTINS, W. L. D.; BLANCO, C. J. C.; MELO, A. M. Q. Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade. **Revista Eletrônica do curso de Geografia**, Jataí – GO. n. 36, jan-abr. 2020.
- MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007.
- MENESES, B. M. Avaliação da perda de solo por erosão hídrica no concelho de Tarouca (Portugal) e sua influência na morfogênese atual. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 493-504, Out-Dez, 2014.
- 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 do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.339-344, 1991.
- MORGAN, R. P. C. The European soil erosion model: an update on its structure and research base. *In*: Conserving soil resources: European perspectives. **Selected papers from the First International Congress of the European Society for Soil Conservation**. CAB INTERNATIONAL, 1994. p. 286-299.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p.235-239, maio/ago. 1990.
- OLIVEIRA, J. P. B.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Espacialização da Erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE. v. 10, n. 4, p. 558-563, 2015.
- OLIVEIRA, João Pedro Scholze de. **Estimativa da erosividade da chuva do município de Piaçabuçu – AL**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2021.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, n. 1, p. 139–147, 2012.

PEREIRA, Tatiele Silva. **Estimativa da erosividade das chuvas para o município de Palmeira dos Índios – AL**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2019.

PINHEIRO, Thalwanys Silva. **Estimativa de erosividade das chuvas para o município de Arapiraca – AL**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2021.

RENARD, K. G., FOSTER, G. A., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agriculture handbook**, v. 703, 1996.

ROO, A.; WESSELING, C.; JETTEN, V.; RITSEMA, C. LISEM: A physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS. **IAHS Publication**, v. 235, p. 395-403, 1996.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação em Óbidos – PA (Brasil). **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 6, n. 11 p. 256–272, 2018.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da chuva em Rondo do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 4, Oct. / Dec. 2016.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 1, p. 439-444, 1993.

SANTOS, C. G.; SILVA, J.; SANTOS, V. R.; SANTOS, I. G. O.; SANTOS, S. B. T.; ROCHA, J. J. L.; SANTOS, M. A. L. Aplicação de modelos matemáticos para estimativa do índice de erosividade das chuvas em Água Branca–AL. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 89947-89964, 2020.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123. 2010.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, Ismayla Samara dos Santos; SILVA, Nayane Ferreira. **Erosividade das chuvas como ferramenta de conservação do solo e da água no município de Major Isidoro – AL**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2021.

SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II – Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 347-354, 2003.

SILVA, R. B.; IORI, P.; SILVA, F. A. M. Proposição e validações de equações para estimativa da erosividade de dois municípios do estado de São Paulo. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 533-547, 2009.

SILVA, T. R. G.; SILVA, J. F.; ROCHA, J. J. L.; BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas em Alagoas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 208-225, 2023.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 131-138, 2011.

VAL, L. A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C.; DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras, MG. **Ciência e prática**, v. 10, n. 2, p. 199-209, 1986.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado de Tocantins. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 125-135, fev. 2014.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 347-354, 2012.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight David. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Research Service. US: Department of Agriculture, 1965.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight David. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Department of Agriculture, Science and Education Administration**, 1978.

XAVIER, J. P. S.; BARROS, A. H. C.; WEBBER, D. C.; ACCIOLY, L. J. O.; MARQUES, F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. Estimativa da Erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 03, p. 859-875, 2019.