



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL**  
**CAMPUS ARAPIRACA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE - PPGAA**  
**MESTRADO EM AGRICULTURA E AMBIENTE**

**DYEGO HENRIQUE FERRO SILVA**

**ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ALTO SERTÃO ALAGOANO**  
**ATRAVÉS DE MODELOS MATEMÁTICOS**

**ARAPIRACA**

**2023**

Dyego Henrique Ferro Silva

Estimativa da erosividade das chuvas no Alto Sertão alagoano através de modelos matemáticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* de Arapiraca, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos

Arapiraca

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
*Campus Arapiraca*  
Biblioteca Setorial *Campus Arapiraca* - BSCA

S586e Silva, Dyego Henrique Ferro  
Estimativa de erosividade das chuvas no Alto Sertão alagoano através de modelos matemáticos. [recurso eletrônico] / Dyego Henrique Ferro Silva. – Arapiraca, 2023.  
59 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos.  
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos.  
Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2023.  
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus Arapiraca*).  
Referências: f. 52-59.

1. Erosão pluvial. 2. Precipitação pluviométrica. 3. Microrregiões - Alagoas.  
I. Santos, Cícero Gomes dos. II. Santos, Márcio Aurélio Lins dos. III. Título.

CDU 636

Dyego Henrique Ferro Silva

Estimativa da erosividade das chuvas no Alto Sertão alagoano através de modelos matemáticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação *Stricto sensu* em Agricultura e Ambiente – PPGAA da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* de Arapiraca, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Data de aprovação: 26/04/2023

**Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente  
 CICERO GOMES DOS SANTOS  
Data: 26/04/2023 18:50:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Campus Arapiraca  
(Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 MARCIO AURELIO LINS DOS SANTOS  
Data: 28/04/2023 20:08:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Campus Arapiraca  
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente  
 DANIELLA PEREIRA DOS SANTOS  
Data: 28/04/2023 19:25:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Daniella Pereira dos Santos  
Autônoma  
(Examinadora)

Documento assinado digitalmente  
 RUBENS PESSOA DE BARROS  
Data: 26/04/2023 21:31:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rubens Pessoa de Barros  
Universidade Estadual de Alagoas - UNEAL  
Campus I  
(Examinador)

Dedico este trabalho aos meus familiares, a todos os professores do curso de Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, e a todos os pesquisadores que irão consulta-lo, que eles possam se lembrar sempre que ninguém nasce sabendo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, minha fonte de fé e esperança, por estar vivenciando a realização de um sonho com muita alegria e saúde.

A minha avó materna e a minha mãe por todos os ensinamentos, pela compreensão de minha ausência em alguns momentos, pelas palavras de incentivo nos momentos conturbados, enfim, agradeço por acreditarem em mim.

Agradeço a minha amada esposa pela compreensão e pelo o incentivo de cada dia continuar a lutar pela realização dos meus sonhos.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*.

Aos professores Dr. Cícero Gomes dos Santos e Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos pela orientação, paciência e por acreditarem em mim.

## RESUMO

A erosividade é definida como potencial da chuva em causar erosão no solo e é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, com destaque para a quantidade, a intensidade, e o diâmetro da gota, além da velocidade terminal. O presente estudo teve como objetivo estimar a erosividade das chuvas com base em dados pluviométricos nas microrregiões Alagoana do Sertão do São Francisco e Serrana do Alto Sertão Alagoano, com base em três modelos matemáticos. A área de estudo compreende o recorte territorial do Estado de Alagoas formado pelas microrregiões Alagoana do Sertão do São Francisco (Delmiro Gouveia, Piranhas e Olho D'água do Casado) e Serrana do Alto Sertão Alagoano (Água Branca, Canapi, Inhapi, Pariconha e Mata Grande). Nesta pesquisa foram analisadas informações pluviométricas de 06 municípios integrantes do Alto Sertão Alagoano, no período de 1913 a 1985. Para estimativa da erosividade utilizou-se os modelos propostos por Lombardi Netto; Moldenhauer (1992); Morais *et al.* (1991); e Rufino *et al.* (1993). A precipitação pluviométrica foi avaliada por meio de estatística clássica e os dados de Erosividade foram submetidos à análise de regressão linear através do software Sisvar. Para a elaboração dos mapas foi utilizada a plataforma Mapbiomas em parceria com o Google Earth Engine. Para as análises geomorfométricas foram utilizadas imagens SRTM, disponibilizadas pelo INPE via plataforma TOPODATA, produzindo o MDE. Para a manipulação e verificação dos dados foi utilizado o software Qgis. Água Branca, dentro da Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, obteve os maiores valores de médios de erosividade e Canapi, os menores. Dentro da Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, Piranhas se destaca por apresentar os menores valores médios de erosividade e Olho D'água do Casado os maiores. A precipitação média mensal para os municípios que compõem Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano foi de aproximadamente 82,81 mm para Água Branca, 51,97 mm para Mata Grande e 47,55 mm para Canapi. A precipitação média mensal para os municípios que compõem a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco foi de aproximadamente, 42,49 mm para Delmiro Gouveia, 41,50 mm para Piranhas e 46,01 mm para Olho D'água do Casado. Os maiores valores de erosividade média mensal foram verificados na Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, região de maiores altitudes, com relevo, predominantemente, suave-ondulado. A Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, apresentou os menores índices de erosividade e de precipitação. Os modelos apresentaram uma boa correlação em todos os municípios que integram a região do alto sertão alagoano.

**Palavras-chave:** microrregiões; erosão; precipitação pluviométrica.

## ABSTRACT

Erosivity is defined as the potential of rainfall to cause soil erosion and is a function exclusively of the physical characteristics of the rain itself, especially the quantity, intensity and diameter of the droplet, as well as the terminal velocity. The present study aimed at estimating rainfall erosivity based on pluviometric data in the micro-regions of Sertão do São Francisco and Serrana do Alto Sertão Alagoas, based on three mathematical models. The study area includes the territorial division of the State of Alagoas formed by the microregions Alagoana do Sertão do São Francisco (Delmiro Gouveia, Piranhas and Olho D'água do Casado) and Serrana do Alto Sertão Alagoano (Água Branca, Canapi, Inhapi, Pariconha and Mata Grande). In this research rainfall information from 06 municipalities of Alto Sertão Alagoano was analyzed, in the period from 1913 to 1985. To estimate erosivity the models proposed by Lombardi Netto; Moldenhauer (1992); Morais *et al.* (1991); and Rufino *et al.* The rainfall was evaluated using classical statistics and the erosivity data were submitted to linear regression analysis using the Sisvar software. For the elaboration of the maps the Mapbiomas platform was used in partnership with Google Earth Engine. For the geomorphometric analyses SRTM images were used, made available by INPE via the TOPODATA platform, producing the MDE. For data manipulation and verification the Qgis software was used. Água Branca, within the Microregion Serrana do Alto Sertão Alagoas, obtained the highest average erosivity values and Canapi, the lowest. Within the Microregion Sertão do São Francisco, Piranhas stands out for presenting the lowest average erosivity values and Olho D'água do Casado the highest. The average monthly precipitation for the counties that make up the Microregion Serrana do Alto Sertão Alagoano was approximately 82.81 mm for Água Branca, 51.97 mm for Mata Grande and 47.55 mm for Canapi. The average monthly precipitation for the municipalities that make up the Microregion of Sertão do São Francisco was approximately 42.49 mm for Delmiro Gouveia, 41.50 mm for Piranhas and 46.01 mm for Olho D'água do Casado. The highest average monthly erosivity values were verified in the Microregion Serrana do Alto Sertão Alagoas, a region of higher altitudes, with predominantly gentle-rounded relief. The Microregion of Sertão do São Francisco, in Alagoas, presented the lowest erosivity and precipitation rates. The models presented a good correlation in all the municipalities that make up the region of the high sertão of Alagoas.

**Keywords:** microregions; erosion; pluviometric precipitation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de declividade das microrregiões do alto sertão alagoano.....	20
Figura 2 - Mapa de altitude das microrregiões do alto sertão alagoano.....	21
Figura 3 - Mapa de zoneamento das classes de solos nas microrregiões do alto sertão alagoano.....	22
Figura 4 - Mapa de localização das microrregiões que compõe o alto sertão alagoano.....	23
Figura 5 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (D) e Olho D'água do Casado (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes <i>et al.</i> , (1991), para os municípios de Delmiro Gouveia (B), Piranhas (E) e Olho D'água do Casado (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino <i>et al.</i> , (1993), para os municípios de Delmiro Gouveia (C), Piranhas (F) e Olho D'água do Casado (I).....	35
Figura 6 - Valores de precipitação média mensal e de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (D) e Canapi (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes <i>et al.</i> , (1991), para os municípios de Água Branca (B), Mata Grande (E) e Canapi (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino <i>et al.</i> , (1993), para os municípios de Água Branca (C), Mata Grande (F) e Canapi (I).....	38
Figura 7 - Gráficos de precipitação média anual para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (B) e Canapi (C) .....	40
Figura 8 - Gráficos de precipitação média anual para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (B) e Olho D'água do Casado (C).....	43
Figura 9 - Correlação entre coeficiente de chuva (Rc) e índice de erosividade obtido pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (D) e Canapi (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes <i>et al.</i> , (1991), para os municípios de Água Branca (B), Mata Grande (E) e Canapi (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino <i>et al.</i> , (1993), para os municípios de Água Branca (C), Mata Grande (F) e Canapi (I).....	47
Figura 10 - Correlação entre coeficiente de chuva (Rc) e índice de erosividade obtido pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de	

Delmiro Gouveia (A), Piranhas (D) e Olho D'água do Casado (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes *et al.*, (1991), para os municípios de Delmiro Gouveia (B), Piranhas (E) e Olho D'água do Casado (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino *et al.*, (1993), para os municípios de Delmiro Gouveia (C), Piranhas (F) e Olho D'água do Casado (I).....50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Municípios, área territorial, coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C), altimetria (m) e série de dados pluviométricos utilizados para o alto sertão alagoano.....	24
Tabela 2 - Classes de erosividade do solo proposto por Cravalho (2008).....	26
Tabela 3 - Resultado da estatística descritiva dos dados de erosividade dos municípios que integram as microrregiões que constituem o alto sertão alagoano.....	30
Tabela 4 - Valores de precipitação média anual e dos índices de erosividade obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Moraes <i>et al.</i> , (1991) e Rufino <i>et al.</i> , (1993), para Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano.....	41
Tabela 5 - Valores de precipitação média anual e dos índices de erosividade obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Moraes <i>et al.</i> , (1991) e Rufino <i>et al.</i> , (1993), para Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CV	Coeficiente de variação
EC	Energia cinética
EI	Índice de Erosão
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solo
EI	Índice de erosão
Fator R	Erosividade da chuva
h	Hora
ha	Hectare
Km	Quilometro
MJ	Megajoule
mm	Milímetro
R	Estimativa da Erosividade de chuva
R <sub>C</sub>	Coeficiente de chuva
R <sub>X</sub>	Fator R

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1	DEGRADAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA.....	14
2.2	EROSIVIDADE DA CHUVA.....	15
2.3	MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DE EROSIVIDADE.....	18
2.4	CARACTERIZAÇÃO DO ALTO SERTÃO ALAGOANO.....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2	DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	24
3.3	ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CHUVA.....	24
3.4	DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DE CHUVA UTILIZANDO-SE MODELOS MATEMÁTICOS.....	25
3.5	CATEGORIAS DE EROSIVIDADE DA CHUVA.....	26
3.6	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	26
3.7	AQUISIÇÃO DE MAPAS E BASE DE DADOS.....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA REGIÃO ALTO SERTÃO ALAGOANO.....	29
4.2	DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA E DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO SERRANA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO.....	33
4.3	DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA E DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO ALAGOANA DO SERTÃO DO SÃO FRANCISCO.....	36
4.4	VALORES MÉDIOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO ALAGOANO.....	39
4.5	EROSIVIDADE DA CHUVA E COEFICIENTE DE CHUVA NA MICRORREGIÃO SERRANA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO.....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	51
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade humana evoluiu de nômade, com hábitos de caçadores-coletores para sedentários, isto coincidiu com a domesticação de espécies vegetais, dando início a primeira grande revolução da Humanidade, a invenção da agricultura. Possibilitando uma maior produção de alimentos, mas por outro lado teve início os primeiros impactos significativos sobre o meio ambiente (TELLES; DECHEN; GUIMARÃES, 2018). A invenção da agricultura possibilitou o aumento da oferta de alimentos, dando origem as primeiras civilizações, que em curto espaço de tempo alcançaram o seu apogeu, mas se utilizou de forma desordenada dos recursos naturais, principalmente os solos, iniciou a degradação do solo, através dos processos erosivos (DECHEN *et al.*, 2015; MATOS *et al.*, 2017; TELLES; DECHEN; GUIMARÃES, 2018). Segundo Bertol; Cassol; Barbosa (2018), a erosão do solo causou a ruína de algumas civilizações humanas e a derrocada de impérios antigos.

A prática da agricultura evoluiu junto com a sociedade, mas os processos erosivos continuam provocando sérios danos, principalmente nas áreas produtivas. A erosão é definida por Foster, na década de 1982, como o resultado de uma força sobre um corpo. A energia motriz da erosão é proveniente da chuva, que transfere a energia da gota de chuva sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir o escoamento superficial (PRUSKI, 2009).

A capacidade da chuva em transferir energia para o solo é definida como erosividade, que em alguns modelos de predição da erosão é representado pela letra R. A erosividade é definida como potencial da chuva em causar erosão no solo e é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, com destaque para a quantidade, a intensidade, e o diâmetro de gotas, além da velocidade terminal (AMORIM *et al.*, 2001).

Um dos grandes desafios na elaboração de modelos para estimativa da erosão, consistia em transformar a energia cinética da chuva em valores numéricos, para aplicação em um modelo matemático de predição de erosão. Em 1958, Wischmeier; Smith, conseguiram converter as características das precipitações registradas em pluviografos em valores numéricos. Estabeleceu o EI30, que representa o índice de erosividade das chuvas, cujo valor é obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das chuvas, que representa a energia cinética total da chuva (E) e a intensidade máxima em 30 minutos (I30) para uma determinada localidade (WISCHMEIER; SMITH, 1958; SANTOS; MONTENEGRO, 2012; WALTRICK *et al.*, 2015).

O método padrão de estimativa da erosividade das chuvas, utilizando-se os principais modelos de predição, baseia-se no método desenvolvido por Wischmeier; Smith, que requer

um período de observação de dados pluviográficos de mais de 20 anos. No Brasil isso se tornou um obstáculo, em função da grande escassez de estações meteorológicas, que gere dados pluviográficos (MACHADO *et al.*, 2013). Buscando-se contornar esta escassez de informações para determinar os índices de erosividade da chuva, foram desenvolvidos uma série de trabalhos buscando a obtenção de modelos matemáticos, que se estima a erosividade com base em dados pluviométricos, que apresentam muitos anos de medição e existem registros em praticamente todas as localidades ou regiões do Brasil (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Os modelos de estimativa da erosividade, estão baseados na estimativa da erosividade da chuva para cada mês (Rx) a partir das precipitações médias mensais (Mx) e da precipitação média anual (P). Dentre os modelos, destacam-se um desenvolvido por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), com dados de Campinas (SP), outro desenvolvido por Moraes *et al.* (1991), com dados de precipitação da região Norte e o modelo obtido por Rufino *et al.* (1993), com dados de precipitação do estado do Paraná.

O estado de Alagoas possui uma área aproximada de 27.767 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023), o que representa aproximadamente 0,33% do território brasileiro. Atualmente, o estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões: o Leste, o Agreste e o Sertão Alagoano (SOUZA *et al.*, 2020). As mesorregiões são subdivididas em microrregiões, com destaque para as microrregiões do Sertão do São Francisco e a Serrana do Alto Sertão Alagoano.

Os municípios de Mata Grande, Água Branca e Canapi, estão localizados na região Serrana do Alto Sertão Alagoano, semiárido nordestino, mas apresentam condições climáticas diferentes, com temperaturas mais baixas, sobretudo devido ao seu relevo (SANTOS *et al.*, 2019). A microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco é composta pelos municípios de Olho D'água do Casado, Piranhas e Delmiro Gouveia, situados no extremo oeste do estado, em uma região marcada pelo bioma caatinga e existência do rio São Francisco.

O presente trabalho tem como objetivo determinar a erosividade das chuvas com base em dados pluviométricos nas microrregiões Alagoana do Sertão do São Francisco e Serrana do Sertão de Alagoano, com base em três modelos matemáticos. E assim fornecer informações que auxiliem os agricultores ou órgãos públicos, através de políticas públicas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DEGRADAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA

O processo que resulta na desagregação, no transporte e na deposição de partículas e nutrientes das camadas superficiais dos solos, é denominado de erosão. Caracterizado pela ação de agentes erosivos, entre eles a chuva, o escoamento superficial, o vento ou gelo, é influenciada pelas condições ambientais e ação antrópica (ASHIAGBOR *et al.*, 2013; DECHEN *et al.*, 2015; BELASRI; LAKHOULI, 2016; BARROS *et al.*, 2018; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018). Nesse sentido, a atividade humana, causadora dos mais diversos impactos ambientais, tem contribuído com o aceleração de processos erosivos em solos agrícolas, o que tem gerado efeito negativo direto na qualidade dos ambientes de produção, acentuando o desequilíbrio ambiental (MATOS *et al.*, 2017; TELLES; DECHEN; GUIMARÃES, 2018).

A erosão é apontada como um dos principais fatores de degradação do solo e tem origem no rompimento natural da superfície, em função da ação de forças decorrentes de fatores climáticos como a chuva e o vento (PRUSKI, 2009). Principal vetor responsável pela degradação do solo, a erosão tem ocasionado diferentes impactos ambientais: localmente, tem contribuído com perda da fertilidade natural do solo, queda da produtividade agrícola e aumento de custos de produção; e fora do local, tem colaborado com assoreamento dos cursos de água, contaminação de rios e aumento das enxurradas e enchentes (ASHIAGBOR *et al.*, 2013; OLIVEIRA; SERAPHIM; BORJA, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018; BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018). Por esta razão, a erosão do solo se torna um dos maiores problemas ambientais no mundo (WANG *et al.*, 2016), fato corroborado por Pham, Dagener e Kappas (2018), ao afirmar em uma de suas pesquisas que as taxas médias de erosão do solo em todo o planeta são estimadas entre 12 e 15 t/ha<sup>1</sup> ano<sup>1</sup>, o que implica dizer que todos os anos são perdidos cerca de 0,90-0,95 mm de solo na superfície da terra.

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2018), o processo erosivo é desencadeado pelos impactos das gotas de chuva, que transfere para o solo força motriz que energiza o sistema, provocando desprendimento e arraste acelerado das partículas da superfície. Existem diversos tipos de erosão, entretanto, a hídrica é a mais preocupante no Brasil, uma vez que, desagrega e transporta material erodido com grande facilidade, especialmente em regiões de clima úmido onde suas consequências são mais drásticas (SCHÄFER *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2013). Para conter as consequências pesquisadores tem se dedicado ao gerenciamento do solo e da água, mecanismos com amplo potencial de desencadear problemas

ambientais, econômicos e sociais, necessários para um ecossistema equilibrado (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010; SCHICK *et al.*, 2014).

Influenciada pela ação de diversos fatores, em especial a ação do clima na forma de precipitação (CASSOL; LIMA, 2003) e por ação humana (CASSOL; LIMA, 2003; PEREIRA *et al.*, 2003; CANTALICE *et al.*, 2009), a erosão hídrica, marcada na história da humanidade como causadora do declínio de antigos impérios (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018), é sustentada por um conjunto de interações variáveis que obedece a padrões climáticos, como por exemplo, a intensidade de chuvas em uma determinada região (SOUZA; SEIXAS, 2001; COGO *et al.*, 2003; PEREIRA *et al.*, 2003; BEZERRA; CANTALICE, 2006; CANTALICE *et al.*, 2009). Portanto, realizar estimativas das perdas de solo por erosão hídrica tem se tornado caminho fundamental para o planejamento de políticas ambientais e adoção de práticas conservacionistas que favoreçam o uso adequado do solo, principalmente dos recursos hídricos (PANAGOS *et al.*, 2015; MELO *et al.*, 2019), além de oferecer proteção da superfície com uso de resíduos vegetais (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

## 2.2 EROSIVIDADE DA CHUVA

Em 1937, Cook, trabalhando com pesquisas em processos erosivos, cunhou o termo erosividade, para designar a capacidade da ação da energia cinética da chuva natural em causar erosão em uma área (AMORIM *et al.*, 2001). Proposto inicialmente nos trabalhos de Ellison; Ellison, em 1947, para definir a capacidade das gotas de chuva em causar despendimento, deslocamento e arraste das partículas do solo (HUDSON, 1995; MACHADO *et al.*, 2013), a erosividade está diretamente associada as características físicas da chuva (EVANGELISTA *et al.*, 2012), como quantidade, intensidade, diâmetro das gotas, velocidade final e energia cinética (AMORIM *et al.*, 2001).

Telles; Dechen; Guimarães (2018), afirmam que a chuva é o fator de maior contribuição para a erosão do solo, atuando tanto no controle do volume quanto na velocidade da enxurrada, variando conforme intensidade, duração e frequência. Para avaliar o potencial erosivo de uma determinada área é fundamental considerar tamanho, forma e velocidade da gota, bem como intensidade, tipo de chuva (convectiva, frontal ou orográfica) e localização geográfica, propriedades físicas do processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge a superfície terrestre (MELLO *et al.*, 2013; VIOLA *et al.*, 2014).

Na década de 19(70), Hudson agregou informações suficientes sobre o índice de erosividade que permitiu a Wischmeier; Smith, em 1978, correlacionar em um de seus trabalhos

a energia cinética e os efeitos das gotas de chuva na superfície do solo (SILVA, 2004). A erosividade tem sido usualmente expressa como uma função potencial da intensidade de precipitação (PRUSKI, 2009). Para Schick *et al.* (2000), a precipitação pluviométrica é considerada um dos principais fatores no desenvolvimento do processo erosivo hídrico, em parte por relacionar a energia cinética das gotas de chuva que se traduz em força motriz no sistema, estimulando a manifestação variável de seus fatores.

Tratando-se das variáveis, a análise da erosividade das chuvas, fator R, descrito da Equação Universal de Perda de Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*), é essencial para estimar as perdas de solo, pois exerce grande influência no impacto que as gotas de chuva provocam na desagregação das partículas do solo, estando diretamente relacionado com a duração e intensidade da chuva naquela localidade (BERTOL *et al.*, 2002; XAVIER *et al.*, 2018). O fator R representa numericamente a força da chuva e do escoamento, sendo empregado como principal parâmetro na avaliação da erosão hídrica do solo, na produção de sedimentos e monitoramento da qualidade da água, uma vez que, dentre todas as variáveis, ele é o mais suscetível a mudanças climáticas e ambientais (LEE *et al.*, 2011; XAVIER *et al.*, 2018).

No Brasil, as informações espaço-temporais das chuvas utilizadas para obter o índice de erosividade são escassas, fato que acaba dificultando o cálculo. Como alternativa, pesquisadores tem desenvolvido modelos capazes de estimar valores de erosividade, partindo de dados acessíveis como média mensal ou anual de precipitação pluviométrica (TRINDADE, *et al.*, 2016; XAVIER, *et al.*, 2018). Para esta estimativa, o fator R considera períodos de no mínimo 20 anos de dados pluviográficos, determinando para cada chuva o índice EI<sub>30</sub>, que representa o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima em 30 min (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018).

O índice EI<sub>30</sub> retrata o melhor caminho para avaliar a capacidade erosiva da chuva em solos cultivados (ELTZ *et al.*, 2011; OLIVEIRA JÚNIOR; MEDINA, 2012). Segundo Mazurana *et al.* (2009), o índice EI<sub>30</sub>, resultado do produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima do fenômeno chuva em 30 minutos, caracteriza o potencial de erosividade da chuva, sendo representado pelo fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), utilizada largamente como referência em estudos sobre erosão hídrica dos solos (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; FERREIRA; FERREIRA, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018). O EI<sub>30</sub> é obtido através do modelo matemático proposto por Wischmeier, em 1958, conforme descrito na equação 1:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log i \quad (1)$$

Onde:

EC = energia cinética em megajoule por hectare-milímetro de chuva ( $\text{MJ}/\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ );

i = intensidade da chuva em milímetro por hora (mm/h).

O índice de erosão (EI), é obtido pelo produto entre a energia cinética (EC) e a intensidade máxima em 30 minutos ( $\text{IE}_{30}$ ), representando a interação que mede o efeito de como o impacto da gota de chuva e a turbulência se combinam para desagregar e transportar as partículas desprendidas do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018), onde:

$$\text{EI} = \text{EC} \times \text{EI}_{30} \quad (2)$$

$\text{EI}_{30}$  = índice de erosão,  $\text{MJ ha}^{-1}$  multiplicando por  $\text{mm h}^{-1}$ .

Estas equações servem como suporte para a obtenção do índice médio de erosividade, sendo necessário uma série de registro sobre dados de precipitação pluviográfica de no mínimo uma série completa de vinte anos (CASSOL *et al.*, 2008; PRUSKI, 2009; SANTOS; MONTENEGRO, 2012). Entretanto, a utilização de dados pluviográficos no Brasil limita os modelos de predição da erosividade da chuva em função da escassez de informações (ALBUQUERQUE, 1991; CARVALHO *et al.*, 2005; MACHADO *et al.*, 2013). Buscando contornar esta situação, Bertoni; Lombardi Neto (2018) afirmam em seus estudos que no Brasil, a partir da década de 80, diversos trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de estabelecer a correlação entre o índice de erosividade (R) e o coeficiente de chuva ( $R_c$ ), utilizando-se séries de no mínimo vinte anos de dados pluviométricos, considerando o modelo proposto por Fournier, em 1956, através da equação:

$$R_c = (p^2/P) \quad (3)$$

Onde:

$R_c$  = representa o coeficiente de chuva, adimensional (mm);

p = valores de precipitação pluviométrica mensal (mm);

P = valores de precipitação pluviométrica média anual (mm).

### 2.3 MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAÇÃO DE EROSIVIDADE

Diante da necessidade de transformar a ação da chuva sobre o solo em valores numéricos que pudessem ser interpretados para estimar as perdas de solo e de água, diversos estudos foram desenvolvidos considerando a aplicação diferentes modelos matemáticos. O conhecimento mensurado por estimativas de modelos matemáticos proporciona o dimensionamento seguro das estruturas de conservação e das práticas agrícolas que objetivam gerenciar a predição de impactos ambientais (SANTOS; MONTENEGRO, 2012; ELTZ *et al.*, 2013).

Segundo Carvalho *et al.* (2005) é comum no Brasil a escassez de dados pluviográficos e, ou, falta de séries históricas compatíveis para se obterem índices de erosividade. Somados a esta carência, o intenso trabalho, necessário desde a leitura das informações de pluviográficos até o cálculo dos índices de erosividade, colaborou para a busca de alternativas como a possibilidade de obtenção desses índices a partir de características pluviométricas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2018), como a altura precipitada e o coeficiente de chuva ( $R_C$ ) (FOURNIER, 1960; LOMBARDI NETO, 1977).

Partindo desse pressuposto, Lombardi Neto (1977) propôs com base na equação de Fournie, desenvolvida em 1960, um modelo matemático que estabelece relação entre os valores de precipitação pluviométrica mensal por um período anual em uma determinada localidade de estudo. Com base na equação de Fournier e utilizando dados de precipitação de Campinas, no interior de São Paulo, Lombardi Neto; Moldenhauer, em 1992, propuseram a equação:

$$R_x = 68,73 \left( M_x^2 / P \right)^{0,841} \quad (4)$$

Onde  $R_x$  é o fator R ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $M_x$  é a precipitação média mensal (mm) e P, a precipitação média anual (mm).

Outro modelo matemático desenvolvido com base na equação de Fournie (1960), que considera dados pluviométricos de uma região específica, foi proposto por Morais *et al.* (1991, resultando na equação:

$$R_x = 36,849 \left( M_x^2 / P \right)^{1,0852} \quad (5)$$

Onde,  $R_x$  é a erosividade da chuva para cada mês ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $M_x$  é a média do total mensal de precipitação, em mm e P é a média do total anual de precipitação, em mm.

O índice de erosividade anual das chuvas (R) corresponde ao somatório dos valores mensais desse índice.

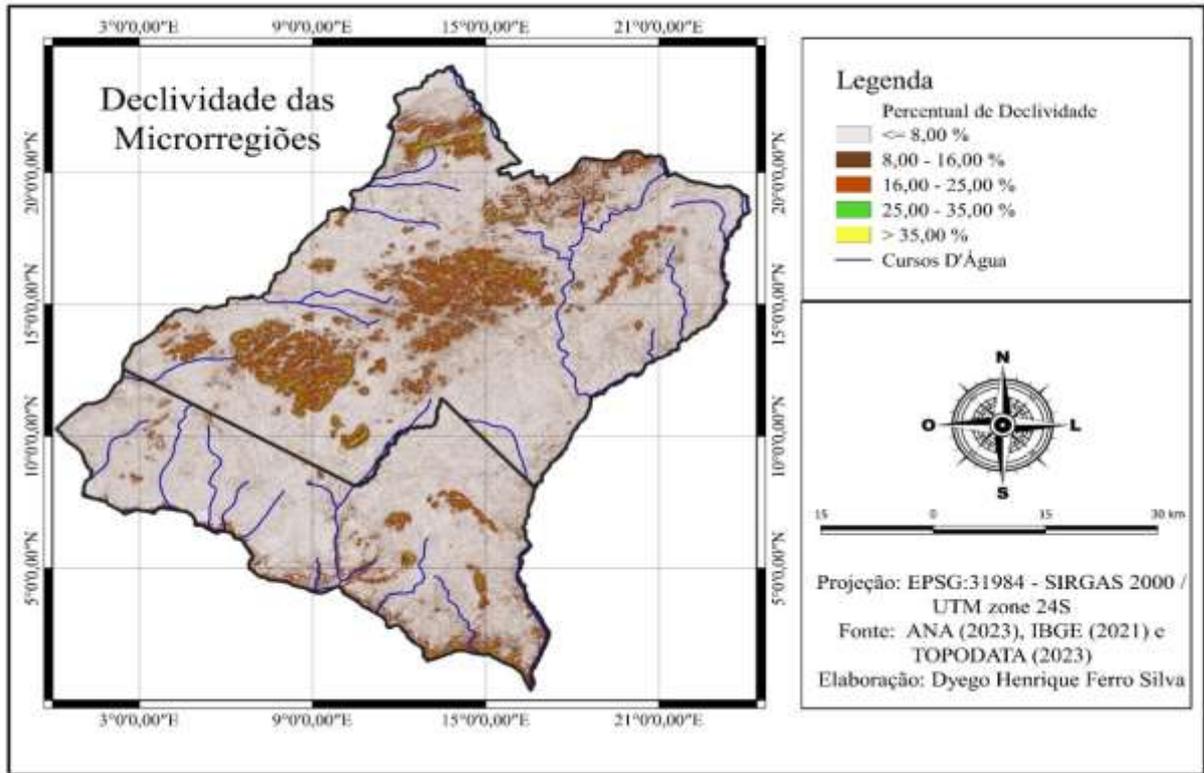
Rufino *et al.* (1993), considerando modelos lineares para determinação da erosividade de uma localidade com base em dados pluviométricos, propuseram a uma nova equação, onde  $R_x$ , representa o fator R ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ),  $M_x$ , a precipitação média mensal (mm) e P corresponde a precipitação média anual (mm):

$$R_x = 19,44 + (4,20 * M_x) \quad (6)$$

#### 2.4 CARACTERIZAÇÃO DO ALTO SERTÃO ALAGOANO

Dividido nas microrregiões Serrana do Alto Sertão Alagoano (Mata Grande, Água Branca e Canapi) e Alagoana do Sertão do São Francisco (Olho D'água do Casado, Piranhas e Delmiro Gouveia) (IBGE, 2020), a região do alto sertão alagoano, segundo dados da CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2005), possui paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizando-se por superfícies de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas (Figura 1). Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. Formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros (Figura 2), apresenta relevo geralmente bastante movimentado, com vales profundos e estreitos.

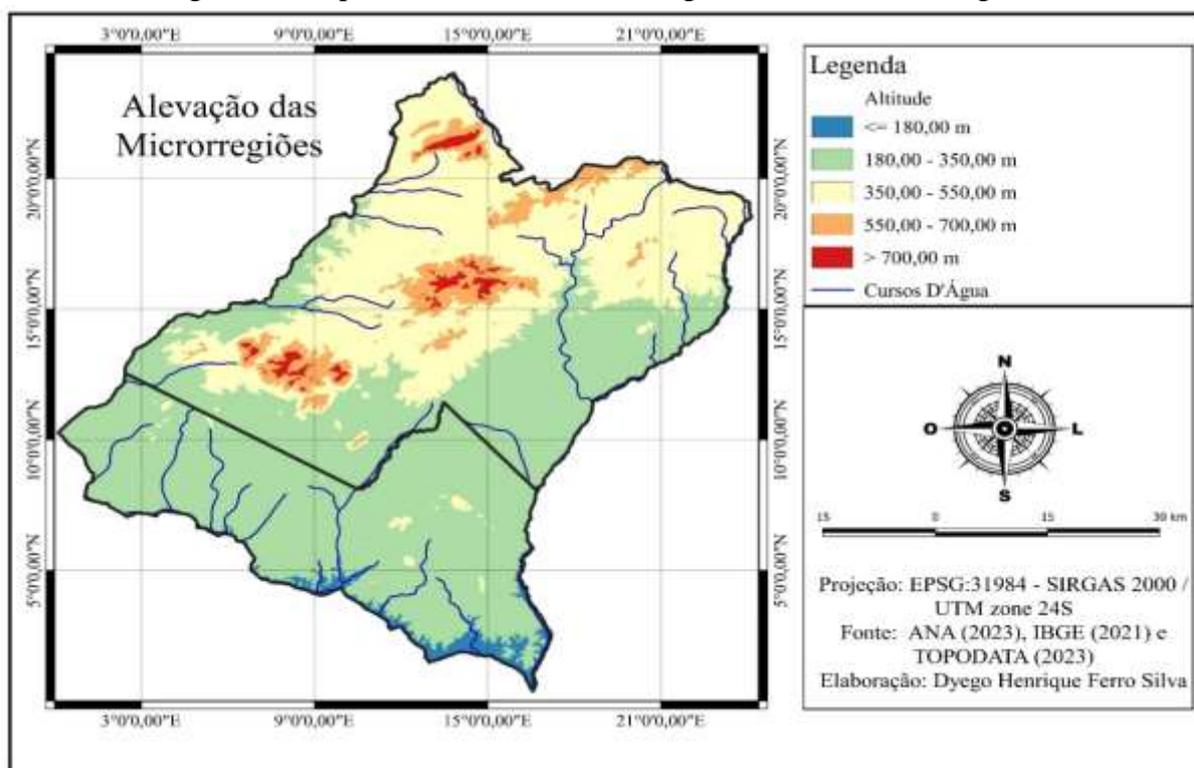
Figura 1- Mapa de declividade das microrregiões do alto sertão alagoano.



Fonte: IBGE (2023); ANA (2023).

Em função de suas localizações as microrregiões que constituem o alto sertão alagoano diferem entre si em razão de suas características morfológicas e edafoclimáticas. Os municípios que compõem a microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, no geral, estão localizados ao longo de pediplanos ondulados, expostos a partir de sedimentos do Cretáceo ou Terciário que cobriam o escudo brasileiro basal do Pré-Cambriano, onde um grande processo de pediplanação ocorreu durante o Terciário superior e Quaternário inferior para descobrir as superfícies atuais de rochas cristalinas de Pré-Cambriano (gnaisses, granitos e xistos), deixando apenas vestígios isolados das superfícies mais jovens por toda a parte da Caatinga. Por outro lado, as unidades morfológicas dispostas nos municípios que compõem a microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco se apresentam ora localizadas em *canyon* que são vales encaixados de paredes abruptas, que adquirem características mais típicas quando cortam estruturas sedimentares que pouco se afastam do horizonte e as serras que são terrenos acidentados com fortes desníveis que constituem escarpas ou grupamentos de inselbergs (CPRM, 2005).

Figura 2 - Mapa de altitude das microrregiões do alto sertão alagoano.



Fonte: IBGE (2023); ANA (2023).

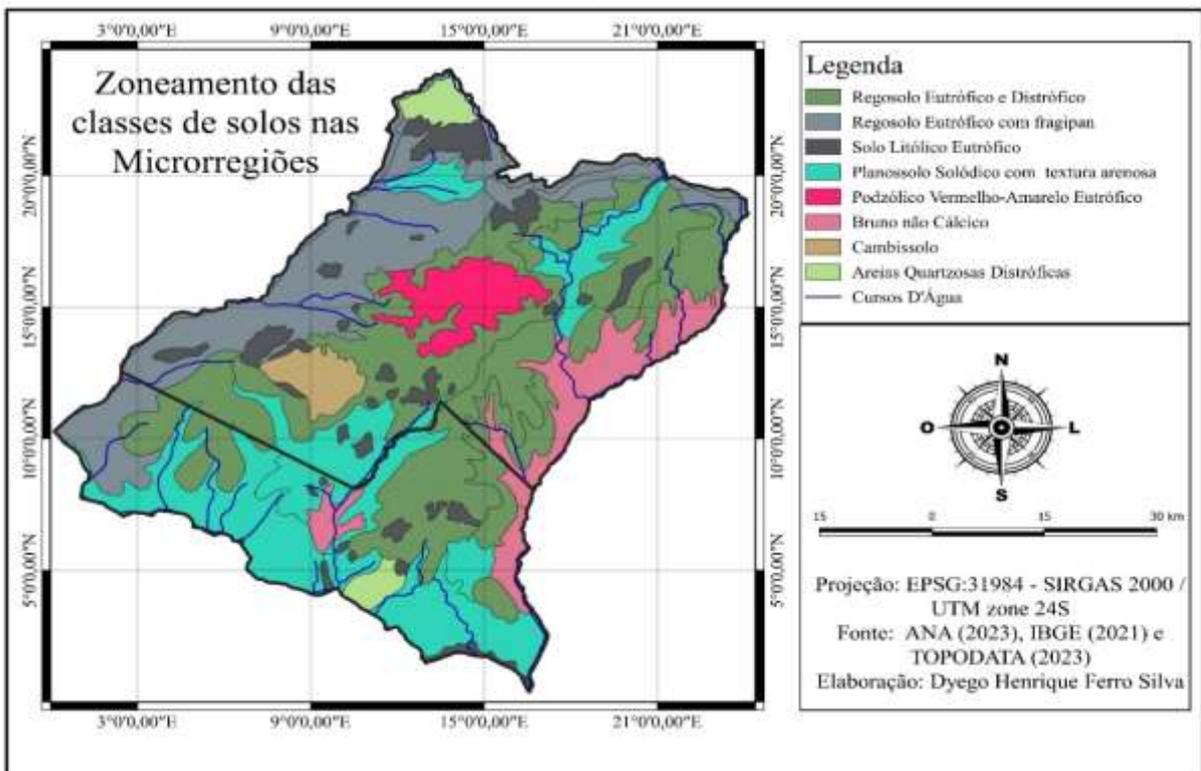
De acordo com o Serviço Geológico do Brasil, Mata Grande e Água Branca são municípios que apresentam 70% do seu território inserido na unidade geambiental da Depressão Sertaneja e 30% inseridos na unidade geambiental do Planalto da Borborema. Canapi e Delmiro Gouveia apresentam seus territórios inseridos completamente na unidade geambiental da Depressão Sertaneja, o que representa a paisagem típica do semiárido nordestino. Olho D'água do Casado apresenta uma pequena parte de sua área na unidade geambiental da Depressão Sertaneja (cerca de 35 %) e a maior parte de seu território inserido na unidade geambiental do Planalto da Borborema (cerca de 65%). Em contrapartida, Piranhas, está inserido predominantemente na unidade geambiental da Depressão Sertaneja com cerca de 65% do território e apenas 35% inserido na unidade geambiental do Planalto da Borborema (CPRM, 2005).

Mata Grande, Água Branca, Olho D'água do Casado, Piranhas e Delmiro Gouveia apresentam vegetação basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, caracterizado pelo regime de chuvas irregular espacialmente e temporalmente. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. Canapi, por outro lado, apresenta vegetação formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo Tropical

Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro (CPRM, 2005; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2012).

Quanto aos solos, nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; topos e altas vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; topos e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as elevações residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média, atributos de regiões tropicais e subtropicais (Figura 3) (SILVA *et al.*, 2007; CPRM, 2005).

Figura 3 - Mapa de zoneamento das classes de solos nas microrregiões do alto sertão alagoano.



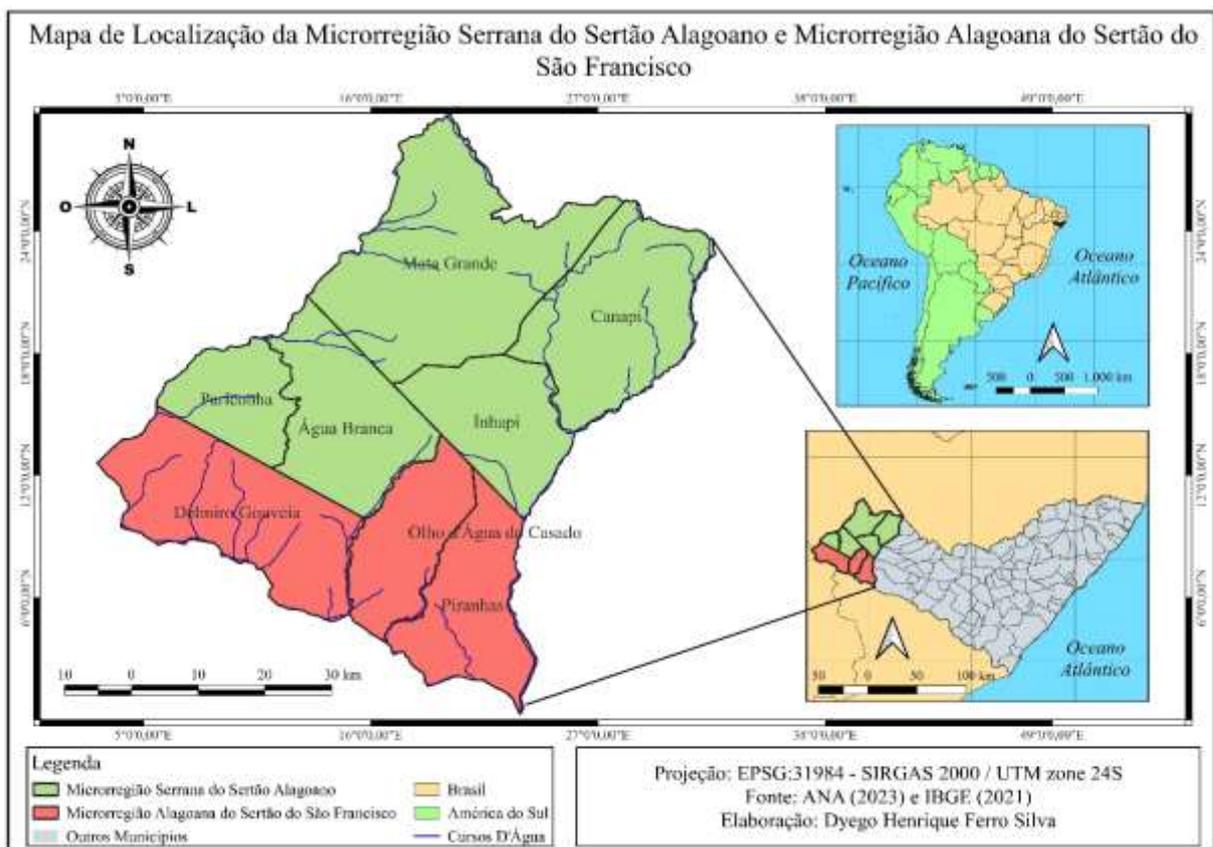
Fonte: IBGE (2023); ANA (2023).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o recorte territorial do Estado de Alagoas, formado pelas microrregiões Alagoana do Sertão do São Francisco e Serrana do Alto Sertão Alagoano (Figura 4). Esta região compreende a porção oeste do Estado de Alagoas, limitando-se com o Estado de Pernambuco ao norte, e ao oeste com o Estado da Bahia, e ao sudeste com o Rio São Francisco, na porção sul com a microrregião de Batalha e ao leste com a microrregião de Santana de Ipanema.

Figura 4 - Mapa de localização das microrregiões que compõe o alto sertão alagoano.



Fonte: IBGE (2023); ANA (2023).

A área de estudo (Figura 4) constituída por oito municípios, distribuídos nas microrregiões do Alagoana do Sertão do São Francisco (Delmiro Gouveia, Piranhas e Olho D'água do Casado) e Serrana do Sertão Alagoano (Água Branca, Canapi, Inhapi, Pariconha e Mata Grande), com uma área territorial de 3.972,685 km<sup>2</sup>, que corresponde aproximadamente 14,27% da área total do estado de Alagoas. A microrregião Serrana do Sertão Alagoano,

apresenta condições climáticas diferentes com temperaturas mais baixas, nas partes mais elevadas, em função do relevo (CPRM, 2005; SANTOS *et al.*, 2019). A microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, está inserida na unidade geoambiental da depressão sertaneja, com uma vegetação típica da Caatinga, com uma paisagem de superfície de pediplano bastante monótona, caracterizada por relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas (CPRM, 2005).

Tabela 1- Municípios, área territorial, coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C), altimetria (m) e série de dados pluviométricos utilizados para o alto sertão alagoano.

Município	Área (Km <sup>2</sup> )	Lat.	Long.	°C Máx.	°C Mín.	Alt. (m)	Série utilizada (tamanho)
Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano							
Mata Grande	914,722	09° 07' 03"S	37° 43' 56"W	33	15	633	1937-1991 (54 anos)
Água Branca	468,229	09° 15' 39"S	37° 56' 10"W	32	16	570	1913-1985 (72 anos)
Canapi	602,778	09° 07' 01"S	37° 36' 08"W	37	20	342	1937-1985 (48 anos)
Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco							
Delmiro Gouveia	628,545	09° 23' 19"S	37° 59' 57"W	38	18	256	1936-1991 (55 anos)
Olho D'água do Casado	327,678	09° 30' 07"S	37° 50' 02"W	36	26	230	1963-1991 (28 anos)
Piranhas	403,995	09° 37' 25"S	37° 45' 24"W	39	20	88	1913-1965 (52 anos)

Fonte: O autor (2023).

### 3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Nesse estudo foram utilizados dados de precipitação pluviométrica mensais referentes a seis estações localizadas nos municípios que integram o alto sertão alagoano num período compreendido em 1913 a 1991. Os dados foram obtidos dos arquivos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (1990) e do banco de dados climatológicos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (ALAGOAS, 2021) (Tabela 1). A partir destas informações climatológicas foram determinadas as variáveis de interesse no âmbito deste trabalho.

### 3.3 ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CHUVA

A estimativa da Erosividade de chuva (R) utilizando-se dados pluviométricos não é considerado o método padrão, mas calculando-se a Erosividade por dados pluviográficos

(DIAS; SILVA, 2003). Os dados pluviográficos são escassos e de difícil obtenção no Brasil (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2018). Buscando minimizar este problema foram propostos vários modelos matemáticos para obtenção da Erosividade por dados pluviométricos.

Para testar a eficácia dos valores de erosividade de chuva por dados pluviométricos se faz necessário a determinação do coeficiente de chuva ( $R_c$ ). O Coeficiente de chuva ( $R_c$ ) foi calculado por meio da equação (1) proposta por Lombardi Neto (1977), baseado no modelo de Fournier (1960), com algumas modificações:

$$R_c = (p^2/P) \quad (7)$$

Em que  $p$  é a precipitação pluvial média mensal (mm); e  $P$ , a precipitação pluvial média anual (mm).

### 3.4 DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DE CHUVA UTILIZANDO-SE MODELOS MATEMÁTICOS

Desenvolvida por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), a equação 2, fundamentada no modelo proposto por Fournier (1960), estabelece relação entre os valores de precipitação pluviométrica mensal por um período anual em uma determinada localidade de estudo. Em que o coeficiente de chuva  $R_C = (p^2/P)$  desta equação é modificado para  $M_X$ , representando a precipitação média mensal para uma dada localidade de estudo:

$$R_X = 68,73 \left( M_X^2/P \right)^{0,841} \quad (8)$$

Onde  $R_X$  é o fator  $R$  ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ),  $M_X$  é a precipitação média mensal (mm) e  $P$ , a precipitação média anual (mm).

Morais *et al.* (1991), propuseram modelo matemático desenvolvido com base na equação de Fournie (1960), que considera dados pluviométricos de uma região específica:

$$R_x = 36,849 \left( M_X^2/P \right)^{1,0852} \quad (9)$$

Onde,  $R_X$  é a erosividade da chuva para cada mês ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ),  $M_X$  é a média do total mensal de precipitação, em mm e  $P$  é a média do total anual de precipitação, em mm.

O índice de erosividade anual das chuvas (R) corresponde ao somatório dos valores mensais desse índice.

Rufino *et al.* (1993), considerando modelos lineares para determinação da erosividade de uma localidade com base em dados pluviométricos, propuseram a uma nova equação, onde  $R_x$ , representa o fator R ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ),  $M_x$ , a precipitação média mensal (mm) e P corresponde a precipitação média anual (mm):

$$R_x = 19,44 + (4,20 * M_x) \quad (10)$$

### 3.5 CATEGORIAS DE EROSIVIDADE DA CHUVA

Tabela 2 - Classes de erosividade do solo proposto por Carvalho (2008).

Classes de Erosividade	Valores de Erosividade $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Muito baixa	$R \leq 2452$
Baixa	$2452 < R \leq 4905$
Média	$4905 < R \leq 7357$
Alta	$7357 < R \leq 9810$
muito Alta	$R > 9810$

Fonte: Carvalho (2008).

### 3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Com a finalidade de se adquirir uma visão geral do comportamento dos dados, a análise descritiva dos dados de precipitação pluviométrica foi avaliada por meio de estatística clássica, onde, segundo Vieira *et al.* (2000), é possível obter a média, desvio padrão, variância, valores máximo e mínimo, assimetria e curtose. Os dados de Erosividade foram submetidos à análise de regressão linear através do *software* estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

### 3.7 AQUISIÇÃO DE MAPAS E BASE DE DADOS

Para a elaboração dos mapas de declividade, altitude, zoneamento das classes de solos e localização das microrregiões que compõe o alto sertão alagoano foi utilizada a base de dados da plataforma Mapbiomas, que utiliza um toolkit que tem parceria com a plataforma Google Earth Engine. O projeto consiste em um banco de dados relacionado ao uso e cobertura da terra a partir de 1985, que foram refinados através de técnicas elaborados por especialistas

em sensoriamento remoto. O Mapbiomas baseia a dinâmica de uso e cobertura na utilização de imagens dos satélites Landsats, com processamento de imagem pixel a pixel, com resolução de 30 metros. A plataforma Mapbiomas permite acesso gratuito a quantificação de resultados de área por hectares, e também dados espaciais para elaboração de mapas anuais.

Na pesquisa para as microrregiões Serrana do Alto Sertão Alagoano e Alagoana do Sertão do São Francisco, para a dinâmica de uso e cobertura do solo foram utilizadas duas imagens de satélites para a realização da análise multitemporal no formato *raster* do estado de Alagoas, da coleção 7.0 de uso e cobertura da terra, foi adotado para o período da análise o ano de 1985 e 2021 como sendo o período final.

Para as análises geomorfométricas foram utilizadas imagens SRTM, (*Shuttle Radar Topography Mission*), que possui resolução espacial de 30 metros, as quais são disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE via plataforma TOPODATA, produzindo o MDE (Modelos Digitais de Elevação) disponibilizado de maneira gratuita. Os dados usados na pesquisa correspondem ao MDE da altitude, em que é possível processar e adquirir outras particularidades morfométricas da área de estudo.

Foram utilizados dados vetoriais das bases geográfica das malhas do IBGE (2021), para a situação da área analisada, bem como o conjunto vetorial de cursos d'água disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA). Utilizou-se também a plataforma EMBRAPA solos para o zoneamento das classes de solos encontradas na área, a plataforma disponibiliza dados vetoriais de forma gratuita e refinada.

Para a manipulação e verificação dos dados foi utilizado o *software* de código livre *Qgis* versão 3.22.14. Os dados vetoriais foram dissolvidos com intuito de fazer com que as duas microrregiões se tornassem passíveis de uma só área de estudo, utilizando a ferramenta *dissolver* do *Qgis* e posteriormente foi adequada a sua projeção, realizando a elaboração dos mapas de localização, uso e cobertura, solo e geomorfométricos. Por meio da ferramenta foram trabalhadas as imagens de satélites em formato *raster*, os procedimentos iniciais consistiram na adequação do sistema de projeção, sendo este o EPSG 31984 – SIRGAS 2000/ UTM zone 24 Sul, para o estado de Alagoas. Após as correções geográficas as imagens foram classificadas e renderizadas conforme a legenda do projeto Mapbiomas com sua classificação oficial. Desse modo foram realizados os *layouts* dos mapas de uso e cobertura do solo conforme a análise multitemporal. O processo de quantificação dos dados consistiu no emprego da ferramenta de recorte da área de estudo, e em seguida a utilização da contagem de pixel a pixel e reclassificação. A área foi calculada em hectares assim como proposto pelo Mapbiomas (2021).

Para o processamento do MDE foi realizado no *Qgis* a elaboração dos mapas de altitude,

o qual consistiu na sua classificação e quantificação em hectares, assim como foi realizada a análise de declividade, sua classificação conforme proposta pela EMBRAPA (1979), sendo classificada também em hectares. Outra análise realizada no *Qgis* foi a extração das curvas de nível pela ferramenta contorno, evidenciando assim as suas cotas e curvas que variaram de 30 a 840 metros.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA REGIÃO ALTO SERTÃO ALAGOANO

Na Tabela 3, estão expostos os resultados da análise de estatística descritiva para os índices de Erosividade obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) para os municípios que integram a região do alto sertão alagoano. Os valores médios de Erosividade obtidos pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992) para a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, variou de 426,390 em Canapi para 574,875 em Água Branca (Tabela 3). Os valores médios de Erosividade obtidos por Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) apresentaram comportamento análogo, sendo registrado a menor média de dados no município de Canapi (Tabela 3).

Para a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, os valores médios de erosividade obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), variou de 354,974 em Piranhas para 359,646 em Delmiro Gouveia, enquanto que o maior valor foi registrado no município de Olho D'água do Casado, 381,77 (Tabela 3). Os valores médios de Erosividade obtidos pelos modelos de Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), apresentaram o mesmo comportamento na distribuição de média por município dentro da microrregião.

Os valores médios de erosividade calculados pelos modelos de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) para os municípios que compõe tanto a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano quanto a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, apresentaram o mesmo comportamento de distribuição. Água Branca se destaca dentro da Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano como o município que obteve os maiores valores de médios de erosividade: 574,875, 579,661 e 367,344; e Canapi, como o município com os menores valores médios de erosividade: 426,390, 399,976 e 219,270 (Tabela 3). Dentro da Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, Piranhas se destaca por apresentar os menores valores médios de erosividade de chuva: 354,974, 313,945 e 193,830; e Olho D'água do Casado como o município com os maiores valores médios de erosividade: 381,77, 344,85 e 212,77 (Tabela 3), ambos valores consecutivamente propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993).

Quando se observa o comportamento médio da erosividade calculado por Morais *et al.* (1991), a nível de Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, constata-se um comportamento homogêneo em relação aos municípios de Água Branca, maior média de

erosividade, e Mata Grande, média intermediária. No entanto, ao se comparar Água Branca com Canapi, menor valor médio de erosividade, observa-se um maior valor de variação (Tabela 3). Este resultado pode estar associado aos dados de precipitação pluviométrica no intervalo observado.

Tabela 3 - Resultado da estatística descritiva dos dados de erosividade dos municípios que integram as microrregiões que constituem o alto sertão alagoano.

Serrana do Alto Sertão Alagoano				Alagoana do Sertão do São Francisco		
Variáveis	Mata Grande	Água Branca	Canapi	Delmiro Gouveia	Olho D'água do Casado	Piranhas
Lombardi Neto; Moldenhauer (1992).						
Nº	54	72	48	55	28	52
Média	451,305	574,875	426,390	359,646	381,77	354,974
Desvio Padrão	195,849	164,618	175,721	142,039	140,75	131,275
Máximo	1037,796	1045,257	1009,429	821,935	696,16	782,712
Mínimo	131,370	229,367	131,370	172,901	144,58	147,426
Curtose	1,450	0,015	1,937	1,092	-0,0261696	1,398
Assimetria	1,072	0,463	1,061	1,031	0,65704232	1,049
CV (%)	43,396	28,635	41,211	39,494	36,8679376	36,982
Morais <i>et al.</i> (1991)						
Nº	54	72	48	55	28	52
Média	431,692	579,661	399,976	320,280	344,85	313,945
Desvio Padrão	245,136	213,663	215,600	165,840	163,94	152,444
Máximo	1223,844	1235,208	1180,851	905,826	731,10	850,438
Mínimo	85,010	174,496	85,010	121,175	96,20	98,649
Curtose	2,373	0,313	3,167	2,116	0,249117934	2,418
Assimetria	1,425	0,674	1,468	1,311	0,874338414	1,354
CV (%)	56,785	36,860	53,903	51,780	47,53776022	48,557
Rufino <i>et al.</i> (1993).						
Nº	54	72	48	55	28	52
Média	237,848	367,344	219,270	199,465	212,77	193,830
Desvio Padrão	109,159	105,451	87,730	68,929	78,82	59,822
Máximo	635,515	650,110	457,330	381,100	371,55	397,865
Mínimo	88,605	180,620	88,605	108,625	91,48	90,250
Curtose	2,174	-0,479	0,246	-0,167	-0,66575	0,965
Assimetria	1,244	0,423	0,745	0,789	0,501585	0,775
CV (%)	45,894	28,706	40,010	34,557	37,04477	30,863

Fonte: O autor (2023).

Na Tabela 3, estão apresentados os valores de coeficiente de variação (CV) para os seis municípios, distribuídos nas duas microrregiões que compõe o alto sertão alagoano, obtidos pelos modelos de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.*

(1993). Os valores de coeficiente de variação (CV) obtidos a partir dos valores de erosividade, calculados utilizando-se o modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), mostrou uma variação entre 43,396%, no município de Mata Grande e 28,635% no município de Água Branca (Tabela 3). Os coeficientes de variação (CV) calculados pelo modelo de Moraes *et al.* (1991), variaram de 36,860% para os dados de erosividade de Água Branca, enquanto o maior valor foi registrado para Mata Grande, 56,785% (Tabela 3). Resultado semelhante foi obtido com o modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), em que Água Branca apresenta menor coeficiente de variação (28,706%) e Mata Grande, maior coeficiente de variação (45,898%) (Tabela 3).

Os valores de coeficiente de variação (CV) obtidos para os municípios da Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco (Tabela 3), apresentou valores aproximados nos modelos de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Moraes *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993). Destacando-se Olho D'água do Casado com os menores valores de coeficiente de variação nos modelos de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), 36,8679376%; e Moraes *et al.* (1991), 47,53776022%. Piranhas se destaca no modelo de Rufino *et al.* (1993) com o menor coeficiente de variação, 30,863%. Nesse sentido, Cargnelutti Filho; Storck (2007) afirmam que quanto menor for a estimativa do CV mais homogêneo é o conjunto de dados, ou seja, maior é a precisão do experimento. Todos os valores de coeficiente de variação obtidos pelos dos três modelos propostos (Tabelas 3), são considerados médio ( $>12$  e  $<62\%$ ) segundo a Classificação proposta por Warrick; Nielsen (1980).

Os valores de coeficiente de curtose dos municípios integrantes das microrregiões que constituem o alto sertão alagoano, calculados pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Moraes *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), estão mostrados na tabela 3. Os coeficientes de curtose, calculados com os dados de erosividade obtidos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), para os municípios de Água Branca e Olho D'água do Casado são inferiores a 0,263, logo, apresentam distribuição leptocúrtica. Enquanto que Mata Grande, Canapi, Delmiro Gouveia e Piranhas apresentam coeficiente de curtose acima de 0,263 caracterizando uma distribuição platicúrtica. Accioly (2013); Coelho *et al.* (2012), definem o coeficiente de curtose como um parâmetro de avaliação em que se observa o grau de achatamento de uma curva. Por consequência, quando o grau de achatamento é maior do que o da curva normal padrão, tem-se dados mais espalhados (logo, o desvio padrão também é maior), classificando-se como distribuição platicúrtica. Quando o grau de achatamento é menor que o da curva normal padrão, tem-se dados mais concentrados (desvio padrão menor), classificando-se como leptocúrtica. Pelo modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), Mata Grande, Água

Branca, Canapi, Delmiro Gouveia e Piranhas apresentam distribuição platicúrtica. Em contrapartida, pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), Água Branca, Canapi, Delmiro Gouveia e Olho D'água do Casado apresentam distribuição leptocúrtica, em outras palavras, os dados caracterizam-se por menor variação e frequência modal mais acentuada (COELHO *et al.*, 2012; CONRADO NETO *et al.*, 2015).

Na Tabela 3, estão mostrados os valores de assimetria para os municípios que integram a região do alto sertão alagoano, calculados a partir de dados de erosividade de chuva obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993). Os valores do coeficiente de assimetria, obtidos a partir dos dados de erosividade de chuva pelos três modelos propostos em todos os municípios apresentam valores positivos (Tabela 3). De acordo com Conrado Neto *et al.* (2015), valores de assimetria positivo ou enviesada a direita, demonstram haver tendência de concentração dos valores abaixo da média observada. Duane (1964) afirma em um de seus trabalhos que valores negativos de assimetria são indicativos de áreas em processo de erosão, enquanto que valores positivos indicam deposição. A assimetria positiva, segundo Martins (2003), ocorre em ambientes onde os agentes têm a capacidade de transporte de fluxo unidirecional, presente em áreas modeladas pela erosão fluvial (SUERTEGARAY, 2008). Costa *et al.* (2015), mostra em um de seus trabalhos que a ocorrência de deposição de sedimentos em áreas com baixa intensidade de precipitação, contribui para o assoreamento dos cursos de água.

Os valores de desvio padrão obtidos Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993) para os municípios que estão inseridos nas microrregiões que constituem a região do alto sertão alagoano estão expostos na tabela 3. Mata Grande se destaca entre os municípios que apresentam os maiores valores de desvio padrão obtidos nos três modelos matemáticos propostos: 195,849; 245,136; e 109,159, respectivamente (Tabela 3). Por outro lado, Piranhas apresenta os menores valores de desvio padrão: Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992): 131,275; Morais *et al.* (1991): 152,444; e por fim, destacando-se o modelo proposto por Rufino *et al.* (1993): 59,822, com o menor valor (Tabela 3). Segundo Oliveira (2017), um desvio padrão grande significa que os valores amostrais estão bem distribuídos em torno da média, enquanto que um desvio padrão pequeno indica que eles estão condensados próximos da média, isto é, quanto menor o desvio padrão, mais homogênea é a amostra.

## 4.2 DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA E DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO SERRANA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO

Na Figura 5 (A, B, C, D, E, F, G, H e I) estão apresentados os valores mensais de precipitação para os municípios de Água Branca, Mata Grande e Canapi e os valores médios de Erosividade para os referidos municípios obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992) (A, D e G), Moraes *et al.* (1991) (B, E e H) e Rufino *et al.* (1993) (C, F e I).

A precipitação média mensal para os municípios que compõem esta microrregião foi de aproximadamente 82,81 mm para Água Branca, 51,97 mm para Mata Grande e 47,55 mm para Canapi. O menor volume de precipitação observado foi de 5,50 mm em Canapi, com uma série histórica de 48 anos de observação de dados pluviométricos, e o maior valor observado no município de Água Branca, com 155,85 mm, correspondendo a uma série histórica de 72 anos de observação de dados pluviométricos (Figura 5). O período mais chuvoso é concentrado nos meses de abril, maio, junho e julho, com um volume de precipitação que gira em torno de 55-58% do volume das chuvas. Os meses mais secos são setembro, outubro e novembro, estima-se que os volumes precipitados neste período girem em torno de 12-15% do total da precipitação para o período histórico (Figura 5).

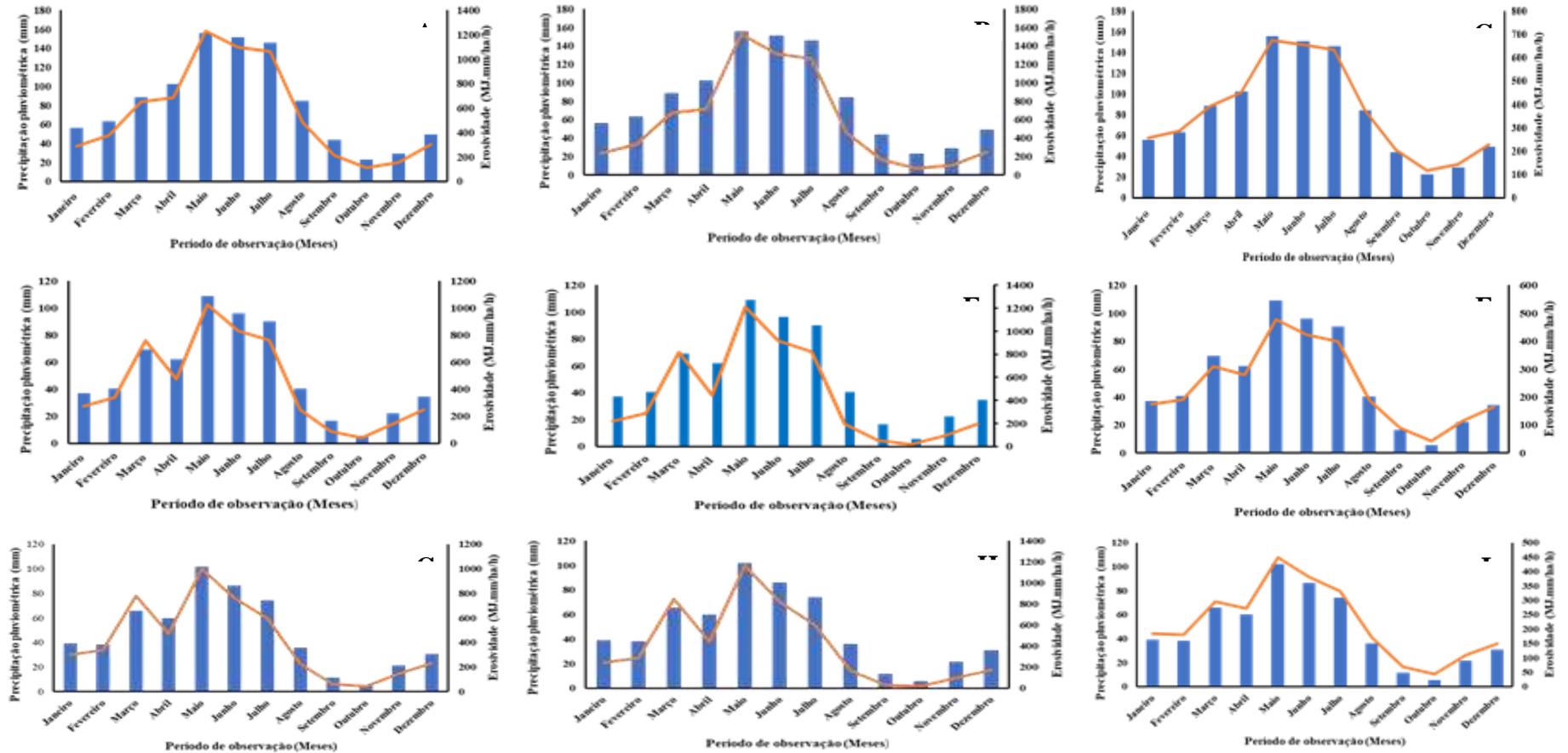
Na figura 5 (A, D e G) estão mostrados os resultados da Erosividade média mensal obtidos pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), que apresentou um índice de Erosividade média mensal para a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano de aproximadamente  $5.621,60 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com o maior índice para o município de Água Branca, com  $1.231,88 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5A), seguido por Canapi, com  $998,23 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5G) e o menor índice registrado no município de Mata Grande, com  $39,82 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5D). Os maiores índices de Erosividade foram registrados nos meses de março, maio, junho e julho, seguindo o comportamento pluviométrico da região. Este comportamento é análogo a distribuição espacial das precipitações na microrregião, concentrando-se nos meses de maiores volumes precipitados. Esta microrregião é caracterizada por apresentar condições climáticas diferentes e temperaturas mais baixas, sobretudo devido ao seu relevo movimentado que contribui para elevar as taxas de escoamento superficial, colaborando com aumento de perdas de solos por processos erosivos (CPRM, 2005; SANTOS *et al.*, 2019).

Na figura 5 (B, E e H), estão apresentados os resultados do índice de Erosividade média mensal calculados com os dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Água Branca,

Mata Grande e Canapi, constituindo uma parte do recorte territorial da microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana, pelo modelo de Morais *et al.* (1991). O índice de Erosividade média mensal para esta microrregião é de aproximadamente  $5.764,02 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com os menores índices registrados nos municípios de Mata Grande, com  $18,22 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5E) e Canapi, com  $19,90 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5H). O maior índice foi verificado no município de Água Branca, com  $1.526,87 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5B). Os maiores índices de Erosividade foram registrados nos meses de março, abril, maio, junho e julho, seguindo o comportamento pluviométrico da região.

A figura 5 (C, F e I), estão mostrados os resultados do índice de Erosividade média mensal calculados com os dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Água Branca, Mata Grande e Canapi, constituindo uma parte do recorte territorial da microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana, pelo modelo de Rufino *et al.* (1993). O índice de Erosividade média mensal para esta microrregião é de aproximadamente  $3.297,85 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com o menor índice registrado no município de Canapi, com  $42,67 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5I) e o maiores índices verificados nos municípios de Água Branca, com  $115,91 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5C) e Mata Grade, com  $476,74 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 5F). Os maiores índices de erosividade foram registrados nos meses de março, maio, junho e julho, seguindo o comportamento pluviométrico da região.

Figura 5 - Valores de precipitação média mensal (mm) e de erosividade ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (D) e Canapi (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), para os municípios de Água Branca (B), Mata Grande (E) e Canapi (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Água Branca (C), Mata Grande (F) e Canapi (I).



Fonte: O autor (2023).

#### 4.3 DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA E DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO ALAGOANA DO SERTÃO DO SÃO FRANCISCO

Na Figura 6 (A, B, C, D, E, F, G, H e I) estão apresentados os valores mensais de precipitação e os valores médios de Erosividade para os municípios de Delmiro Gouveia, Piranhas e Olho D'água do Casado, integrantes da Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992) (A, D e G), Morais *et al.* (1991) (B, E e H) e Rufino *et al.* (1993) (C, F e I).

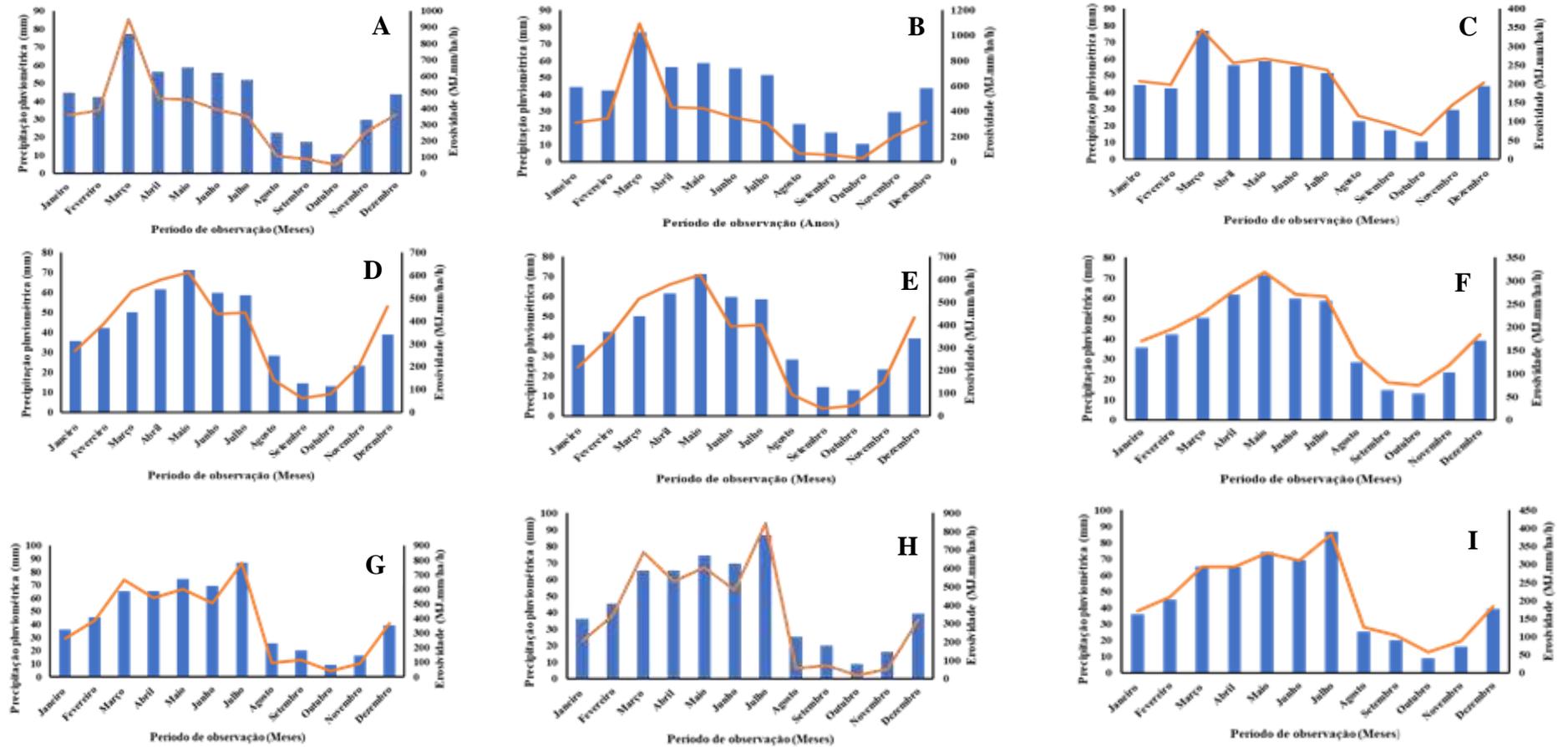
A precipitação média mensal para os municípios que compõem esta microrregião foi de aproximadamente, 42,49 mm para Delmiro Gouveia, 41,50 mm para Piranhas e 46,01 mm para Olho D'água do Casado. Quanto aos valores de volume de precipitação, o menor (8,86 mm) foi observado para o município de Olho D'água do Casado, com uma série histórica de dados pluviométricos de 28 anos, e o maior (77,07 mm) registrado no município de Delmiro Gouveia, com 55 anos de série histórica de dados pluviométricos. O período mais chuvoso é concentrado nos meses de março, abril, maio, junho e julho, com um volume de precipitação que gira em torno de 43-53% do volume das chuvas. Os meses mais secos são agosto, setembro, outubro e novembro, estima-se que os volumes precipitados neste período girem em torno de 12-16% do total da precipitação para o período histórico (Figura 6).

Na Figura 6 (A, D e G) estão apresentados os resultados da Erosividade média mensal obtidos pelo modelo de Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), que apresentou um índice de Erosividade média mensal para a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco de aproximadamente  $4.282,25 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com o maior índice para o município de Delmiro Gouveia, com  $950,14 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 6A), seguido pelo município de Olho D'água do Casado, com  $779,30 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 6G) e o menor índice registrado no município de Piranhas, com  $37,66 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 6D). Os maiores índices de Erosividade foram registrados nos meses de março, maio, junho e julho, seguindo o comportamento pluviométrico da região. Este comportamento é análogo a distribuição espacial das precipitações na microrregião, concentrando-se nos meses de maiores volumes precipitados. A microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco é marcada por altas temperaturas, pelo bioma caatinga, baixa altitude e presença do Rio São Francisco. A associação dessas características, somadas a efeitos decorrentes da intervenção do homem, principalmente a construção de barragens ou obras que provocam a retenção do fluxo de sedimentos (MMA, 2006), tem contribuído com o processo de desgaste, transporte e sedimentação do solo na microrregião.

Na figura 6 (B, E e H), estão mostrados os resultados do índice de erosividade média mensal calculados com os dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Delmiro Gouveia, Piranhas e Olho D'água do Casado, constituintes do recorte territorial da Microrregião Alagoano do Sertão do São Francisco, pelo modelo de Moarais *et al.* (1991). O índice de erosividade média mensal para esta microrregião é de aproximadamente 3.974,11 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, com o menor índice registrado no município de Olho D'água do Casado, no mês de outubro e o maior no município de Delmiro Gouveia, com 1.092,13 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no mês de março (Figura 6B). Piranhas apresenta 619,51 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, como maior índice registrado no mês de maio e 44,31 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, como menor índice registrado no município, no mês de outubro (Figura 6E). Os maiores índices de erosividade foram registrados nos meses de março, abril, maio, junho e julho, seguindo o comportamento pluviométrico da região.

Na figura 6 (C, F e I), estão mostrados os resultados do índice de erosividade média mensal calculados com os dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Delmiro Gouveia, Olho D'água do Casado e Piranhas, constituintes Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana, pelo modelo de Rufino *et al.* (1993). O índice de erosividade média mensal para esta microrregião é de aproximadamente 2.418,50 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Com o menor e o maior índice registrado no município de Olho D'água do Casado, com 56,77 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no mês de outubro e 383,76 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no mês de julho, consecutivamente (Figura 6I). Delmiro Gouveia apresenta, 343,25 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no mês de março e 63,73 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no mês de outubro, respectivamente, maior e menor índices de Erosividade registrado no município (Figura 6C. Por outro lado, Piranhas (Figura 6F) apresenta menor índice (74,27 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), no mês de outubro e maior índice (318,99 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), no mês de maio. Os maiores índices de erosividade foram registrados nos meses de março, abril, maio, junho e julho, obedecendo o comportamento pluviométrico da região.

Figura 6 - Valores de precipitação média mensal (mm) e de erosividade ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) obtidos pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (D) e Olho D'água do Casado (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), para os municípios de Delmiro Gouveia (B), Piranhas (E) e Olho D'água do Casado (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Delmiro Gouveia (C), Piranhas (F) e Olho D'água do Casado (I).



Fonte: O autor (2023).

#### 4.4 VALORES MÉDIOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E DA EROSIVIDADE DA CHUVA NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO ALAGOANO

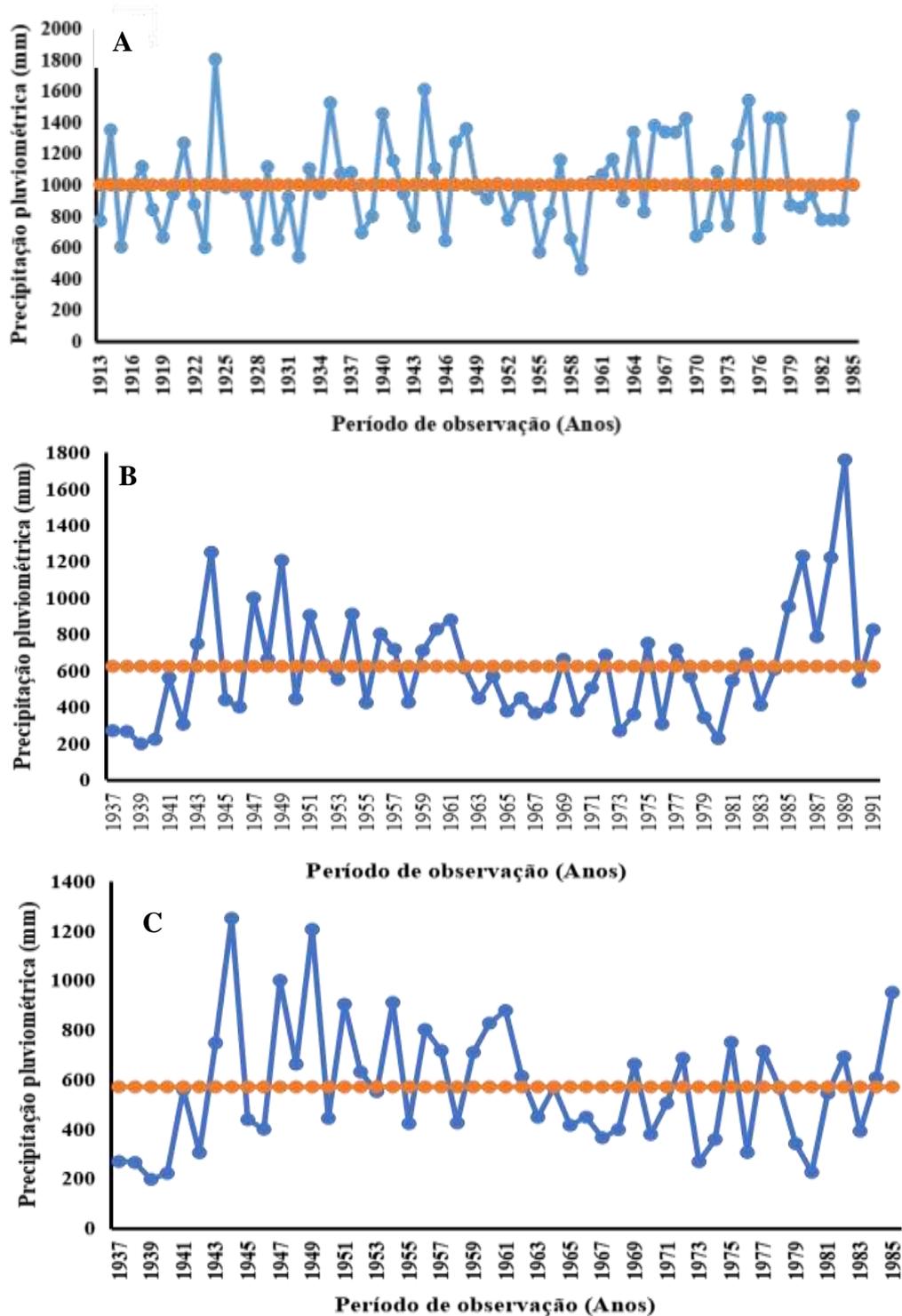
Na Figura 7 (A, B e C) estão apresentados os valores anuais de precipitação para os municípios de Água Branca, Mata Grande e Canapi, constituintes de uma parte do recorte territorial da microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana. A precipitação média anual para os municípios que integram esta microrregião foi de aproximadamente 998,99 mm para Água Branca, para uma série histórica de dados pluviométricos de 72 anos (Figura 7A); 623,71 mm para Mata Grande, para uma série histórica de 54 anos de dados pluviométricos (Figura 7B); e de 570,63 mm para Canapi, com uma série histórica de dados pluviométricos de 48 anos (Figura 7C), de acordo com dados da SUDENE (BRASIL, 1990).

Água Branca (Figura 7A) é o município, entre os analisados para a microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana, que apresenta a maior média anual de precipitação, com uma ampla variação de distribuição ao longo dos anos, fato corroborado por Santos *et al.* (2020). Destaca-se o ano de 1924 com o maior valor de precipitação (1.801,60 mm) e 1959, como o ano de menor precipitação (460,20 mm). Com uma alta variabilidade pluviométrica, o município apresenta 41 anos abaixo da média anual (mm), o que representa, aproximadamente, 56,94% do total para o período estudado. Com uma série de 54 anos de observação, Mata Grande (Figura 7B), apresenta 30 anos com valores de precipitação anual abaixo da média. Destaca-se os anos de 1989, com 1.759,90 mm (maior valor), correspondendo a 64,39% acima da média histórica e 1940, com 221,70 mm (menor valor), que representa 35,55% abaixo da média de precipitação do município. Canapi (Figura 7C), apresenta a menor média anual de precipitação entre os municípios da microrregião analisada. Destacam-se os anos de 1944 com o maior valor de precipitação (1.250,80 mm) e 1939, como o ano de menor precipitação (197,30 mm). Esse município apresenta 27 anos abaixo da média anual (mm), o que corresponde, aproximadamente, 56,25% do total para o período observado.

A alta variação dos dados pluviométricos nos municípios analisados, em geral, não difere das existentes no semiárido nordestino, onde as condições de extrema semiaridez transitam gradualmente para condições de maior umidade em função de posições topográficas mais elevadas em uma região (FERREIRA; MELLO, 2005; SOUZA, 2021). Essas regiões, ambiente semiárido com condições fitogeográficas distintas das áreas em seu entorno, são caracterizadas como áreas de exceção em termos mesoclimáticos, sendo definidas como Brejos de Altitudes (AB'SABER, 2003; SOUZA, 2021). Neste sentido, Souza; Oliveira (2006)

compartilham da ideia de que nesses ambientes os componentes naturais mantêm relações de reciprocidade características e o relevo tem sempre um papel decisivo através da altimetria.

Figura 7- Gráficos de precipitação média anual para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (B) e Canapi (C).



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 4, estão apresentados os valores médios anuais de precipitação para os municípios que integram a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano. A precipitação média anual do recorte territorial desta microrregião é 729,35 mm/ano, com a menor média registrada no município de Canapi com 570,63 mm/ano, correspondendo, aproximadamente, por 26,08% da média histórica da microrregião analisada, a maior média foi registrado no município de Água Branca, com 993,70 mm/ano, o que equivale a 36,24% acima da média.

No modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), o valor médio da erosividade para a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano foi de 5.621,59 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o maior percentual foi de 6.671,14 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no município de Água Branca, enquanto o menor índice de erosividade foi registrado no município de Canapi, 4.948,41 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Tabela 4), valores considerados de erosividade média ou moderada, segundo Carvalho (2008). No modelo proposto por Morais *et al.* (1991), o valor médio de erosividade para a mesma microrregião foi de 5.764,02 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. O maior percentual foi observado no município de Água Branca (7.108,87 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e o menor em Canapi (4.899,88 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), resultado considerado, segundo Carvalho (2008), como erosividade baixa, em Canapi, e média ou moderada em Água Branca. Pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), o valor médio da erosividade para esta microrregião foi de 3.297,85 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o maior percentual foi de 4.408,13 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no município de Água Branca, enquanto que o menor índice de erosividade foi registrado no município de Canapi, 2.631,24 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Tabela 4), valores considerados de erosividade baixa, segundo Carvalho (2008).

Tabela 4 - Valores de precipitação média anual e dos índices de erosividade obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), para Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano.

Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano				
Município	Precipitação média anual	Modelos		
		Lombardi Neto; Moldenhauer (1992)	Morais <i>et al.</i> , (1991)	Rufino <i>et al.</i> , (1993)
	mm	MJmmha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>		
Mata Grande	623,71	5.245,23	5.283,32	2.854,18
Água Branca	998,99	6.671,14	7.108,87	4.408,13
Canapi	570,63	4.948,41	4.899,88	2.631,24
Média	729,35	5.621,59	5.764,02	3.297,85

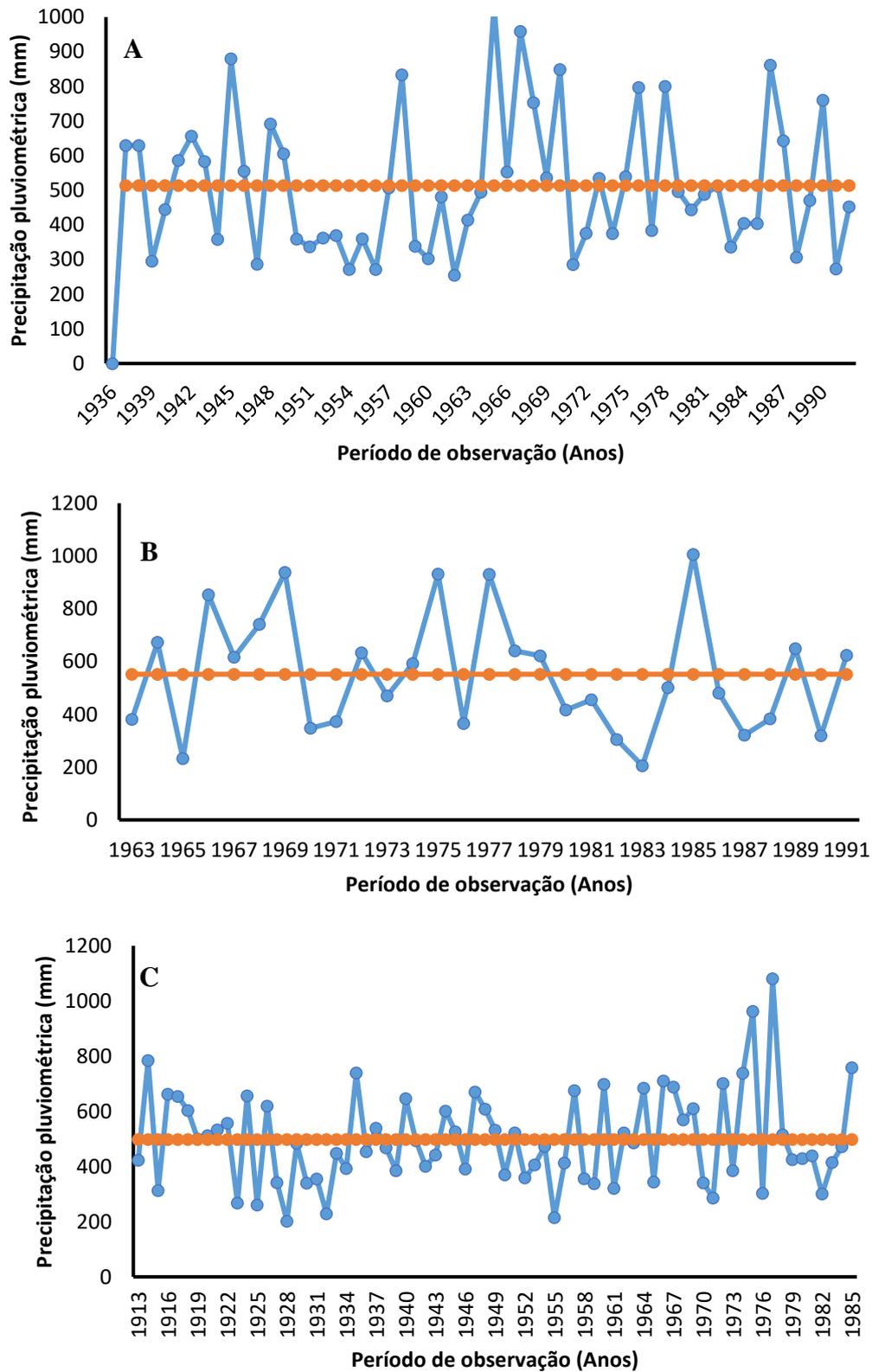
Fonte: O autor (2023).

Na Figura 8 (A, B e C) estão apresentados os valores anuais de precipitação para os municípios de Delmiro Gouveia, Piranhas e Olho D'água do Casado, integrantes do território que compreende a microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoana. A precipitação média anual para os municípios que integram esta microrregião foi de aproximadamente 514,04 mm para Delmiro Gouveia, para uma série histórica de dados pluviométricos de 55 anos (Figura 8A); 497,94 mm para Piranhas, para uma série histórica de 72 anos de dados pluviométricos (Figura 8B); e de 552,06 mm para Olho D'água do Casado, com uma série histórica de dados pluviométricos de 28 anos (Figura 8C), de acordo com dados da SUDENE (BRASIL, 1990).

Delmiro Gouveia (Figura 8A) é o município, entre os analisados para a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, que apresenta a maior média anual de precipitação, com uma variação equilibrada de distribuição ao longo dos anos. Destaca-se o ano de 1964 com o maior valor de precipitação (1.033,00 mm) e 1961, como o ano de menor precipitação (254,50 mm). Com uma elevada variabilidade pluviométrica, o município apresenta 28 anos abaixo da média anual (mm), o que representa, aproximadamente, 50,91% do total para o período estudado. Piranhas (Figura 8B), com uma série de 72 anos de observação, apresenta a menor média anual de precipitação entre os municípios da microrregião analisada. Com 33 anos de valores de precipitação anual abaixo da média, destacam-se os anos de 1977, com 1.080,90 mm (maior valor), correspondendo a 46,07% acima da média histórica e 1928, com 202,00 mm (menor valor), que representa 40,57% abaixo da média de precipitação do município. Para Olho D'água do Casado (Figura 8C), destacam-se os anos de 1985 com o maior valor de precipitação (1.005,70 mm) e 1983, como o ano de menor precipitação (205,50 mm). Esse município apresenta 13 anos abaixo da média anual (mm), o que corresponde, aproximadamente, a 46,43% do total para o período observado.

Os municípios que integram esta microrregião se caracterizam por apresentar baixas altitudes e temperaturas elevadas, em função da forma como os raios solares incidem no ambiente, paisagem de superfície de pediplano bastante monótona e relevo predominantemente suave-ondulado (CPRM, 2005). Características típicas de regiões que apresentam alta variação de dados pluviométricos, acentuando variabilidade interanual em relação à precipitação e à disponibilidade dos recursos hídricos, com anos extremamente secos e outros chuvosos (NEVES, 2018). Aspecto marcante da região Nordeste do Brasil (NEB), onde as precipitações sofrem influência dos eventos ENOS (El Niño e La Niña) (MEUSBURGER *et al.*, 2012; MOURA, *et al.*, 2020).

Figura 8 - Gráficos de precipitação média anual para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (B) e Olho D'água do Casado (C).



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 5, estão apresentados os valores médios anuais de precipitação para os municípios que integram a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco. A precipitação média anual desta microrregião é 519,98 mm/ano, com a menor média registrada no município de Piranhas com 497,94 mm/ano, correspondendo, aproximadamente, a 31,92% da média histórica da microrregião analisada, a maior média foi registrado no município de Olho D'água do Casado, com 552,06 mm/ano, valor que equivale a 6,17% acima da média. Olho D'água do Casado é o único município que apresenta precipitação anual acima da média desta microrregião.

Para a estimativa da erosividade média anual dos municípios integrantes da Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco foram utilizados os modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), conforme Tabela 5. O valor médio de erosividade para esta microrregião, proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), foi de 4.297,25 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o maior valor foi observado no município de Olho D'água do Casado (4.443,57 MJ.mm.ha-1.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e o menor em Piranhas (4.187,17 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Valores de erosividade classificados como baixo, de acordo com Carvalho (2008). Cantalice *et al.* (2009), encontrou valores de erosividade classificado como baixo, que não ultrapassou os 3500 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, para a região agreste do estado de Pernambuco, região com condições edafoclimáticas bastante semelhante as da área de estudo. No modelo proposto por Morais *et al.* (1991), o valor médio de erosividade para a mesma microrregião foi de 3.974,11 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. O maior percentual foi observado no município de Olho D'água do Casado (4.215,34 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e o menor em Piranhas (2.325,96 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), resultado considerado, segundo Carvalho (2008), como erosividade baixa, tanto para a microrregião analisada quanto para os municípios integrantes desta. Pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), o valor médio da erosividade para esta microrregião foi de 2.418,50 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, classificado por Carvalho (2008) como muito baixo. O maior percentual foi de 2.553,25 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, no município de Olho D'água do Casado, enquanto que o menor índice de erosividade foi registrado no município de Piranhas, 2.325,96 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Tabela 5), valores considerados de erosividade muito baixa, segundo Carvalho (2008). Os valores de erosividade observados para os municípios que integram as microrregiões que constituem o Alto Sertão Alagoano apresentam variabilidade mensal, possivelmente atrelado a fatores como fisiográficos (relevo, continentalidade e maritimidade) e atuação de sistemas meteorológicos em multiescala que interferem no regime e na dinâmica da chuva no estado de Alagoas (MOLION; BERNARDO, 2002; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2012; LYRA *et al.*, 2014).

Tabela 5 - Valores de precipitação média anual e dos índices de erosividade obtidos pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), Morais *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), para Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco.

Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco				
Município	Precipitação média anual mm	Modelos		
		Lombardi Neto; Moldenhauer (1992)	Morais <i>et al.</i> , (1991)	Rufino <i>et al.</i> , (1993)
		MJmmha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>		
Delmiro Gouveia	509,93	4.261,00	3.900,99	2.376,29
Olho D'água do Casado	552,06	4.443,57	4.215,34	2.553,25
Piranhas	497,94	4.187,17	3.806,01	2.325,96
Média	519,98	4.297,25	3.974,11	2.418,50

Fonte: O autor (2023).

A distribuição da precipitação anual é mais uniforme na Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, por outro lado a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano apresentou os dados com maior variabilidade entre as médias anuais dos três municípios que a integram, acompanhando o perfil típico de regiões tropicais. O Alto Sertão Alagoano, recorte territorial do Nordeste brasileiro, é caracterizado por uma grande instabilidade espacial e temporal das precipitações, criando uma marca para região com períodos contínuos de chuvas abaixo da média, levando o registro de eventos conhecidos como secas. Um recorte territorial com área de 3.935,20 Km<sup>2</sup>, abrangendo 14,06% do território do Estado de Alagoas (IBGE, 2020), espera-se um comportamento das precipitações bastante heterogêneas, no espaço e no tempo. A variabilidade da precipitação pluviométrica nos municípios, foi verificada por Souza *et al.* (2020), corroborado por Santos *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2021), estudando o comportamento das chuvas nos municípios que integram a região do Alto Sertão Alagoano.

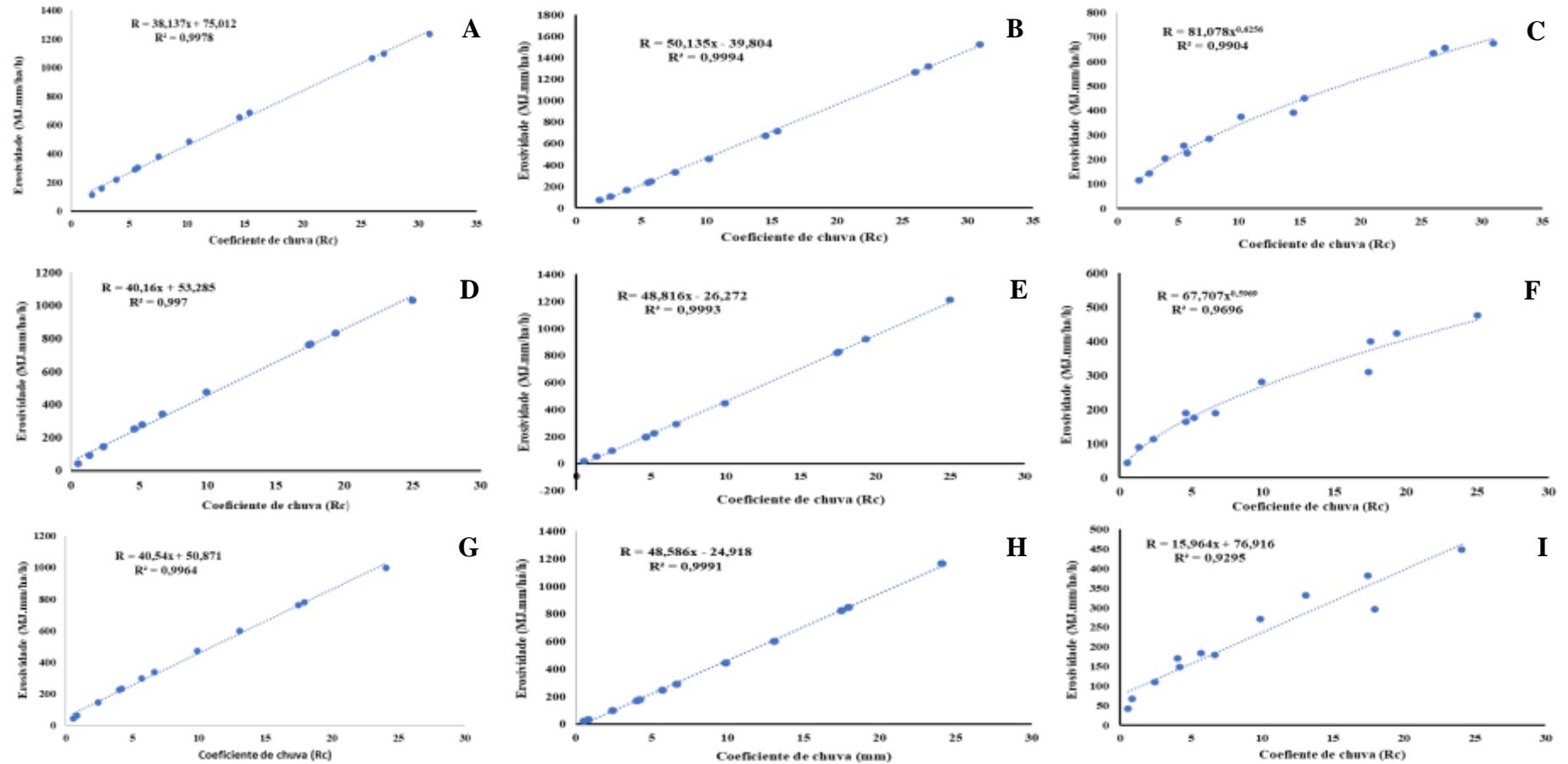
#### 4.5 EROSIVIDADE DA CHUVA E COEFICIENTE DE CHUVA NA MICRORREGIÃO SERRANA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO

Na Figura 9 (A, B, C, D, E, F, G, H e I), estão apresentados os resultados da correlação entre o índice de erosividade da chuva calculados pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (D) e Canapi (G); Morais *et al.* (1991), para os municípios de Água Branca (B), Mata Grande (E) e Canapi (H); e Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Água Branca (C), Mata Grande (F) e Canapi (I).

Para a Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, a análise de correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média determinada pelo modelo proposto por

Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), apresenta correlação linear positiva, com  $R^2$  0,9978 para Água Branca (Figura 8A),  $R^2$  0,997 para Mata Grande (Figura 9D) e de  $R^2$  0,9964 para Canapi (Figura 8G). Para o modelo proposto por Morais *et al.* (1991), a correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média se comporta de forma linear positiva. Com  $R^2$  0,9994 para Água Branca (Figura 9B),  $R^2$  0,9993 para Mata Grande (Figura 9E) e de  $R^2$  0,9991 para Canapi (Figura 8G). No modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), nos municípios de Água Branca (Figura 9C) e Mata Grande (Figura 9F), as análises de correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média, apresentam correlação potência positiva com uma alta correlação ( $R^2$  0,9904), ( $R^2$  0,9696), respectivamente. O município de Canapi (Figura 9I), apresenta uma correlação linear positiva, com uma alta correlação ( $R^2$  0,9295).

Figura 9 - Correlação entre coeficiente de chuva (Rc) e índice de erosividade obtido pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Água Branca (A), Mata Grande (D) e Canapi (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Morais *et al.* (1991), para os municípios de Água Branca (B), Mata Grande (E) e Canapi (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Água Branca (C), Mata Grande (F) e Canapi (I).



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 10 (A, B, C, D, E, F, G, H e I), estão expostos os resultados da correlação entre o índice de erosividade da chuva calculados pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (D) e Olho D'água do Casado (G); Moraes *et al.* (1991), para os municípios de Delmiro Gouveia (B), Piranhas (E) e Olho D'água do Casado (H); e Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Delmiro Gouveia (C), Piranhas (F) e Olho D'água do Casado (I).

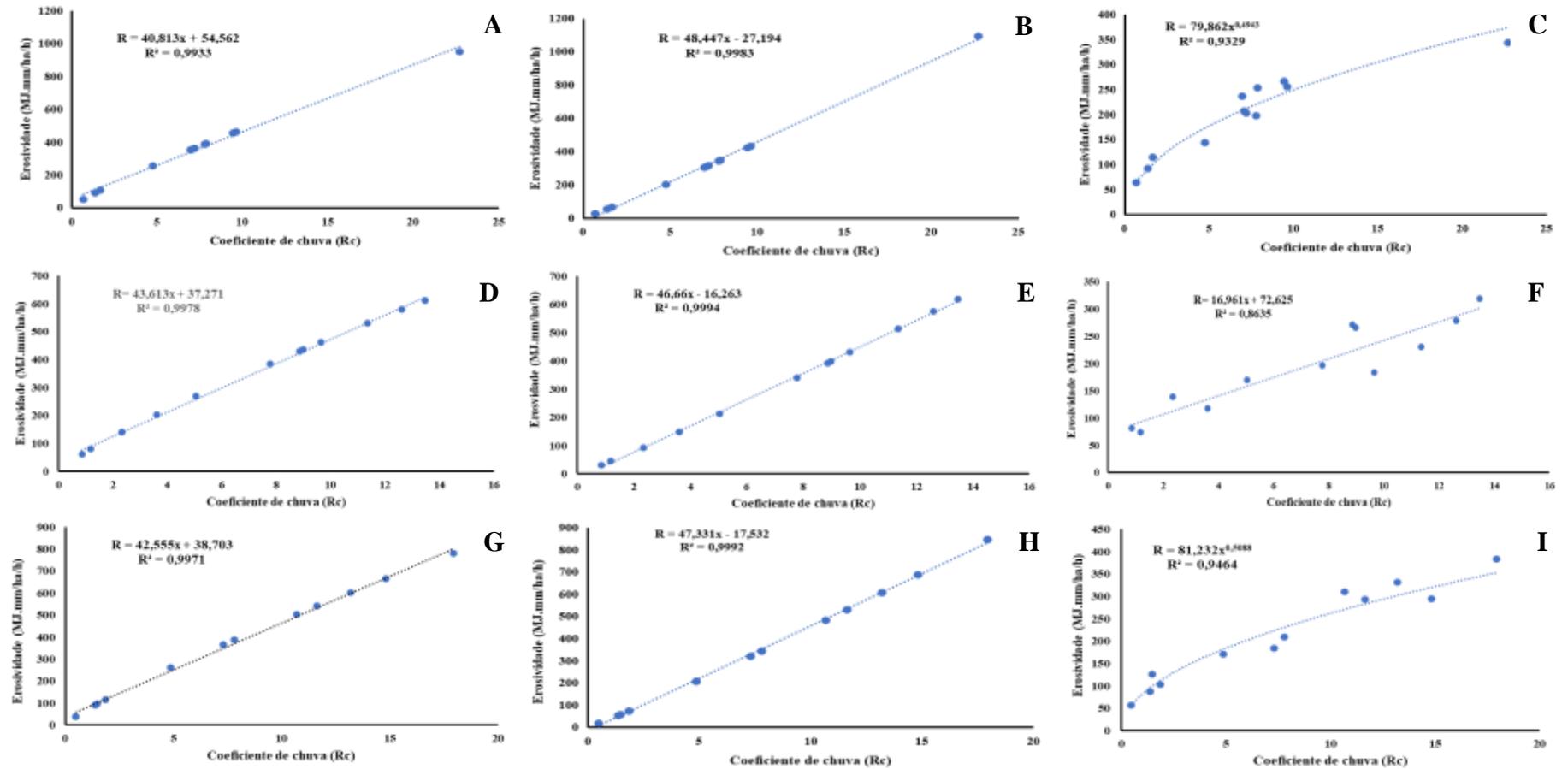
Para a Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, a análise de correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média determinada pelo modelo por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), apresenta correlação linear positiva, com  $R^2$  0,9933 para o município de Delmiro Gouveia (Figura 10A),  $R^2$  0,9971 para Piranhas (Figura 10D) e  $R^2$  0,9978 para Olho D'água do Casado (Figura 10G). No modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), a correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média se comporta de forma linear positiva., apresentando  $R^2$  0,9983 para Delmiro Gouveia (Figura 10B),  $R^2$  0,9994 para Piranhas (Figura 10E) e  $R^2$  0,9992 para Olho D'água do Casado (Figura 10H). No modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), os municípios de Delmiro Gouveia (Figura 10C) e Olho D'água do Casado (Figura 10I), as análises de correlação entre o coeficiente de chuva e o fator erosividade média apresentam correlação potência positiva com uma alta correlação ( $R^2$  0,9329), ( $R^2$  0,9464), respectivamente. O município de Piranhas (Figura 10F), apresenta uma correlação linear positiva, com uma moderada correlação ( $R^2$  0,8635).

Em pesquisas realizadas em Sete Barras e Juquiá, municípios paulistas, Silva; Iori; Silva (2009), encontraram coeficientes de determinação de 0,99 e 0,95, respectivamente. Moraes *et al.* (1991), utilizando modelo proposto por Lombardi Neto (1977), e utilizando-se de um modelo exponencial ajustaram os dados de precipitação do sudoeste do Mato Grosso do Sul, a um coeficiente de determinação de 0,92. Amaral *et al.* (2014), utilizando o modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992), para os dados pluviométricos do estado da Paraíba, obteve um coeficiente determinação geral para o estado de 0,94. Chaves *et al.* (1996), analisando os dados pluviométricos de Patos, Paraíba, obteve um coeficiente de determinação de 0,78, entre o índice de erosividade e o coeficiente de chuva.

Corroborando a veracidade de correlações entre o fator erosividade de chuva e o coeficiente de chuva, diversos pesquisadores ao longo do tempo, apontaram em seus trabalhos, correlação significativa para várias localidades do Brasil, com destaque os trabalhos desenvolvidos por Rufino *et al.* (1993), Lombardi Neto (1977); Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) para o estado de São Paulo, autores dos modelos matemáticos propostos nesta pesquisa. Além destes, Silva *et al.* (1997) no Estado de Goiás; Roque *et al.* (2001) em Piraju, São Paulo;

Silva *et al.* (1997), Dias; Silva (2003) para o estado do Ceará; Carvalho *et al.* (2005) para o Rio de Janeiro; Cassol *et al.* (2008), estudando a correlação no estado do Rio Grande do Sul; Almeida *et al.* (2011), em Mato Grosso; Oliveira, (2011) em Mato Grosso do Sul; e Amaral *et al.* (2014) para o estado da Paraíba.

Figura 10 - Correlação entre coeficiente de chuva (Rc) e índice de erosividade obtido pelo modelo proposto por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); para os municípios de Delmiro Gouveia (A), Piranhas (D) e Olho D'água do Casado (G), os valores obtidos pelo modelo proposto por Moraes *et al.* (1991), para os municípios de Delmiro Gouveia (B), Piranhas (E) e Olho D'água do Casado (H), os valores obtidos pelo modelo proposto por Rufino *et al.* (1993), para os municípios de Delmiro Gouveia (C), Piranhas (F) e Olho D'água do Casado (I).



Fonte: O autor (2023).

## 5 CONCLUSÃO

1. O município de Água Branca apresentou os maiores índices de erosividade, pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Moldenhauer, (1992); Moaris *et al.* (1991) e Rufino *et al.* (1993), talvez seja em função da amplitude dos dados pluviométricos.

2. O município de Piranhas, apresentou os menores índices de erosividade pelos modelos estudados.

3. Os maiores valores de erosividade média mensal foram verificados na Microrregião Serrana do Alto Sertão Alagoano, região de maiores altitudes, com relevo, predominantemente, suave-ondulado.

4. A Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, apresentou os menores índices de erosividade e de precipitação, este resultado está condicionado aos valores apresentados pelo município de Piranhas.

5. Os modelos apresentaram uma boa correlação em todos os municípios que integram a região do alto sertão alagoano.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ACCIOLY, C.V. **Assimetria e curtose** (Aula 10). 2013. Disponível em: <http://www1.eeg.uminho.pt/economia/priscila/intocaveis/FMIE04/links/assimetriacurtose.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Alagoas em Dados**. Maceió, AL: SEMARH, 2021. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/group/meio-ambiente-e-recursos-hidricos>. Acesso: 10 fev. 2023.
- ALBUQUERQUE, A.W. **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, Piracicaba, SP, 1991.
- ALMEIDA, C.O.S. *et al.* Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.178-184, 2011.
- AMARAL, B.S.D. *et al.* Variabilidade da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira Geografia Física**, v.7, n.04, p.691-701, 2014.
- AMORIM, R. S.S. *et al.* Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
- ANA. **Hidroweb**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso: 19 de fev. 2023.
- ASHIAGBOR, G. *et al.* Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools. **International Journal Of Remote Sensing & Geoscience - IJRSG**, v.2, p.7-17, 2013.
- BARROS, E.N.S. *et al.* Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.13, n.1, p.1-9, 2018.
- BELASRI, A.; LAKHOUILI, A. Estimation of soil erosion risk using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and geo-information technology in oued el makhazine watershed, Morocco. **Journal Of Geographic Information System**, v.8, p.98-107, 2016.
- BERTOL, I.; CASSOL, E.A.; BARBOSA, F.T. Erosão do solo. *In*: BERTOL, I.; MARIA, I. C.de; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. cap. 14, p.424-458.

- BERTOL, I. *et al.* Erodibilidade de um cambissolo húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 a 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.465-471, 2002.
- BERTOLLO, A.M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de plantio direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.25, n.3, p.208-218, 2019.
- BERTONI, J.C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2018. 355 p.
- BERTONI, J.C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, p.565-573, 2006.
- CANTALICE, J. R. B. *et al.* Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco - 1ª aproximação. **Revista Caatinga**, v.22, n.2, p.75-80, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117600013.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.42, n.1, p.17-24, 2007.
- CARVALHO, D. F. *et al.* Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, PB, v.9, n.1, p.7-14, 2005.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.
- CASSOL, E. A. *et al.* Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1239-1251, 2008.
- CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.117-124, 2003.
- CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. *In*: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS: UFV. DPS, 1996. p.731-750,
- COELHO, D.S.; CORTEZ, J.W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica á penetração em vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, BA, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 755-764, 2012.

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.

CONRADO NETO, F.C. *et al.* Variabilidade espacial da resistência à penetração em Neossolo Litólico degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1353-1361, 2015.

CORRÊA, E. *et al.* Influência do cultivo de cana-de-açúcar nas perdas de solo por erosão hídrica em cambissolos no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.19, n.2, 2018.

COSTA, C. D. O. *et al.* Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.9, n.1, p.67-86, 2015.

COSTA, C. E. A. S. *et al.* Determinação do fator de erosividade da chuva para o distrito de Marudá (PA). **Nature and Conservation**, v.13, n.4, p.55-62, 2020.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico dos municípios estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DECHEN, S. C. F. *et al.* Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v.74, p.224-233, 2015.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno-1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.335-345, 2003.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.34, p.864-874, 1964.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.331-337, 2011.

ELTZ, F. L. F. *et al.* Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.647-654, 2013.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS)**. Rio de Janeiro, RJ; Embrapa, 1979. Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.

EVANGELISTA, A. W. P. *et al.* Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Viçosa-MG. **Irriga**, Botucatu, SP, v.17, n.4, p.456-468, 2012.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: Sistema de Análise de Variância. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.

FERREIRA, L. M.; FERREIRA, A. G. Aplicação de um modelo de erosão hídrica do solo à escala da unidade de intervenção florestal com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n.4, p. 587-597, 2015.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. *In*: HAAN, C. T. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p.297-380.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris: Universitaires de France, 1960. Disponível em: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/2021-11/010080384.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-11/010080384.pdf). Acesso em: 19 de fev. 2023.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391p.

IBGE. **Área da unidade territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama>. Acesso: 26 jan. 2023.

IBGE. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 06 jan. 2023.

IBGE. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 22 fev. 2023.

LEE, J. H.; HEO, J. H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation. **Journal of Hydrology**, v.409, p.30-48, 2011.

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

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

LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

MACHADO, R. L. *et al.* 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, n.2, p.529-547, 2013.

MAP BIOMAS. **Mapeamento da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil**. [S.l.]: Map Biomas, 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 fev. 2023.

MARTINS, L. R. Recent sediments and grain size analysis. **Revista Gravel**, Porto Alegre, v.1, p.90-105, 2003.

MATOS, R. M. *et al.* Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha, CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p.641-649, 2017.

MAZURANA, J. *et al.* Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.975-983, 2009.

MELLO, C. R. *et al.* Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1878-1891, 2013.

MELO, R. F. *et al.* Uso e manejo do solo. In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI, T.V. (Ed.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p.395-444.

MEUSBURGER, K. *et al.* Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, p. 167-177, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**, Brasília, DF: MMA, 2006.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, v. 17, n. 1, p.1-10, 2002.

MORAIS, L. F. B. *et al.* Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.15, n.3, p.339-344, 1991.

MOURA, G. B. A. *et al.* Identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil utilizando análise de correlação canônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1463-1482, 2020.

NEVES, G. Z. F. **Distribuição geográfica das chuvas no estado de Goiás e Distrito Federal: dinâmica e aplicações nos estudos rítmicos**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22052018-174146/pt-br.php>. Acesso em: 19 mar. 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. *et al.* Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n.1, p. 101-112, 2012.

OLIVEIRA, F. E. **Estatística e probabilidade: exercícios resolvidos e propostos**. 3. ed. São Paulo: LTC, 2017.

OLIVEIRA, F.G.; SERAPHIM, O.J.; BORJA, M.E L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v.30, n.3, p.302-309, 2015.

OLIVEIRA, P.T.S. *et al.* Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, v.25, p.1021- 1036, 2011.

PANAGOS, P. *et al.* Rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v 511, n.1, p.801-814, 2015.

PEREIRA, S. B. *et al.* Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap Basin: Central Vietnam. **International Soil And Water Conservation Research**, v.6, p.99-110, 2018.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. *In*: PRUSKI, F. F. (ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p.41-74.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju, SP: Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.147-156, 2001.

RUFINO, R.L. *et al.* 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. *et al.* Aplicação de modelos matemáticos para estimativa do índice de erosividade das chuvas em Água Branca – AL. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 89947-89964, 2020.

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

SANTOS, J. P. A. *et al.* Caracterização geomorfológica do maciço de Água Branca e seu entorno: uma primeira aproximação. **Revista REGNE**, v. 5, 2019. Número especial.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.871-880, 2012.

SCHÄFER, M. J. *et al.* Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n.2, p.431-441, 2001.

SCHICK, J. *et al.* Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.427-436, 2000.

- SCHICK, J. *et al.* Erosividade de chuvas em Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, n.6, p.1890-1905, 2014.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.
- SILVA, M. A. *et al.* Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1029-1039, 2007.
- SILVA, M. L. N. *et al.* Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.515-521, 1997.
- SILVA, R.B. *et al.* Proposição e validação de equações para estimativa da erosividade de dois municípios de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, SP, v.14, n.4, p.533-547, 2009.
- SILVA, T.R.G. *et al.* Esmiate of the rain erosivity in the municipality of Piaçabuçu – AL. **Colloquium Agrariae**, v. 17, n.6, p. 45-56, 2021.
- SOUZA, C. R.; SEIXAS, F. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. **Scientia Forestalis**, Mossoró, RN, n.60, p.45-51, 2001.
- SOUZA, E. O. *et al.* Estimativa e Espacialização da erosividade em mesorregiões climáticas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n., p. 769-783, 2020.
- SOUZA, G.M e. Modelagem ambiental para a delimitação de brejos de altitude com estudo de casos para os maciços da Aratanha, Maranguape Juá e Conceição. **Revista GeoUECE**, v. 3, n. 5, p. 224–225, 2021.
- SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, CE, n.9, p.85-102, 2006.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**: Estado do Piauí. Recife, PE: SUDENE-DPG-PNN-Grupo de Trabalho de Hidrometeorologia 1990. 236p.
- SUERTEGARAY, D.M.A. **Terra**: feições ilustradas. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.
- TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DECHEN, S. C. F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.287-298. 2018.
- TRINDADE, A. L. F. *et al.* Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51. n.12, p.1918-1928, 2016.
- VIEIRA, S.R. *et al.* Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, v.1, p.1-46, 2000.
- VIOLA, M. R. *et al.* Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v.49, n.2, p.125-135, 2014.

WALTRICK, P. C. *et al.* Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 39, n. 1, p. 256-267, 2015.

WANG, X. *et al.* Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v.137, p.259-268, 2016.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In*: HILLEL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, Agriculture Handbook, 1978. v.537.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, EUA, v.39, n.52, p.285-91, 1958.

XAVIER, J. P. S. *et al.* 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, 2018.