

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO**

**ANTONIO GEBSON PINHEIRO**

**RECIFE - PE**

**2017**

ANTONIO GEBSON PINHEIRO

CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo. Linha de Pesquisa: Hidrologia.

Área de concentração: Hidrologia,  
conservação de água e solo

ORIENTADORA: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos

RECIFE - PE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

P654c Pinheiro, Antonio Gebson  
Características e potencial erosivo das chuvas no estado de  
Pernambuco / Antonio Gebson Pinheiro. – 2017.  
64 f. : il.

Orientadora: Thais Emanuelle Monteiro dos Santos.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, Recife, BR-PE, 2017.

Inclui referências.

1. Precipitação 2. Índice de erosividade 3. Energia cinética das  
chuvas 4. Padrão hidrológico 5. Espacialização I. Santos, Thais  
Emanuelle Monteiro dos, orient. II. Título

CDD 631

ANTONIO GEBSON PINHEIRO

CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação defendida e aprovada em 16 de fevereiro de 2017 pela Banca Examinadora:

Orientador:

---

Thais Emanuelle Monteiro dos Santos, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>  
UFPE

Examinadores:

---

Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>  
UFPE

---

Dário Costa Primo, Dr  
UFPE

---

Sérgio Monthezuma Santoianni Guerra, Prof. Dr  
UFRPE

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se a ver a vida passar.  
É melhor tentar, ainda que em vão, que sentir-se fazendo nada  
até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes  
em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em  
conformidade viver.”

**Martin Luther King**

“Deus é o dono de tudo,  
Devo a Ele a oportunidade que tive de chegar aonde cheguei,  
Muitas pessoas têm essa capacidade, mas não têm essa oportunidade,  
Ele a deu para mim, não sei por quê,  
Sei que não posso desperdiçá-la.”

**Ayrton Senna**

A minha família e em especial aos meus pais,  
Antônio Zacarias Pinheiro *in memoriam* e Maria  
de Fatima Pinheiro, exemplos de vida e a eles  
serei eternamente grato.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado, protegendo minha família e iluminando nossos caminhos.

A toda minha família, em especial, meus pais, Antônio Zacarias Pinheiro *in memoriam* e Maria de Fatima Pinheiro, alicerces de minha vida e exemplos de caráter e personalidades à serem seguidos. A eles sou grato por todos os ensinamentos, educação, aprendizado, honestidade, respeito e companheirismo.

Aos meus irmãos, Claudionor, Claudiana, Jorge e Jekson, pelo companheirismo, brincadeiras, “brigas”, ensinamentos e pelas amizades.

Aos meus amigos/irmãos Jhon Lennon, Hozana, Fábio, Bruno Eduardo, Douglas e Pedro Henrique. Pessoas importantíssimas para realização deste trabalho, pois tive a satisfação de morar no mesmo ambiente que eles.

A todos os integrantes de minha turma: Diego Souza, Péricles, Aline, Diórgenes e Douglas. Muitos momentos bons e outros tensos no decorrer das disciplinas, mas sempre nos ajudando.

A todos os amigos do PPGEA, que de forma direta ou indireta contribuíram para esse momento.

A todas essas pessoas sou grato, pela troca de conhecimentos, sotaques, brincadeiras, costumes, tradições e amizades.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade à que me foi dada e espero que, de alguma forma, tenha retribuído o que me foi investido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de estudo durante o curso.

Agradeço em especial a minha Orientadora Professora Thais Emanuelle Monteiro dos Santos pela oportunidade, incentivo e confiança. Graças as suas orientações e ensinamentos foi possível a realização desse trabalho.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram com meu crescimento durante o decorrer da realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	III
LISTA DE TABELAS .....	IV
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral .....	16
2.2 Objetivos específicos .....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	17
3.1 Estado de Pernambuco.....	17
3.2 Precipitação.....	18
3.2.1. Variabilidade espacial e temporal das chuvas .....	20
3.3 Equação Universal de Perda de Solo (USLE) .....	21
3.3.1 Fator erosividade da chuva (R).....	23
3.3.2 Índice de erosividade EI <sub>30</sub> .....	23
3.4 Padrão Hidrológico .....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
4.1 Índice de erosividade .....	30
4.2 Padrão hidrológico das chuvas para os municípios. ....	31
4.3 Coeficiente de chuva.....	32

4.4	Isolinhas de precipitação e do índice de erosividade $EI_{30}$ .....	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1	Precipitação e Índice de Erosividade $EI_{30}$ dos municípios de Pernambuco a partir de dados pluviográficos.....	34
5.2	Espacialização da precipitação e do $EI_{30}$ no Estado de Pernambuco nos períodos chuvoso e seco.....	44
5.3	Correlação do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) com a precipitação pluviométrica. ..	47
5.4	Correlação do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) com o coeficiente da chuva ( $R_c$ ).....	48
5.5	Classificação dos padrões hidrológicos dos municípios de Pernambuco. ....	49
6.	CONCLUSÕES.....	54
	LITERATURA CITADA .....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa do estado de Pernambuco com as cinco mesorregiões: Região Metropolitana (1), Zona da Mata (2), Agreste (3), Sertão (4) e Sertão de São Francisco (5). .....	17
<b>Figura 2</b> - Localização geográfica das estações avaliadas do estado de Pernambuco...	28
<b>Figura 3</b> - Precipitação e Índice de Erosividade médio anual distribuídos para os municípios do Estado de Pernambuco.....	37
<b>Figura 4</b> - Precipitação média anual para as regiões do Estado de Pernambuco.....	39
<b>Figura 5</b> - Índice de Erosividade médio anual para as regiões do Estado de Pernambuco. ....	40
<b>Figura 6</b> - Precipitação e Índice de Erosividade médio para os municípios estudados de Pernambuco. ....	41
<b>Figura 7</b> - Precipitação média mensal para as regiões do Estado de Pernambuco. ....	43
<b>Figura 8</b> - Índice de Erosividade médio mensal para as regiões do Estado de Pernambuco. ....	44
<b>Figura 9</b> - Distribuição espacial da precipitação média em mm (A) e do índice e erosividade $EI_{30}$ média em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ (B) no primeiro semestre anual para o estado de Pernambuco. ....	45
<b>Figura 10</b> - Distribuição espacial da precipitação média em mm (A) e do índice de erosividade $EI_{30}$ média em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ (B) no segundo semestre anual para o estado de Pernambuco. ....	46
<b>Figura 11</b> - Correlação entre o índice de erosividade médio e a precipitação dos municípios de Pernambuco.....	48
<b>Figura 12</b> - Correlação entre o coeficiente de chuva e o índice de erosividade médio dos municípios de Pernambuco.....	49
<b>Figura 13</b> - Número médio de chuvas erosivas por ano nos municípios de Pernambuco nos períodos amostrados.....	50
<b>Figura 14</b> - Número médio de chuvas erosivas por ano nas regiões de Pernambuco nos períodos amostrados. ....	51
<b>Figura 15</b> - Padrão hidrológico médio nos municípios de Pernambuco.....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estações localizadas na Região Metropolitana do Estado de Pernambuco. .	29
<b>Tabela 2</b> - Estações localizadas na Região da Zona da Mata do Estado de Pernambuco. .....	29
<b>Tabela 3</b> - Estações localizadas na Região do Agreste do Estado de Pernambuco. ....	29
<b>Tabela 4</b> - Estações localizadas na Região do Sertão do Estado de Pernambuco. ....	29
<b>Tabela 5</b> -Estações localizadas na Região do Sertão de São Francisco no Estado de Pernambuco. ....	30
<b>Tabela 6</b> - Classe para interpretação do índice de erosividade anual. ....	31
<b>Tabela 7</b> - Valores mensais, anuais e médios mensais da precipitação pluviométrica (mm) nos municípios avaliados do Estado de Pernambuco, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão. ....	35
<b>Tabela 8</b> - Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade $EI_{30}$ ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ ) nos municípios avaliados do Estado de Pernambuco, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão.....	36

## RESUMO

A grande variabilidade das características das chuvas contribui para a formação de distintas paisagens, além de ser considerada como um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica. A capacidade potencial das chuvas em causar erosão hídrica no solo pode ser representada pela estimativa da erosividade. O presente estudo tem como objetivo principal caracterizar a variabilidade espacial e temporal do padrão hidrológico e do potencial erosivo das chuvas no Estado de Pernambuco. Foram analisadas as séries históricas de chuvas de 25 estações pluviográficas localizadas nas diferentes regiões fisiográficas do Estado de Pernambuco. A partir da separação dos eventos em chuva individual e erosiva, foram avaliados o índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) mensal e anual, o fator de erosividade da chuva ( $R$ ) e a caracterização do padrão hidrológico das chuvas. A partir do software ArcGis foi possível a elaboração de mapas de isolinhas pelo método do IDW. De acordo com os resultados, constatou-se que o regime pluviométrico e o índice de erosividade apresentaram Coeficiente de Variação médio (CV) anual de 49,5% e 52%, respectivamente. O Estado de Pernambuco apresentou média pluviométrica de 827 mm e erosividade média de aproximadamente  $4.784 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . O mês de março apresentou o maior  $EI_{30}$  (17,8%) e o mês de setembro a menor média (0,4%), no decorrer dos anos avaliados. O Município de Recife destacou-se por apresentar o maior  $EI_{30}$  médio ( $10.310 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). O padrão hidrológico de maior ocorrência foi o avançado, seguido do intermediário e com menor ocorrência o atrasado com 42%, 38%, e 20%, respectivamente.

**Palavras-chave:** erosividade, mapeamento, comportamento das chuvas.

## ABSTRACT

The great variability of rainfall characteristics contributes to the formation of distinct landscapes, besides being considered as one of the main active agents in the process of water erosion. The potential capacity of rainfall to cause water erosion in the soil can be represented by the estimate of erosivity. The present study has as main objective to characterize the spatial and temporal variability of the hydrological pattern and the erosive potential of the rains in the State of Pernambuco. We analyzed the historical rainfall series of 25 rainfall stations located in the different physiographic regions of the State of Pernambuco. From the separation of the events in individual and erosive rainfall, the monthly and annual erosivity index ( $EI_{30}$ ), the rainfall erosivity factor (R) and the characterization of the rainfall hydrological pattern were evaluated. From the ArcGis software it was possible to draw maps of isolines using the IDW method. According to the results, it was verified that the pluviometric regime and the erosivity index presented an average coefficient of variation (CV) of 49.5% and 52%, respectively. The State of Pernambuco presented a mean rainfall of 827 mm and average erosivity of approximately  $4,784 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . The month of March had the highest  $EI_{30}$  (17.8%) and the month of September had the lowest average (0.4%), during the evaluated years. The Municipality of Recife stood out for having the highest average  $EI_{30}$  ( $10,310 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), the largest of the entire State. The hydrologic pattern with the highest occurrence was the advanced one, followed very close to the intermediate one and with less occurrence the delayed one with 42%, 38%, and 20%, respectively.

**Key words:** erosivity, mapping, rainfall behavior.

## 1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é um dos principais elementos responsáveis pela manutenção e funcionamento do ciclo hidrológico, necessário à existência da vida no planeta Terra. Sua ocorrência possui uma grande variabilidade referente à intensidade, quantidade, frequência e, principalmente, a distribuição espacial e temporal dessa variável em uma dada região. Tal variabilidade espacial contribui para a formação de distintas paisagens e espaços, os quais serão susceptíveis a dinâmicas particulares.

A dificuldade da obtenção de dados pluviométricos é a grande complexidade na realização de estudos voltados para o potencial erosivo. São necessários dados de eventos de chuvas obtidos por pluviógrafos com leituras realizadas entre pequenos intervalos de tempo. O Estado de Pernambuco não apresenta grandes séries históricas com tais características, pois a manutenção das estações e a coleta periódica desses dados é um processo oneroso que, por diversos fatores, não é possível a continuidade, necessitando-se então trabalhar com a maior série disponível para cada localidade.

Considerada como um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica, a chuva tem seu potencial erosivo quantificado a partir de suas características físicas, sendo o índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) um dos mais utilizados (CARVALHO et al., 2005). De acordo com Wischmeier & Smith (1958), o índice  $EI_{30}$  é definido pelo produto entre a energia cinética da chuva e sua intensidade máxima em 30 min e representa os efeitos do impacto das gotas e turbulência combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial.

O conhecimento do índice de erosividade é de grade importância científica. Em razão disso, diversos pesquisadores têm realizados estudos com o objetivo de estimar o índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) para diferentes regiões e ambientes, a exemplo dos trabalhos de Terassi et al. (2016) em Paranapanema III e IV - Paraná, Santos & Montenegro (2012) no Agreste Central de Pernambuco; Amaral et al. (2014) no Estado da Paraíba; Evangelista et al. (2012) em Viçosa – MG; Valvassori & Back (2014) em Urussanga – SC; Eltz et al. (2013) em São Gabriel – RS; Meusburg et al. (2012) na Suíça.

São escassos os trabalhos realizados sobre a espacialização do potencial erosivo e as características das chuvas para a Região do Nordeste brasileiro. Cantalice et al. (2009) idealizaram uma 1ª aproximação de linhas isoerosivas para o Estado de Pernambuco. Os autores utilizaram apenas 11 estações com períodos de dados que oscilaram entre 5 e 11 anos de séries históricas para os municípios estudados.

A presente proposta busca ampliar o conhecimento sobre o comportamento da espacialização da precipitação e do Índice de Erosividade ( $EI_{30}$ ) para Pernambuco, além das características das chuvas para o Estado. Buscou-se adicionar maiores informações, acrescentando um maior número de estações (25 estações), espacializar essas informações obtidas por meio de ponderações do inverso do quadrado da distância (IDW), além de expor resultados acerca das características das chuvas, como a localização do pico de maior intensidade de ocorrência em eventos individuais e suas consequências em relação ao potencial erosivo.

A estimativa adequada dos índices de erosividade em uma região exige séries históricas confiáveis e distribuição uniforme de pluviógrafos. No entanto, quando as bases de dados são insuficientes, o coeficiente de chuva ( $R_c$ ) constitui uma boa alternativa. O coeficiente de chuva ( $R_c$ ) pode ser determinado conforme proposição de Founier (1956), modificada por Lombardi Neto (1977), com base nos valores de precipitação mensal média e precipitação anual média.

O padrão utilizado para pesquisas de perdas hidrossedimentológicas é o estabelecido pelos Estados Unidos da América e, devido à falta de informações dos padrões brasileiros, podem ser estimados resultados duvidosos. Dessa forma, torna-se necessário a determinação de padrões hidrológicos característicos para determinada localidade com o objetivo de ampliar os estudos, necessariamente com a aquisição de dados confiáveis de séries históricas pluviométricas.

O Estado de Pernambuco, localizado na Região Nordeste do Brasil, apresenta alta variabilidade espacial e temporal do seu regime hídrico. A difícil aquisição de séries históricas pluviométricas dificulta a estimativa do Índice de Erosividade ( $EI_{30}$ ) em determinados locais. Com o auxílio de ferramentas de interpolação é possível definir a variabilidade espacial das informações e, com isso, estimar o  $EI_{30}$  em locais com inexistência de série pluviométrica.

As ligações de pontos de valores próximos são feitas por Isolinhas. Com isso, através da interpolação, pode-se estimar valores de precipitação e do índice de erosividade em qualquer localidade diretamente no mapa entre tais linhas. Suprindo a grande dificuldade de aquisição de séries pluviométricas completas e com intervalos de coletas de dados, que satisfaçam aos estudos de erosividade e caracterização dos padrões hidrológicos, impossibilitando a adição de um maior número de estações.

A utilização do modelo IDW (Inverso da Distância Ponderada) para espacialização dos resultados baseou-se, principalmente, pela sua eficácia, por não necessitar de uma continuidade espacial como outros modelos. Característica essa que, condicionada com o número de estações utilizadas no presente estudo e a vasta utilização do modelo em outros trabalhos de mesma espécie, torna-o eficiente e de boa aplicabilidade para a espacialização dos resultados obtidos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterizar a variabilidade espacial e temporal do padrão hidrológico e do potencial erosivo das chuvas no Estado de Pernambuco, Brasil.

### **2.2 Objetivos específicos**

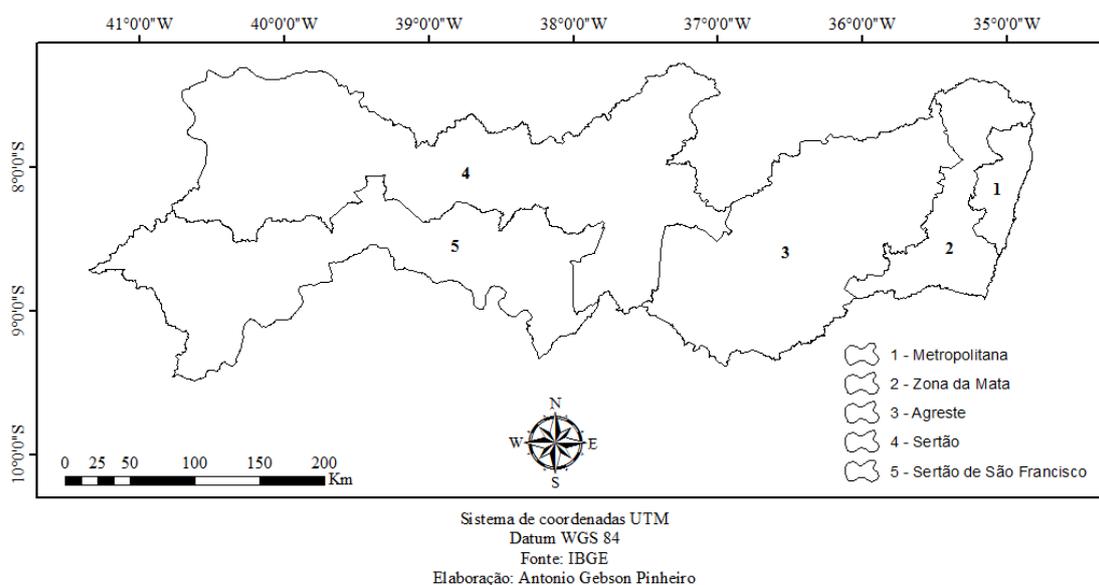
- Classificar o padrão hidrológico predominante nas diferentes regiões do Estado de Pernambuco.
- Identificar se os índices de erosividade das chuvas apresentam, para os diferentes locais de estudo, diferenças expressivas entre si, devido às características fisiográficas e a localização das estações.
- Avaliar a distribuição mensal dos índices de erosividade de cada localidade.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Estado de Pernambuco

O Estado de Pernambuco localiza-se na Região Nordeste do Brasil, tendo como principal característica climática a irregularidade espacial e temporal do seu regime hídrico. No leste do Estado, o volume precipitado está diretamente relacionado com as características da circulação atmosférica e oceânica em larga escala sobre os trópicos, além de ser diretamente influenciado pela ação de sistemas meteorológicos, destacando-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As chuvas são influenciadas pelas brisas terrestres e marítimas em uma faixa de até 300 km da linha costeira e ocorre em todo o ano, no entanto, esse fenômeno é mais observado nas estações do outono/inverno, ocasionando eventos pluviométricos fracos a moderados (AGEITEC, 2013).

O Estado está localizado entre as Latitudes de 7° 20' a 9° 29' S e Longitudes de 34° 30' a 41° 21' W, limitado pelos estados de Alagoas (ao sul), Paraíba (ao norte), Ceará (ao oeste) e o Oceano Atlântico (ao leste). O estado pernambucano é subdividido em cinco mesorregiões: Metropolitana do Recife (1), Zona da Mata (2), Agreste (3), Sertão (4) e São Francisco (5) como podem ser observadas na Figura 1.



**Figura 1** - Mapa do estado de Pernambuco com as cinco mesorregiões: Região Metropolitana (1), Zona da Mata (2), Agreste (3), Sertão (4) e Sertão de São Francisco (5).

O Estado de Pernambuco apresenta alta variabilidade climática dentre suas diferentes zonas fisiográfica: Litoral, Mata, Agreste e Sertão. As zonas do Litoral e Mata situam-se na faixa úmida e costeira, ocupando uma área de 11.776 km<sup>2</sup> (12% da área total), e se caracterizam-se por apresentar clima úmido. A zona do Agreste constitui a transição do Litoral e da Mata para o Sertão, abrangendo uma área de 17.970 km<sup>2</sup> (18,3% da área do Estado). Já o Sertão ocupa a maior parte do Estado, com 68.535 km<sup>2</sup> (69,7% da área total), e apresenta características de clima semiárido com vegetação de clima de caatinga hiperxerófila (CANTALICE et al., 2009; JACOMINE et al., 1973).

A vegetação do Estado está sempre dependente da influência dos fatores clima, relevo e solo. Na porção Leste do Estado, nas proximidades da costa, dominam as associações típicas das restingas; naquelas porções em que, devido à baixa altitude e à proximidade do mar, dominam as formações de mangues. Nas proximidades do Litoral, onde encontram-se as áreas sedimentares, mas que se oscilam, às vezes, até mais de 100m, e que são observados na porção norte da região da Mata, desenvolve-se uma associação vegetal rica em cajueiros, mangabeiras, batiputás etc., assemelhando-se ao cerrado da região Central do Brasil e que são conhecidos como tabuleiros (ANDRADE, 2007).

A vegetação da caatinga domina praticamente toda área da porção sub-úmida e semiárida do Agreste e na maior parte da região sertaneja. A vegetação apresenta características desuniformes, oscilando na densidade, no porte e na abundância das cactáceas. Essas características evidenciam a ocorrência de vários tipos de caatinga no Sertão de Pernambuco (EGLER, 1951).

### **3.2 Precipitação**

O processo de condensação por si só não é capaz de ocasionar a precipitação pluviométrica, pois as gotículas formadas são muito pequenas (elementos de nuvem), permanecendo em suspensão pela força de flutuação térmica. Para ocorrer a precipitação, é necessário a formação de gotas maiores (elementos da precipitação), e isto ocorre por coalescência das pequenas gotas, de forma que a ação da gravidade seja superior a força de sustentação ocasionando a precipitação. As diferenças de temperatura, tamanho das gotas, cargas elétricas e de movimentos turbulentos resultam na coalescência. Quanto maior for a movimentação dentro da nuvem, maior será a probabilidade das gotas se chocarem,

aumentando o tamanho das gotas, até o limite de tensão e conseqüentemente a precipitação (PEREIRA et al., 2007).

A aleatoriedade das características dos eventos extremos da precipitação produz imprecisão na distribuição espaço temporal (SALGUEIRO et al., 2014). As oscilações climáticas influenciam diretamente nas atividades humanas, pois podem ser alteradas quantos à temperatura, precipitação e frequência de eventos extremos, como secas e chuvas intensas, acarretando em impactos nas características do ambiente, em escala regional e global (SOUZA & AZEVEDO, 2012).

Em muitas regiões do mundo mais de  $\frac{3}{4}$  da precipitação anual ocorre durante menos de seis meses (HOFWEGEN & SVENDSEN, 1999). A má distribuição temporal e espacial das chuvas e vazões, aliada, muitas vezes, à concentração das demandas por água em determinadas regiões, configura um dos principais fatores que levam à ocorrência de problemas relacionados a recursos hídricos (LIMA, 2001).

A região semiárida do nordeste do Brasil se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando um grande período de estiagem, que ocorre de julho a fevereiro, e um pequeno período chuvoso, de março a junho, representado por chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de solo, podendo afetar negativamente o meio ambiente e a população (SANTOS et al., 2009; GARCIA et al., 2011). Segundo Araújo (2006), esta característica é resultado de um conjunto de fatores, que incluem as propriedades fisiográficas da região e a influência de vários sistemas atmosféricos.

O comportamento espacial e temporal das chuvas influencia diretamente no processo erosivo do solo, bem como os deslizamentos de massas de solo em áreas cuja geomorfologia é de risco, como áreas montanhosas e de topografia íngreme, com ausência de cobertura vegetal (MELLO et al., 2012).

As chuvas, durante sua ocorrência, apresentam consideráveis alterações naturais em termos de intensidade, podendo ser classificadas em diferentes padrões ou perfis de acordo com a intensidade e a duração. Além disso, sabe-se que as características das chuvas mudam de região para região, obtendo-se diferentes padrões de chuva em cada uma delas (KELLER FILHO et al., 2005; CARVALHO et al., 2012).

Izidio et al. (2013), avaliando a interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense, verificaram que há maiores ocorrências de eventos pluviométricos de magnitudes inferiores a 10 mm de altura na região semiárida.

### **3.2.1. Variabilidade espacial e temporal das chuvas**

A precipitação pluvial é considerada a principal variável meteorológica para o sertão nordestino, sendo importante para o abastecimento de água e saneamento, agricultura, pecuária, indústrias e comércios locais (FERNANDES & CARVALHO, 2013; ANNECCHINI, 2005; ZOLET, 2005).

O nordeste brasileiro (NEB), devido situar-se no extremo leste da América do Sul tropical, está sujeito à influências causadas por fenômenos meteorológicos, que lhes conferem características climáticas específicas, consideradas como únicas em semiáridos de todo o mundo. Molion & Bernado (2000) afirmam que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é responsável pela ocorrência de chuvas no período compreendido entre fevereiro a maio e pelos anos de seca, e seu bloqueio ao norte dificultam a precipitação, deixando a referida zona debaixo de uma região de subsidência.

A precipitação pluviométrica tem grande variação espacial, ocasionada principalmente pela localização geográfica, altitude, distância de fontes de umidades, variação de temperatura, direção e intensidade dos ventos. O mapeamento dessa variável é frequentemente realizado com métodos de interpolação espacial, principalmente utilizando o inverso do quadrado da distância e as técnicas de geoestatística, sendo um processo que envolve a mensuração de informações discretas coletadas em estações pluviométricas (SANTOS et al., 2011). Reis et al. (2005) ressaltam que a qualidade dos mapas obtidos por interpolação espacial é altamente dependente da procedência dos dados que servirão de base para a representatividade das séries históricas e da distribuição espacial das estações pluviométricas na área em estudo.

Santos et al. (2014) avaliaram a variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros – RN, o trabalho foi realizado por meio de modelagem espacial em dezessete municípios. Os autores concluíram que o conhecimento da variabilidade espacial das precipitações anuais e máximas em

detrimento da série histórica em estudo, permitem auxiliar no manejo das práticas agrícolas e no planejamento de obras de engenharia hidráulica.

Fernandes & Carvalho (2013) avaliaram a espacialização da precipitação pluvial no município de Piranhas – AL, utilizando médias mensais de precipitação pluvial para o período compreendido entre 1960 a 1990. Esses dados foram aplicados a análises estatísticas, utilizando-se o método da regressão linear múltipla e interpolados pelo método da Krigagem. Os autores observaram que, do total precipitado anualmente 92,2% estão relacionadas com a altitude.

Santos et al. (2011), estudando a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO, com o auxílio de técnicas geoestatísticas, encontraram, devido aos pequenos erros encontrados, bom desempenho das técnicas geoestatísticas no mapeamento da precipitação pluvial, destacando-se o modelo de semivariograma exponencial, que se sobressaiu na maioria dos eventos estudados.

Objetivando avaliar a variabilidade da precipitação pluviométrica na região Nordeste do Brasil, Silva et al. (2011) analisaram os dados diários de chuva de 600 estações meteorológicas. A partir da análise dos dados, verificaram que a variabilidade da precipitação pluvial não é uniforme em todo o Nordeste. A região do semiárido nordestino apresentou os maiores valores de coeficiente de variação da precipitação e número de dias de chuva do que aqueles apresentados no litoral e agreste nordestino. Os maiores valores do coeficiente de variação estão ligados às menores precipitações. Os maiores valores de número de dias de chuva em grande parte da região Nordeste do Brasil ocorrem no primeiro semestre do ano.

### **3.3 Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**

A USLE foi desenvolvida a partir de 1953, pela Divisão de Pesquisa em Conservação de Solo e Água do serviço de Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos, responsáveis por reunirem dados de escoamento superficial e perdas de solo de 10.000 parcelas de 48 estações experimentais norte-americanas. A partir de então, a equação foi alterada com inclusões de características importantes, a fim de otimizar a precisão da estimativa das perdas de solo. Foram incluídos um índice de erosividade da chuva, um fator que leva em consideração os efeitos do manejo da cultura, um fator para quantificar a

erodibilidade do solo e um fator que considera os efeitos das interações de variáveis como produtividade, manejo dos resíduos culturais e a sequência de culturas. Diante à evolução da equação ao longo dos anos, foi possível viabilizar sua aplicação em qualquer lugar onde os dados para a realização de seu cálculo pudessem ser obtidos, chamando-se então de Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A USLE é composta pelos principais fatores que causam a erosão hídrica do solo. O produto de todos os fatores resultará na estimativa média das perdas de solo, em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . Matematicamente, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

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

Em que:

A = perda anual média de solo,  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ;

R = Erosividade da chuva, fator que pode ser expresso por um índice numérico que estima a capacidade da chuva de ocasionar erosão,  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ;

K = Erodibilidade do solo, fator que expressa a suscetibilidade do solo à erosão, representado numericamente pela relação entre a perda anual média de solo e o fator erosividade da chuva de uma parcela-padrão com 9% de declividade e 25 m de comprimento, mantida continuamente sem cobertura vegetal e cultivada morro abaixo, de forma a manter a superfície do solo livre de crostas,  $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ;

L = Comprimento da declividade, fator que relaciona as perdas de solo entre uma encosta de certo comprimento com a padrão de 25 m, com as demais condições iguais;

S = Grau de declividade, fator que representa a relação de perdas de solo entre uma encosta com certa declividade e a padrão com 9%, sendo as demais condições iguais;

C = Uso e manejo do solo, fatores que relacionam as perdas de solo entre um solo cultivado com determinada cultura e o mesmo mantido constantemente sem cobertura vegetal, com as mesmas características do fator K;

P = Prática conservacionista, fator que relaciona as perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle da erosão e um solo sem nenhuma prática de conservação do solo.

### **3.3.1 Fator erosividade da chuva (R)**

Entre os fatores da USLE, a erosividade (fator R) tem sido considerado um dos mais importantes. De acordo com a Organização de Agricultura e Alimentos das Nações Unidas (FAO, 1976) esse fator expressa a capacidade da chuva, esperada em determinado local, em causar erosão em um solo sem proteção e, por ser dependente do clima, varia de uma região para outra (WALTRICK et al. 2015). Nesse fator são considerados somente as características físicas da chuva como, a quantidade precipitada, o impacto ocasionado pela energia cinética provocado pela intensidade da chuva, tamanho das gotas e a velocidade terminal (SCHICK et al., 2014; SANTOS & MONTENEGRO, 2012).

Cabeda (1976) considera como erosiva a chuva com volume igual ou superior a 10 mm ou, ainda, chuva com volume igual ou superior a 6 mm compreendido em um intervalo de tempo igual ou inferior a 15 min. Em razão desse critério, chuvas separadas por intervalos de 6 h sem precipitação ou com precipitações menores que 1 mm nesse espaço de tempo são considerados como chuvas individuais (SCHICK et al, 2014).

Apenas o fator R é calculado diretamente, a partir de registros pluviográficos, dentre os demais fatores da USLE, pois os demais dependem necessariamente da parcela padrão. Wischmeier & Smith (1978) consideram necessários o período de 10 a 20 anos de coletas de dados para a obtenção de um “fator R” com valor confiável.

### **3.3.2 Índice de erosividade EI<sub>30</sub>**

Os efeitos ocasionados pelo impacto direto das gotas e turbulência em um solo sem vegetação, combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial apresentou elevada correlação com o produto da energia cinética da chuva por sua intensidade máxima em 30 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1958). Esse índice foi capaz de explicar até 97% das perdas de solo ocasionadas pelas chuvas. Somando-se os valores desse índice (EI<sub>30</sub>) para todas as chuvas individuais erosivas ocorridas em cada mês, tem-se consecutivamente o índice mensal, cuja soma caracteriza o EI<sub>30</sub> anual (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Santos & Aquino (2015) estudaram a erosividade das chuvas (R) nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no estado do Piauí. Os autores utilizaram dados de precipitação pluviométricas das 13 estações da Superintendência do Desenvolvimento do

Nordeste (SUDENE), com isso foi possível estimar que 51,1% dos municípios estudados possuem taxas pluviométricas situadas entre 1.100 a 1.200 mm e em 11,9% a erosividade variou de muito baixa a baixa erosividade, 74,7% da área de estudo foram enquadradas nas classes de alta a muito alta erosividade, evidenciando assim fragilidade climática natural constituindo-se fator limitante ao desenvolvimento de atividades agropecuárias. Os autores concluíram que os dados utilizados na pesquisa possibilitam o desenvolvimento de planejamento físico territoriais, mas ressaltam que para o complemento do estudo a fim de uma análise mais completa da fragilidade ambiental da área é necessário o estudo relativo as características da região como: declividade, tipos de solos, fisionomia da cobertura vegetal e ainda os tipos de usos da terra.

Schick et al. (2014), avaliando a erosividade das chuvas em Lages, Santa Catarina, trabalhando com dados diários de pluviógrafos de 1989 a 2012, com o auxílio do programa computacional *Chuveiros*, concluíram que, do volume total anual médio de 1.533 mm, 83% foram chuvas erosivas. O índice de erosividade (fator R) recomendado para Lages é o EI<sub>30</sub>, cujo valor médio anual equivalente a 5.033 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, dos quais, 66% compreendeu-se entre os meses de setembro e fevereiro.

Santos & Montenegro (2012), estudando a erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central de Pernambuco, considerando uma série histórica de 29 anos de dados, concluíram que o primeiro semestre do ano é responsável pela ocorrência de chuvas de elevado potencial erosivo. O valor do fator “R” para a região estudada é de 2.779,8 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e que o padrão de chuva com maior ocorrência foi o avançado. Os autores não encontraram correlações significativas entre erosividade, coeficiente de chuva e precipitação.

Oliveira et al. (2012) revisaram os estudos sobre erosividade realizados no Brasil para verificar a qualidade e representatividade dos resultados gerados e com o objetivo de proporcionar maior compreensão da erosividade das chuvas no Brasil. Após avaliar estudos no Brasil que utilizaram dados de precipitação pluviográficas para calcular a erosividade da chuva, o autor concluiu que a erosividade anual no Brasil variaram de 1.672 a 22.453 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com os menores valores encontrados na região nordeste e os maiores na região norte do país. De acordo com o estudo, a erosividade tende a aumentar de leste a oeste, especialmente na parte norte do país.

O período mínimo de 20 anos é considerado para ser utilizado na estimativa de perda média anual de solo por meio da USLE, vale lembrar que, no Brasil, de modo geral,

são raras as séries históricas existentes de pluviógrafos com período superior a 10 anos (PRUSKI, 1996). E mesmo quando existem, muitas vezes não são disponibilizadas pelos órgãos responsáveis.

### **3.4 Padrão Hidrológico**

Dentre as características da chuva com relação ao processo de erosão hídrica do solo, o conhecimento do padrão hidrológico, alterações da intensidade durante sua ocorrência, é de suma importância. Horner & Jens (1942) caracterizaram as chuvas em padrões hidrológicos denominados avançado, intermediário e atrasado, os mesmos se caracterizam, respectivamente, quando a localização do pico de maior intensidade é computada no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração da chuva, respectivamente.

Sob condições idênticas de volume total, intensidade do pico e duração, as chuvas de padrão hidrológico atrasado são mais prejudiciais do ponto de vista da erosão do solo, já que o pico da chuva ocorre no último terço do tempo de duração da chuva, quando existe elevado teor de umidade antecedente à ocorrência do pico de precipitação, pois, a taxa de infiltração é menor e a desagregação é facilitada pelo impacto das gotas das chuvas, ocasionando selamento superficial e, conseqüentemente, escoamento superficial (MONTENEGRO et al., 2013; FLANAGAN et al., 1988).

Com o objetivo de caracterizar as chuvas erosivas em Urussanga - SC, em relação ao padrão de distribuição temporal, Valvassori & Back (2014) concluíram que houve maiores ocorrências de chuvas com perfil hidrológico avançado durante o período avaliado. Estes resultados corroboram com os encontrados por Santos & Montenegro (2012), avaliando a erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central de Pernambuco, e por Evangelista et al. (2012), analisando a erosividade e características hidrológicas das chuvas de Viçosa – MG.

### **3.5 Espacialização da Precipitação e do Índice de Erosividade (EI<sub>30</sub>)**

Isolinhas são linhas que ligam pontos de mesmo valor (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Os valores da precipitação e do índice de erosividade podem ser estimados nos

locais estudados entre tais linhas por interpolação linear e assim, estimar valores em qualquer localidade diretamente no mapa.

Diversos estudos sobre a utilização dessa ferramenta, para espacialização de dados, foram e são realizados por muitos autores com o intuito de se obter melhor representatividade espacial desses índices.

Martins & Rosa (2012) estudaram a caracterização climática da bacia do rio Parnaíba, utilizando ferramentas de geoprocessamento para espacialização dos dados de 34 estações. A espacialização foi feita pelo método “Inverse Distance Weighted” IDW. Os autores observaram que o método IDW mostrou-se mais eficaz por não necessitar de uma continuidade espacial como o método Kriging, com uma melhor suavização das Isolinhas geradas, no entanto, as possíveis distorções provocadas pela interpolação não sejam possíveis de serem mensuradas.

Righi & Basso (2016) avaliaram a aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas para a bacia hidrográfica do rio Piratinim – noroeste do Rio Grande do Sul por meio da análise espacial. Foram utilizados os métodos: Inverso de Distância Ponderada (IDW), Método Kriging (KG), Vizinho Natural (NN) e Função de Base Radial Multiquadrada (RBF). Diante dos resultados, os autores concluíram que a estimativa da precipitação com modelos estatísticos representa uma alternativa potencial, pois é de fácil operação e eficiente na estimativa para locais específicos, reduzindo o tempo de trabalho e de recursos investidos. Dentre os métodos aplicados, o que melhor correlacionou foi o Vizinho Natural (NN).

Santos & Aquino (2015) investigaram a erosividade das chuvas nos municípios (R) de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no Estado do Piauí. Para a estimativa do “fator R” foram utilizados os dados de 13 estações pluviométricas. Os dados foram manuseados através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10.2, utilizando o método de interpolação IDW (peso pelo inverso da distância) para a interligação dos dados. Os autores constataram que 74,7% da área dos municípios há valores de erosividade variando de alta a muito alta Erosividade e consecutivamente, eleva o risco de erosão hídrica pela ação das chuvas.

Almeida & Casaroli (2016) analisaram a erosividade média e o calendário agrícola da microrregião Sudoeste do Estado de Goiás utilizando registros pluviométricos de 29 estações climatológicas para o mapeamento. Para isso, foi utilizado o método interpolador

IDW (Inverse Distance Weighted). Os autores concluíram que, diante dos resultados, as estações secas e chuvosas são responsáveis pelos menores e maiores índices de erosividade mensais, os quais podem atingir  $0,15 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $3.540 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente.

### **3.6 Erosão do Solo**

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a erosão é caracterizada como sendo o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, podendo ser ocasionado tanto pela água como pelo vento.

A erosão hídrica do solo é um processo físico que ocorre naturalmente, devido principalmente a ação das chuvas (ESLAMIN et al., 2013). Porém, as alterações antropológicas sob determinadas condições de clima, vegetação, solo e relevo podem ocasionar o aceleração desse processo (VILELA FILHO, 2002).

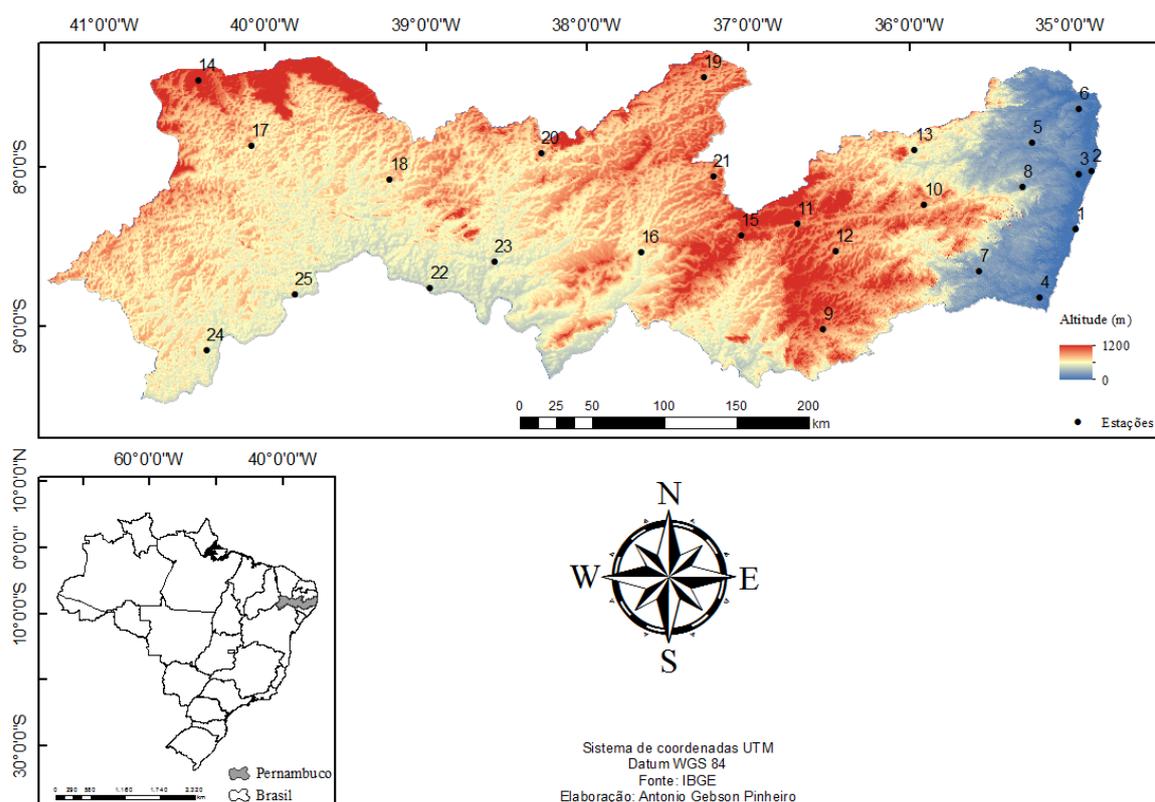
Existem seis tipos de erosão, que são a laminar, eólica, gravitacional, glacial, química e antrópica. No Brasil, a erosão hídrica é a mais importante e se processa em duas fases distintas: desagregação e transporte. O processo de desagregação é ocasionado tanto pelo impacto direto no solo exposto pelas gotas de chuva, como pelas águas que escorrem na sua superfície influenciado pela declividade do terreno e por ações antrópicas. A energia cinética provocada nesses casos intensifica a desagregação e arraste do solo (ALBUQUERQUE, 2013; CEMIN et al., 2011; RAMOS et al., 2011; LEPSCH, 2002; GALETI, 1979). A erosão hídrica do solo pode ocorrer de diferentes formas, sendo as mais comuns a laminar, em sulcos e num estágio mais avançado formando voçorocas (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O conhecimento das taxas causadas pela erosão do solo é importante para a compreensão da evolução do relevo como também para avaliação dos impactos das atividades humanas sobre estas taxas (PARSONS et al., 2010).

A avaliação do processo erosivo, para determinar a quantidade de solo, água e nutrientes perdidos, é essencial para adoção de medidas de manejo e conservação de solo e água (CARVALHO, 2014). A FAO (1967) admite perdas da ordem de  $12,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para solos profundos, permeáveis e bem drenados;  $2 \text{ a } 4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias àqueles limites.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado para o Estado de Pernambuco, a partir de dados de pluviógrafos distribuídos em alguns municípios ao longo do Estado, localizados entre as Latitudes de 7,33° a 9,48° S e Longitudes de 34,50° a 41,35° W (Figura 2). Foram utilizados dados de chuvas para o período compreendido entre os anos de 2000 a 2015. Os municípios apresentaram diferentes séries históricas, obtendo-se o máximo de informações pluviométricas disponíveis para cada localidade.



**Figura 2** - Localização geográfica das estações avaliadas do estado de Pernambuco.

Foram utilizados dados de precipitação pluvial, obtidos por pluviógrafos de estações da rede meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), 14 estações, e da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), 11 estações, para análises, sistematização e cálculo do índice de erosividade mensal e anual. Foram selecionadas 25 estações pluviométricas que se encontram distribuídas ao longo do Estado de Pernambuco. A localização geográfica e altitude das estações é ilustrada nas Tabelas de 1 a 5, com seus respectivos períodos de dados.

**Tabela 1** - Estações localizadas na Região Metropolitana do Estado de Pernambuco.

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Anos Observados	Série (anos)
1	Ipojuca	8,39°	34,97°	9	3	2005-2007
2	Olinda	8,03°	34,87°	5	4	2006-2009
3	Recife	8,05°	34,95°	11	4	2005-2008

**Tabela 2** - Estações localizadas na Região da Zona da Mata do Estado de Pernambuco.

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Anos Observados	Série (anos)
4	Barreiros	8,82°	35,19°	72	6	2006-2012
5	Carpina	7,85°	35,24°	175	5	2006-2010
6	Goiana	7,64°	34,95°	80	8	2004-2011
7	Palmares	8,66°	35,57°	164	6	2002-2009
8	Vitória do Santo Antão	8,13°	35,30°	163	9	2005-2010

**Tabela 3** - Estações localizadas na Região do Agreste do Estado de Pernambuco.

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Anos Observados	Série (anos)
9	Brejão	9,02°	36,54°	529	8	2004-2011
10	Caruaru	8,24°	35,91°	568	11	2000-2011
11	Pesqueira	8,36°	36,70°	654	4	2012-2015
12	São Bento do Uma	8,53°	36,46°	610	12	2004-2015
13	Vertentes	7,90°	35,97°	381	8	2003-2010

**Tabela 4** - Estações localizadas na Região do Sertão do Estado de Pernambuco.

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Anos Observados	Série (anos)
14	Araripina	7,46°	40,42°	829	9	2001-2009
15	Arcoverde	8,43°	37,05°	683	13	2000-2013
16	Ibimirim	8,54°	37,67°	416	10	2000-2011
17	Ouricuri	7,87°	40,09°	460	9	2002-2010
18	Salgueiro	8,08°	39,23°	452	7	2006-2012
19	São José do Egito	7,44°	37,28°	682	9	2003-2011
20	Serra Talhada	7,92°	38,29°	513	12	2000-2011
21	Sertânia	8,06°	37,22°	605	6	2005-2010

**Tabela 5** -Estações localizadas na Região do Sertão de São Francisco no Estado de Pernambuco.

Nº	Localidade	Latitu de (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Anos Observados	Série (anos)
22	Belém do São Francisco	8,76°	38,98°	311	6	2006-2011
23	Floresta	8,60°	38,58°	316	7	2005-2011
24	Petrolina	9,15°	40,37°	383	9	2005-2013
25	Santa Maria da Boa Vista	8,80°	39,82°	381	8	2003-2010

#### 4.1 Índice de erosividade

Para os cálculos de erosividade foram levados em consideração apenas as chuvas individuais. Cabeda (1976) considera como erosiva a chuva com volume igual ou superior a 10 mm ou, ainda, chuva com volume igual ou superior a 6 mm compreendido em um intervalo de tempo igual ou inferior a 15 min. Em razão desse critério, chuvas separadas por intervalos de 6 h sem precipitação ou com precipitações menores que 1 mm nesse espaço de tempo são considerados como chuvas individuais (SCHICK et al, 2014).

A precipitação foi dividida por sua duração e assim obteve-se a intensidade, dada em mm h<sup>-1</sup>, conforme Foster et al. (1981). A determinação dos índices de erosividade foi realizada com base no modelo matemático proposto por Wischmeier & Smith (1958). A energia cinética referente a cada segmento de chuva é calculada utilizando a equação sugerida por Foster et al. (1981), a qual converte os dados para o Sistema Internacional de Unidades (SI):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1a)$$

quando  $I \leq 76 \text{ mm h}^{-1}$ , e

$$E_c = 0,283 \quad (1b)$$

quando  $I > 76 \text{ mm h}^{-1}$ , em que:

$E_c$  - energia cinética por mm de chuva, MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, e

$I$  - intensidade de chuva, mm h<sup>-1</sup>.

O resultado obtido pela eq. (1a) foi multiplicado pela lâmina precipitada em cada segmento, sendo realizada a soma de todos os valores para um mesmo evento de precipitação, obtendo-se, com isso, a energia cinética total ( $E_c$ ) para cada chuva. O cálculo da  $E_c$  atinge um valor máximo de  $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , a uma intensidade de chuva equivalente a  $76 \text{ mm h}^{-1}$ , a partir da qual o valor se estabiliza, considerado que as gotas de chuvas não mais aumentam de tamanho, sendo esse como o limite do valor da energia cinética da chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

Com o objetivo de obter o índice  $EI_{30}$ , gerado em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , foi identificada, para cada chuva, sua lâmina máxima precipitada em 30 minutos, possibilitando a obtenção da intensidade máxima de chuva observada na mesma duração ( $I_{30}$ ), assim como a posterior aplicação da eq. (2) para o cálculo do índice  $EI_{30}$  (CARVALHO et al., 2005).

$$EI_{30} = E_c \times I_{30} \quad (2)$$

O somatório dos valores dos índices  $EI_{30}$  gerados para cada precipitação tornou possível a determinação dos índices mensais e, posteriormente, os anuais, para cada uma das localidades estudadas.

As erosividades mensais e anuais ( $R$ ) foram obtidas pelo somatório dos índices  $EI_{30}$  dos eventos de chuvas individuais para cada período utilizando o software Microsoft Office Excel 2013. Os resultados obtidos foram classificados de acordo com as classes propostas por Carvalho (2008) exposto na Tabela 5.

**Tabela 6** - Classe para interpretação do índice de erosividade anual.

Erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Classe de erosividade
$R \leq 2.452$	Erosividade fraca
$2.452 < R \leq 4.905$	Erosividade moderada
$4.905 < R \leq 7.357$	Erosividade moderada a forte
$7.357 < R \leq 9.810$	Erosividade forte
$R > 9.810$	Erosividade muito forte

Fonte: adaptada de Carvalho (2008).

#### 4.2 Padrão hidrológico das chuvas para os municípios.

Foram determinados os padrões hidrológicos de cada chuva erosiva analisada seguindo-se a classificação proposta por Horner & Jens (1942), que classifica as chuvas

em padrões hidrológicos avançado, intermediário e atrasado, os quais se caracterizam, respectivamente, quando a localização da maior intensidade está no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração de um evento pluviométrico. De acordo com o padrão hidrológico de cada chuva foi calculada a porcentagem do total das chuvas que representa cada padrão hidrológico.

### 4.3 Coeficiente de chuva

O coeficiente de chuva foi calculado pelo método proposto por Lombardi Neto (1977), eq. 3, dado por:

$$R_c = \frac{Pm^2}{Pa} \quad (3)$$

em que

Rc – coeficiente de chuva, mm;

Pm – precipitação média mensal, mm;

Pa – precipitação média anual, mm.

### 4.4 Isolinhas de precipitação e do índice de erosividade EI<sub>30</sub>

A metodologia utilizada na elaboração dos mapas temáticos com as alturas pluviométricas e os índices de erosividade EI<sub>30</sub> para o Estado de Pernambuco constituiu dos seguintes procedimentos:

- ✓ Uso do software de sistema de informações geográficas ArcGis 10.2 com uma base de dados contendo o contorno do Estado de Pernambuco em formato shape (pernambuco.shp), uma tabela com a localização geográfica das estações estudadas (graus decimais) com os respectivos valores das precipitações e dos índices de erosividade (resultados\_pe.dbf).
- ✓ Especificação do método IDW (Ponderação do Inverso da distância) para a superfície de interpolação. O método de interpolação IDW foi utilizado por atribuir que cada ponto geográfico de contribuição tem influência local que diminui com a distância. O expoente de potência no IDW

controla a importância dos pontos circunvizinhos no valor interpolado. Um expoente mais alto resulta em menos influência de pontos distantes.

Com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2013 foi possível a elaboração da estatística descritiva dos resultados de precipitação e de erosividade, como: média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), máximo e mínimo. Também foram realizadas, por meio do mesmo software, as correlações entre a precipitação e a erosividade e entre a erosividade e o Coeficiente de Chuva (Rc).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Precipitação e Índice de Erosividade $EI_{30}$ dos municípios de Pernambuco a partir de dados pluviográficos.

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os dados de precipitação pluviométrica e os índices de erosividade da chuva, respectivamente, com base nas séries de dados pluviográficos das estações do Estado de Pernambuco, que variaram de 3 a 12 anos, expostas anteriormente nas Tabelas de 1 a 4.

De acordo com os resultados obtidos, constata-se que há grande variabilidade no regime pluviométrico e no Índice de Erosividade ( $EI_{30}$ ) entre os municípios avaliados. Observa-se que o regime pluviométrico das estações e o Índice de Erosividade apresentaram Coeficiente de Variação médio (CV) de 49,5% e 52,6% (Tabela 7 e 8), respectivamente. A precipitação pluviométrica e o Índice de Erosividade apresentaram Desvio Padrão (DP) médio de 409,0 e 2.517,9, respectivamente, para todo o Estado.

De acordo com a Tabela 7, pode-se admitir que a média pluviométrica anual para o Estado de Pernambuco é de aproximadamente 826,7 mm. A maior altura pluviométrica anual média foi evidenciada no município de Barreiros (1.715,7 mm) e a menor registrada no município de Pesqueira (170,7 mm). Ressalta-se que essa média pluviométrica anual se refere à apenas ao período de avaliação dos dados nos municípios estudados e com isso, outros estudos podem apresentar média diferente do constatado neste trabalho, dependendo da amplitude das séries históricas dos municípios e da quantidade de estações analisadas.

No que diz respeito ao  $EI_{30}$ , Pernambuco apresentou média de 4.784,2 MJ mm  $ha^{-1} h^{-1}$ , sendo o município de Recife responsável pelo maior valor encontrado para todo o Estado (11.622,5 MJ mm  $ha^{-1} h^{-1}$ ) e o menor Índice foi registrado no município de Pesqueira (922,6 MJ mm  $ha^{-1} h^{-1}$ ), resultados que podem ser evidenciados na Tabela 7.

**Tabela 7** - Valores mensais, anuais e médios mensais da precipitação pluviométrica (mm) nos municípios avaliados do Estado de Pernambuco, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão.

<b>Município</b>	<b>jan</b>	<b>fev</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>	<b>Total</b>
Araripina	145,5	154,5	142,3	77,2	45,7	7,8	7,7	1,1	0,6	3,0	34,1	32,9	652,3
Arcoverde	68,1	77,4	104,7	75,6	70,8	88,8	53,1	34,8	12,0	17,3	5,0	21,3	628,8
Barreiros	80,0	122,3	165,7	137,3	230,9	339,4	307,2	199,4	59,9	24,2	20,0	29,3	1.715,7
Belém de São Francisco	24,0	64,3	126,5	59,3	48,9	12,6	10,8	2,9	1,2	6,3	0,5	36,8	394,1
Brejão	61,5	54,5	88,8	84,9	201,7	210,2	153,9	126,5	41,5	4,5	11,1	14,0	1.053,2
Carpina	88,8	98,1	163,5	118,1	157,9	300,3	168,9	214,9	61,1	29,2	30,7	37,6	1.469,1
Caruaru	63,8	71,9	85,2	92,3	97,6	147,6	78,0	58,3	27,2	6,9	4,0	20,7	753,4
Floresta	26,8	133,2	114,7	95,1	45,8	17,0	10,5	4,9	4,3	1,1	11,3	42,0	506,6
Goiana	46,3	60,4	107,9	125,7	139,2	236,7	125,6	123,0	40,7	9,1	21,8	29,1	1.065,2
Ibimirim	49,3	132,2	145,6	97,4	63,1	22,8	17,3	11,4	8,6	22,6	11,8	46,5	628,3
Ipojuca	0,0	19,4	40,5	90,0	327,8	381,4	94,8	137,8	13,0	25,5	5,9	99,9	1.235,8
Olinda	56,0	127,2	135,0	230,8	250,2	313,4	289,8	167,1	55,6	16,3	24,3	6,6	1.672,3
Ouricuri	128,1	102,8	144,4	124,0	46,5	12,0	7,1	3,4	2,3	12,5	32,1	80,2	695,4
Palmares	54,1	73,6	100,5	162,6	214,7	270,9	172,2	161,5	55,1	25,0	22,8	22,0	1.335,0
Pesqueira	43,5	35,7	31,9	17,4	5,8	6,5	7,2	6,7	0,0	16,2	0,0	0,0	170,7
Petrolina	43,6	124,6	73,4	84,0	19,5	7,1	5,2	1,8	1,3	19,1	29,3	32,6	441,6
Recife	45,9	100,9	121,3	186,8	151,8	197,1	178,8	80,8	25,0	25,3	17,7	8,8	1.140,2
Salgueiro	81,8	137,5	115,9	154,0	32,6	13,8	9,3	1,8	1,3	7,3	13,5	58,8	627,5
Santa Maria da Boa Vista	118,9	107,2	100,0	88,9	45,9	18,5	6,5	3,4	2,3	5,8	17,7	35,0	550,1
São Bento do Uma	25,3	32,2	92,6	42,9	73,1	71,0	4,3	6,8	6,5	9,0	2,2	18,0	383,9
São João do Egito	99,3	129,9	173,9	172,8	78,5	78,8	31,1	21,2	1,7	25,8	4,5	54,3	871,6
Serra Talhada	96,3	134,6	130,0	77,9	39,8	34,5	23,8	9,7	2,8	2,8	8,7	43,6	604,5
Sertânia	42,1	122,5	98,2	204,3	64,5	48,3	15,9	13,0	7,4	18,0	11,3	25,5	670,8
Vertentes	0,0	70,6	63,1	72,3	86,1	121,1	49,5	42,1	11,5	7,1	4,5	21,1	548,9
Vitória de Santo Antão	49,8	66,6	63,8	103,9	103,8	176,1	75,1	102,7	29,8	11,8	15,3	54,8	853,5
Média	61,5	94,2	109,2	111,0	105,7	125,3	76,1	61,5	18,9	14,1	14,4	34,8	826,7
DP	36,7	37,8	37,3	51,0	82,8	122,6	89,4	70,7	21,2	8,7	10,3	22,6	409,0
CV (%)	59,6	40,1	34,1	46,0	78,3	97,8	117,4	115,0	112,2	61,9	71,6	64,7	49,5
Máx.	145,5	154,5	173,9	230,8	327,8	381,4	307,2	214,9	61,1	29,2	34,1	99,9	1.715,7
Mín.	0,0	19,4	31,9	17,4	5,8	6,5	4,3	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	170,7

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Máx.: valor máximo. Mín.: valor mínimo

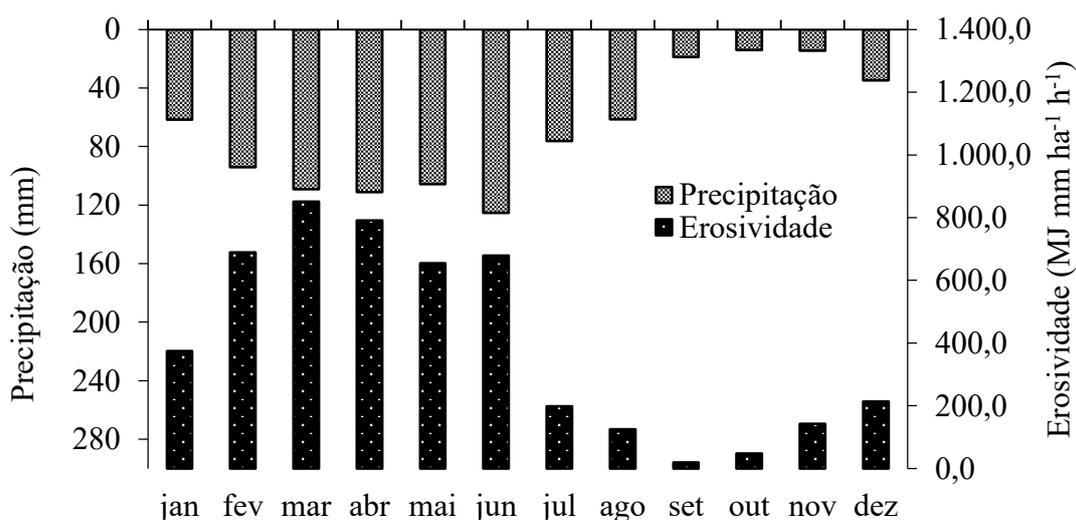
**Tabela 8** - Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade EI<sub>30</sub> (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) nos municípios avaliados do Estado de Pernambuco, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão.

<b>Município</b>	<b>jan</b>	<b>fev</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>	<b>Total</b>
Araripina	970,7	1.497,1	1.014,1	525,9	133,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	268,4	180,2	4.590,2
Arcoverde	394,2	645,4	654,1	626,6	251,1	144,0	58,2	10,8	5,3	70,3	3,0	141,5	3.004,5
Barreiros	358,8	792,7	901,4	726,6	1.858,4	1.290,9	937,4	476,1	88,3	19,0	16,3	88,1	7.554,0
Belém de São Francisco	221,3	573,4	1.586,1	536,4	255,1	6,8	3,2	0,0	0,0	7,3	0,0	387,1	3.576,8
Brejão	295,4	270,2	504,1	238,3	352,1	1.494,9	83,9	58,4	20,2	0,0	34,3	37,5	3.389,4
Carpina	506,0	567,3	1.275,9	713,5	725,2	1.322,9	505,9	709,3	74,7	68,2	130,2	144,0	6.743,2
Caruaru	334,1	708,2	492,8	424,4	422,2	335,0	78,3	43,0	12,9	6,9	3,8	48,3	2.909,8
Floresta	103,9	1.027,9	542,7	788,4	224,2	2,7	4,1	0,0	0,0	0,0	104,0	566,5	3.364,4
Goiana	144,6	206,3	565,6	659,6	637,1	845,8	360,4	213,1	74,1	0,0	82,8	113,8	3.903,3
Ibimirim	172,5	987,1	1.581,4	930,6	292,2	26,8	31,0	26,6	31,2	190,8	71,4	252,6	4.594,3
Ipojuca	0,0	76,8	529,2	16.336,0	9.868,1	7.045,7	516,3	577,0	12,0	19,8	36,4	540,1	10.580,0
Olinda	85,0	825,1	531,0	1.611,6	853,2	1.315,6	1.119,6	335,4	63,8	16,3	152,6	0,0	6.909,3
Ouricuri	1.208,0	933,2	1.561,3	1.221,1	275,3	25,0	0,0	0,0	2,9	61,5	568,1	578,0	6.434,5
Palmares	294,0	254,2	493,4	856,9	663,0	825,4	342,9	188,1	45,8	27,2	47,4	22,1	4.060,2
Pesqueira	168,4	438,0	164,4	80,4	21,5	12,5	8,4	4,6	0,0	24,5	0,0	0,0	922,6
Petrolina	360,1	1.143,4	601,1	604,3	58,8	1,5	0,0	0,0	0,0	90,8	220,1	136,8	3.216,7
Recife	130,0	792,6	2.450,0	1.666,9	3.625,1	1.672,4	747,1	243,2	25,9	54,5	127,6	87,2	11.622,5
Salgueiro	741,2	883,5	675,0	1.049,0	217,4	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1	29,7	457,3	4.079,1
Santa Maria da Boa Vista	825,4	587,0	685,9	904,6	280,7	60,9	5,4	0,0	0,0	7,2	42,8	124,5	3.524,6
São Bento do Uma	152,7	311,2	1.646,7	229,9	545,3	263,4	4,9	3,5	9,6	56,2	1.326,9	148,6	4.699,0
São João do Egito	943,1	1.118,0	1.513,6	1.735,8	334,4	401,6	90,7	39,2	0,0	186,4	20,9	610,7	6.994,2
Serra Talhada	539,3	990,7	790,5	388,1	83,2	56,4	99,2	2,3	0,0	1,8	10,0	199,4	3.161,0
Sertânia	253,1	921,3	507,9	1.929,8	285,5	731,5	0,0	14,2	5,9	223,4	181,8	63,1	5.117,5
Vertentes	0,0	423,5	194,5	369,7	293,1	322,2	56,9	48,2	3,9	30,6	1,4	125,0	1.868,8
Vitória de Santo Antão	157,0	264,4	189,5	435,9	282,3	760,4	159,7	120,6	10,8	0,0	97,9	307,7	2.786,2
Média	374,4	689,5	850,6	790,5	654,4	678,9	198,0	125,3	19,5	47,5	142,3	213,6	4.784,2
DP	325,3	353,5	584,4	497,8	934,0	1.064,4	312,4	200,8	27,7	63,4	275,9	193,2	2.517,9
CV (%)	86,9	51,3	68,7	63,0	142,7	156,8	157,8	160,4	144,0	133,3	193,8	90,8	52,6
Máx.	1.208,0	1.497,1	2.450,0	1.929,8	3.625,1	5.054,6	1.119,6	709,3	88,3	223,4	1.326,9	610,7	11.622,5
Mín.	0,0	76,8	140,8	80,4	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	922,6

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Máx.: valor máximo. Mín.: valor mínimo

Com relação a distribuição média mensal, constata-se a ocorrência dos maiores valores médios de chuva e erosividade no período compreendido entre os meses de fevereiro a junho, representando 66,0% e 76,6%, respectivamente, (Tabela 6 e 7) do total anual. Resultado semelhante foi constatado por Santos & Montenegro (2012), avaliando o potencial no Agreste Central pernambucano, evidenciado pela irregularidade da distribuição espaço-temporal pluviométrica no Estado de Pernambuco.

O potencial erosivo está diretamente relacionado com o volume pluviométrico no Estado de Pernambuco, fato que pode ser evidenciado pelos resultados ilustrados na Figura 3. Nota-se que a partir do mês de janeiro há um alto volume precipitado e, conseqüentemente, o índice de erosividade  $EI_{30}$  tem altura proporcional a precipitação, característica que se estende, em média, por todo o ano. A partir do mês de julho há um decréscimo na precipitação e, por conseguinte, no potencial erosivo. A dependência da erosividade em relação ao volume precipitado também foi constatada por Amaral et al. (2014) e Arai et al. (2010).



**Figura 3** - Precipitação e Índice de Erosividade médio anual distribuídos para os municípios do Estado de Pernambuco.

O Nordeste possui três posicionamentos do período chuvoso distintos: na parte Norte, há maiores ocorrências de chuvas entre os meses de março e maio; no Sul e Sudeste, a chuva ocorre de dezembro a fevereiro e no Leste, chove entre maio e julho (MENEGHETTI & OLIVEIRA, 2009). Barbosa et al. (2014) observaram o mesmo comportamento avaliando as chuvas no Nordeste do Brasil, os autores ressaltaram que a distribuição espacial das chuvas não é uniforme sobre o Nordeste, apresentando meses nos quais a chuva se concentram em áreas específicas.

Fato que explica a alta variabilidade sazonal da precipitação no Estado de Pernambuco devido o mesmo apresentar área total de 98.312 km<sup>2</sup> e forma alongada, situando-se em grande parte da Região nordeste brasileira. Tal característica pode influir diretamente no regime pluviométrico ao longo do Estado, pois o mesmo apresenta grande heterogeneidade fisiográfica, sendo preferível a elaboração de estudos voltados para mesorregiões do Estado. Jacomine et al. (1973) evidenciam a existência de dois climas distintos no Estado de Pernambuco: clima úmido e clima semiárido. Com isso, a ocorrência da heterogeneidade na distribuição espaço-temporal pluviométrica e consecutivamente do EI<sub>30</sub>.

Visualizando-se a Figura 3, pode-se afirmar que o mês de março é o responsável pela maior média do potencial erosivo durante todo o ano com 17,8%, ou seja, é o mês de maior susceptibilidade a possíveis perdas de solo por erosão hídrica ocasionadas pelas características das chuvas no Estado de Pernambuco. Tal fato que pode ser elucidado pela ocorrência de chuvas de maiores intensidades durante o mês de março que, como consequência do impacto direto das gotas na superfície do solo provocados pelas chuvas, aumentam a desfragmentação das partículas da superfície do solo e, conseqüentemente, iniciando-se o processo erosivo.

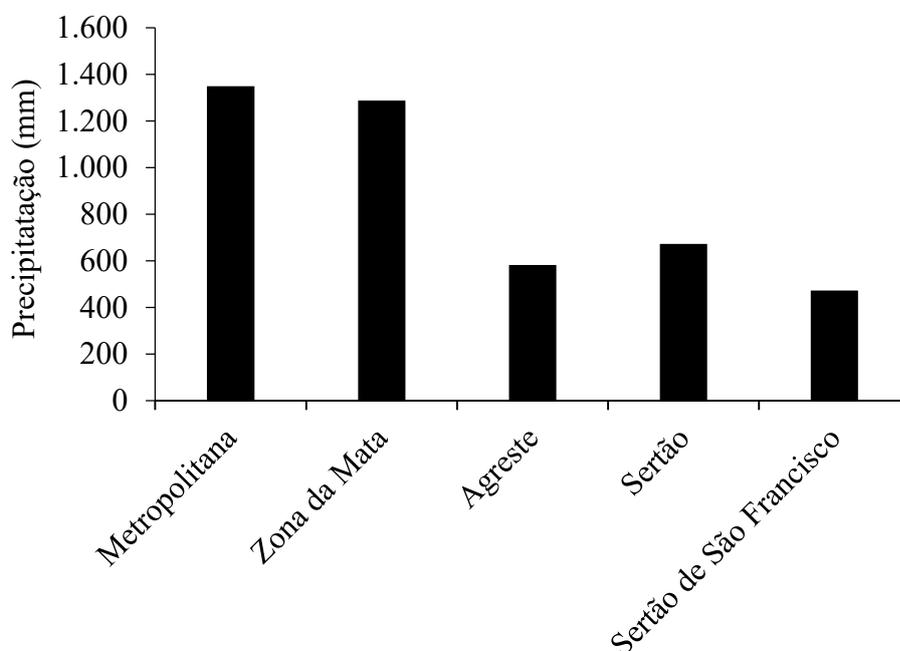
Panagos et al. (2016), avaliando o potencial erosivo na Grécia, observaram que o mês de dezembro foi o mês de maior potencial erosivo. Amaral et al. (2014) também encontraram o maior Índice de Erosividade médio no mês de março, no Estado da Paraíba. Já em São Gabriel – RS, Eltz et al. (2013) registraram o maior Índice no mês de julho.

Os menores valores do Índice de Erosividade ocorreram, em média, para o mês de setembro, com média de 0,4% do Índice anual médio (Figura 3). Panagos et al. (2016), na Europa, registraram o mês de agosto como o de menor susceptibilidade a erosão. Amaral et al. (2014) encontraram a menor média do EI<sub>30</sub> para o mês de outubro e ELTZ et al. (2013) encontraram o menor Índice de Erosividade médio no mês de dezembro.

A variação pluviométrica e do Índice de Erosividade no Estado de Pernambuco vai ao encontro de outros trabalhos realizados por diversos autores, com objetivos semelhantes, na Região semiárida brasileira, como: Duarte et al. (2015) no município de Ipojuca, Pernambuco; Medeiros et al. (2015) no Estado da Paraíba; Santos & Aquino

(2015) nos municípios de Castelo e Juazeiro, Piauí. Os autores ressaltam que, em quase toda Região Nordeste do Brasil, ocorre o período chuvoso entre os meses de março a julho, representado por chuvas de altas intensidade e curta duração, e o restante do ano caracterizado pela ocorrência de um longo período de estiagem.

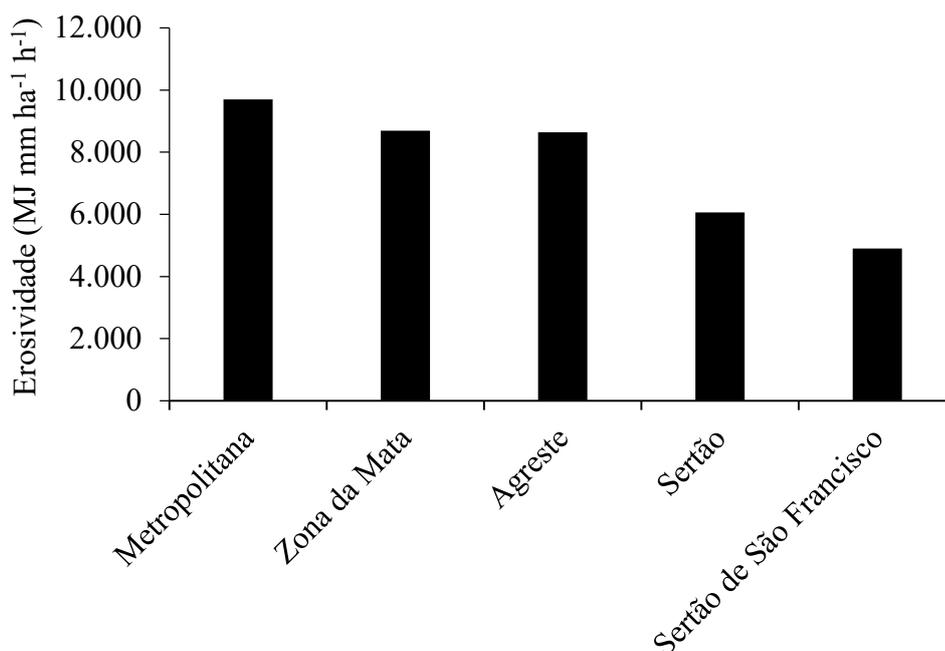
A Figura 4 ilustra a precipitação anual média das regiões para o Estado de Pernambuco. Nota-se que a região Metropolitana do Estado apresentou o maior resultado em relação as demais, foi computado média equivalente a 1.349 mm anuais. Fato que se explica pela proximidade ao Oceano Atlântico, sendo diretamente influenciado. Nóbrega & Santiago (2014) e Gianniniet al. (2004) ressaltam a importância do Atlântico na variabilidade da precipitação no Nordeste Brasileiro, atuando de forma mais intensa próximo ao litoral.



**Figura 4** - Precipitação média anual para as regiões do Estado de Pernambuco.

A região do Sertão de São Francisco apresentou a menor média de precipitação anual (Figura 4), com apenas 473 mm. A região é a que mais se distancia do litoral Pernambuco e está totalmente inserida na região semiárida do Nordeste brasileiro. Moscati e Gan (2007) observaram valores de precipitação no Semiárido brasileiro que variaram entre 400 e 800 mm. Portanto, a região do Sertão de São Francisco apresentou média anual de chuva bem próximo ao mínimo registrado em toda região do Semiárido brasileiro.

A erosividade média anual nas regiões do Estado de Pernambuco variaram diretamente com as características das chuvas (Figura 5). Os resultados constataram valores médios decrescente de erosividade no sentido Leste-Oeste, ou seja, quanto maior a proximidade do Oceano Atlântico, maiores são os valores médio do Índice de Erosividade. Os resultados vão decrescendo de acordo com o aumento da distância ao Litoral pernambucano.

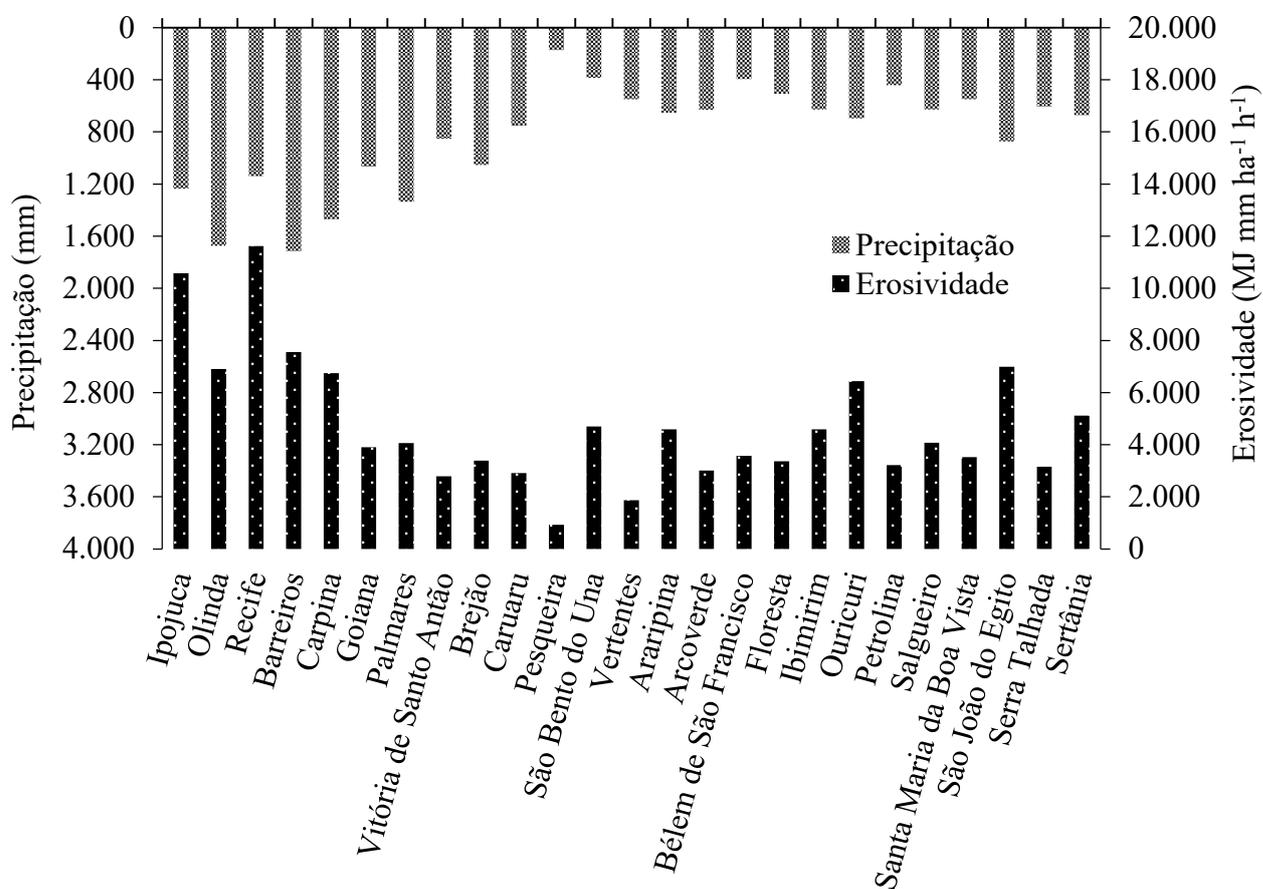


**Figura 5** - Índice de Erosividade médio anual para as regiões do Estado de Pernambuco.

Percebe-se que, de acordo com a Figura 5, a região Metropolitana apresentou a maior média anual do Índice de Erosividade e a região do Sertão de São Francisco a menor média com 9.740 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e 4.904 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. De acordo com Carvalho (2008), a região Metropolitana apresenta risco de erosividade forte e o Sertão de São Francisco foi constatado risco de erosividade moderada.

O conhecimento de tais resultados é de importância primária para a manutenção do equilíbrio ambiental de cada região, pois a retirada da cobertura vegetal, juntamente com outros fatores característicos de dada região, como: clima, relevo, solo, etc., podem acarretar problemas de altas magnitudes e com difícil recuperação.

Na Figura 6 são apresentados os valores médios de precipitação pluviométrica e da erosividade das estações analisadas no Estado de Pernambuco. Os resultados exaltam a alta variação, entre os municípios do Estado, citados anteriormente.



**Figura 6** - Precipitação e Índice de Erosividade médio para os municípios estudados de Pernambuco.

Observando-se a Figura 6 pode-se inferir que, de acordo com Carvalho (2008), 8% dos municípios apresentaram erosividade fraca, 60% foram classificados como erosividade moderada, 20% como erosividade moderada a forte, 4% como erosividade forte e 8% considerados como muito forte.

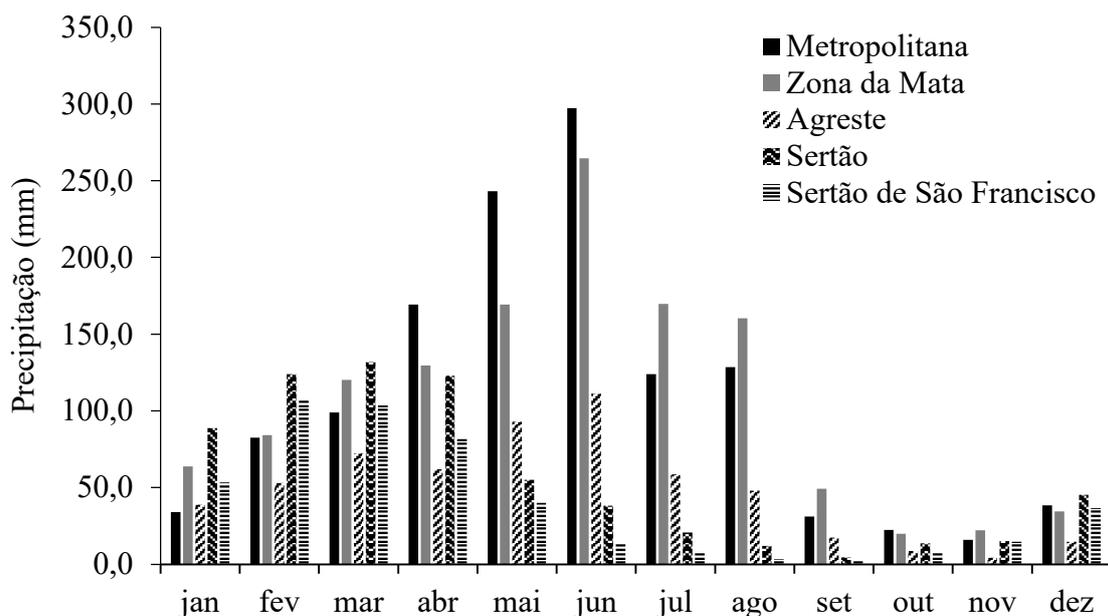
Diante do exposto, verifica-se a predominância da classe de erosividade moderada para o Estado de Pernambuco, que computou média de 4.784,2 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Trindade et al. (2016), estudando a variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil, estimaram valores interpolados de erosividade anual que variaram de 1.782 a 16.583 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. De acordo com Rufino (1986), levando em consideração valores de erosividade anual, resultados acima de 6.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> podem ser considerados críticos.

Valor esse foi superior ao encontrado por Cantalice et al. (2009), no Estado de Pernambuco. Os autores avaliaram 11 estações distribuídas ao longo de Pernambuco e obtiveram média de  $3.103,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Tal diferença deve-se, principalmente, pelo fato do presente estudo apresentar um maior número de estações pluviométricas em relação ao trabalho realizado por Cantalice et al. (2009). Amaral et al. (2014) encontraram Erosividade média de  $5.032,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para o Estado da Paraíba

Outros trabalhos resultaram em valores de Erosividade médios inferiores ao encontrado neste trabalho, como: Panagos et al. (2016), na Grécia, que encontraram média de  $807 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; Yang & Lu (2015) obtiveram média de  $794 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na China; Isikwue et al. (2015) encontraram valor médio de  $1.131,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  em Abuja - Nigéria e Bonilla & Vidal (2011) no Chile, computaram média de  $1.337,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

Os municípios de Recife e Ipojuca apresentaram erosividade muito forte. Os mesmos situam-se na Região do Litoral de Pernambuco, próximo ao Oceano Atlântico, onde ocorre altos somatórios pluviométricos no decorrer do ano. Em contrapartida, os municípios de Pesqueira e Vertentes foram classificados com erosividade fraca, apresentando baixos valores anuais médios de  $EI_{30}$ . Esses localizam-se na Região do Agreste, onde ocorre baixo volume de chuvas durante o ano.

A distribuição da precipitação média mensal teve comportamento diferente entre as regiões do Estado de Pernambuco. Constatou-se que as regiões Metropolitana, Zona da Mata e Agreste evidenciaram o mês de junho como o de maior média pluviométrica do ano, o mês de março teve a maior média pluviométrica para a região do Sertão e o mês de fevereiro como sendo o de maior altura pluviométrica média para a região do Sertão de São Francisco (Figura 7).

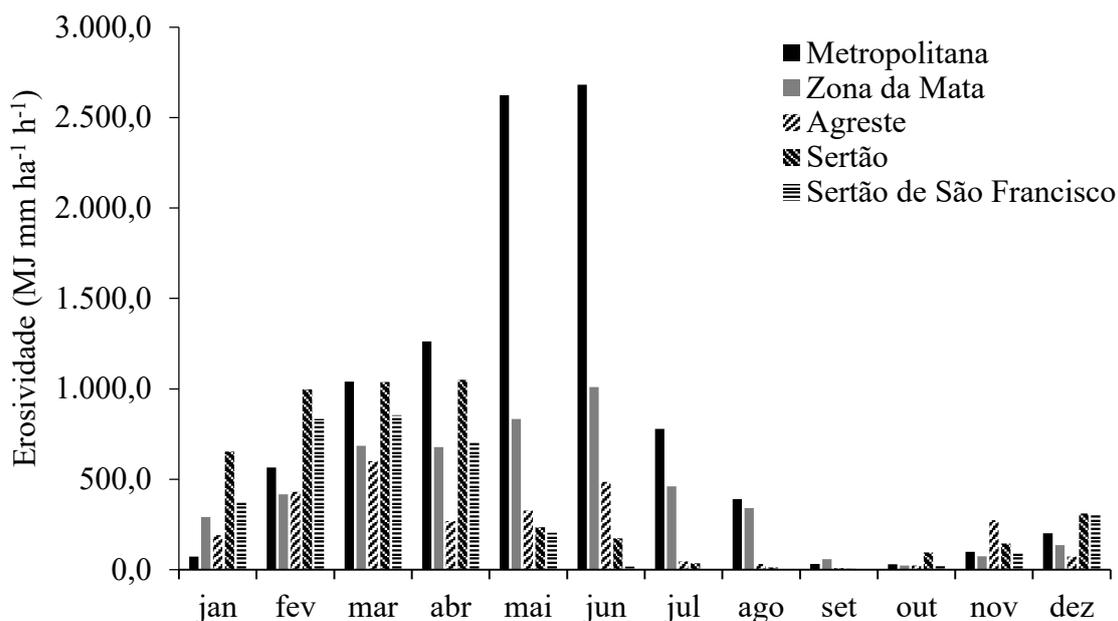


**Figura 7** - Precipitação média mensal para as regiões do Estado de Pernambuco.

As menores ocorrências de chuvas são registradas para os meses de outubro e novembro em Pernambuco, os dois meses somam apenas média de 3,3% do total anual. A baixa média pluviométrica evidenciada nesses meses também são constatadas por outros estudos realizados em diferentes locais do Nordeste brasileiro, como: Barbosa et al. (2014), avaliando dados de chuvas do Nordeste e Lira et al. (2006) em alguns municípios do Estado de Pernambuco.

A Figura 8 ilustra o Índice de Erosividade médio mensal para as diferentes regiões de Pernambuco. Nota-se que, em geral, as maiores médias são registradas para a região Metropolitana do Estado e as menores médias para a região do Agreste Pernambucano.

Na região Metropolitana destacam-se os meses de maio e junho, como sendo os de maiores riscos de erosividade, juntos totalizam aproximadamente 34% do potencial erosivo anual para a região (Figura 8). Fato que é justificado pela ocorrência de altos valores médios de precipitação para esses meses, ilustrados anteriormente na Figura 7. A mesma região computou apenas 1,2% do potencial erosivo anual, nos meses de setembro e outubro, constatando baixos riscos a erosão hídrica.



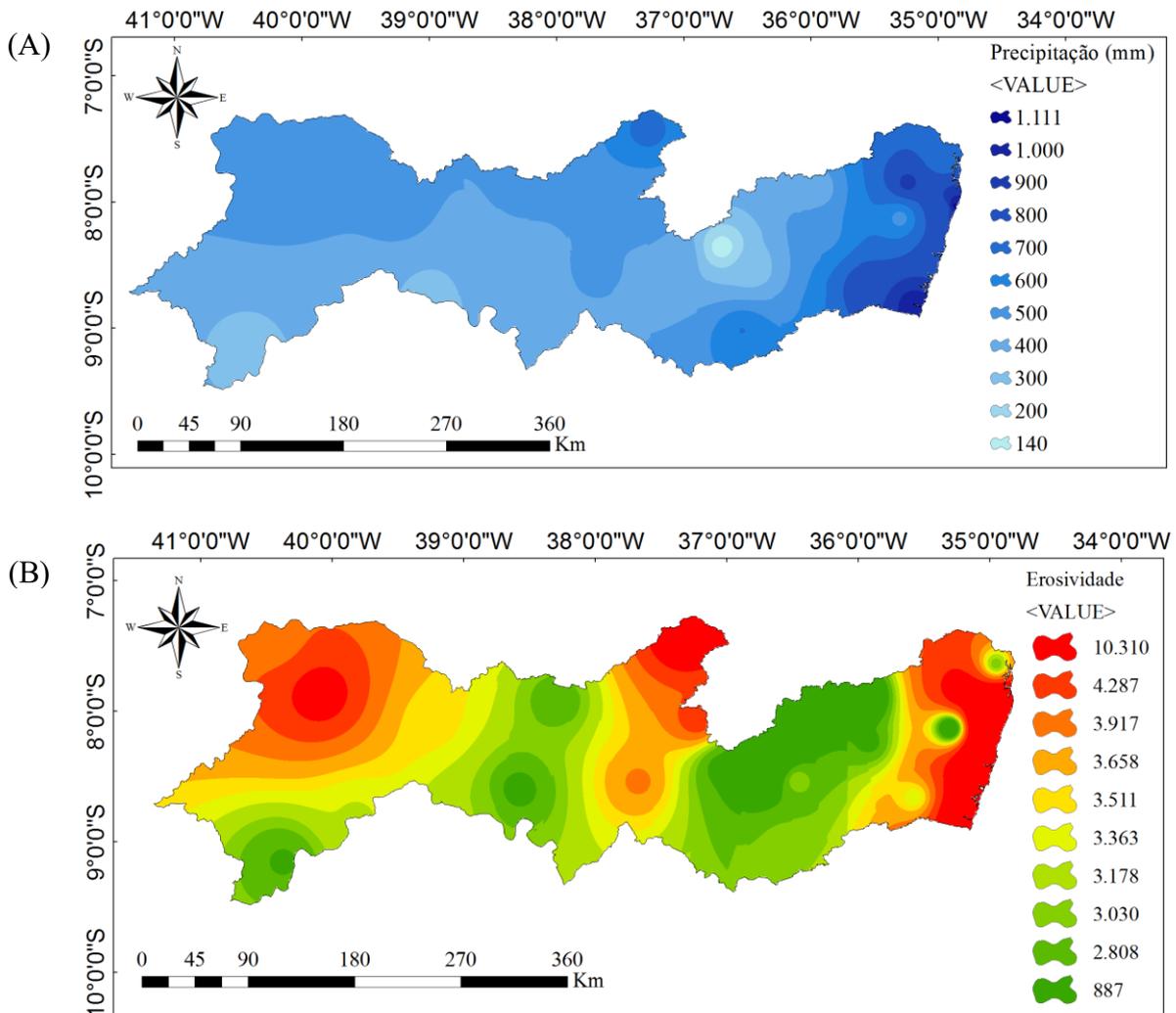
**Figura 8** - Índice de Erosividade médio mensal para as regiões do Estado de Pernambuco.

De acordo com Rufino (1986), que considera como críticos valores de erosividade mensal acima de  $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , a região metropolitana apresentou erosividade crítica em seis meses (fevereiro, março, abril, maio, junho e julho), a região da Zona da Mata computou quatros meses (março, abril, maio e junho), o Agreste pernambucano constatou apenas um (março) como valor crítico, o Sertão apresentou quatro meses (janeiro, fevereiro, março e abril) e o Sertão de São Francisco registrou três meses com sendo de erosividade crítica (fevereiro, março e abril).

## 5.2 Espacialização da precipitação e do $EI_{30}$ no Estado de Pernambuco nos períodos chuvoso e seco.

Na figura 9 apresenta-se a espacialização da precipitação média e do Índice de Erosividade médio ( $EI_{30}$ ) para o Estado de Pernambuco durante o primeiro semestre do ano. Verifica-se que houve, de acordo com a Figura 9-A, tendência de aumento da precipitação para as regiões do Estado localizadas próximas ao Oceano Atlântico. Os resultados mostram valor mínimo de precipitação média para o primeiro semestre equivalente a 141 mm e máximo de 1.111 mm.

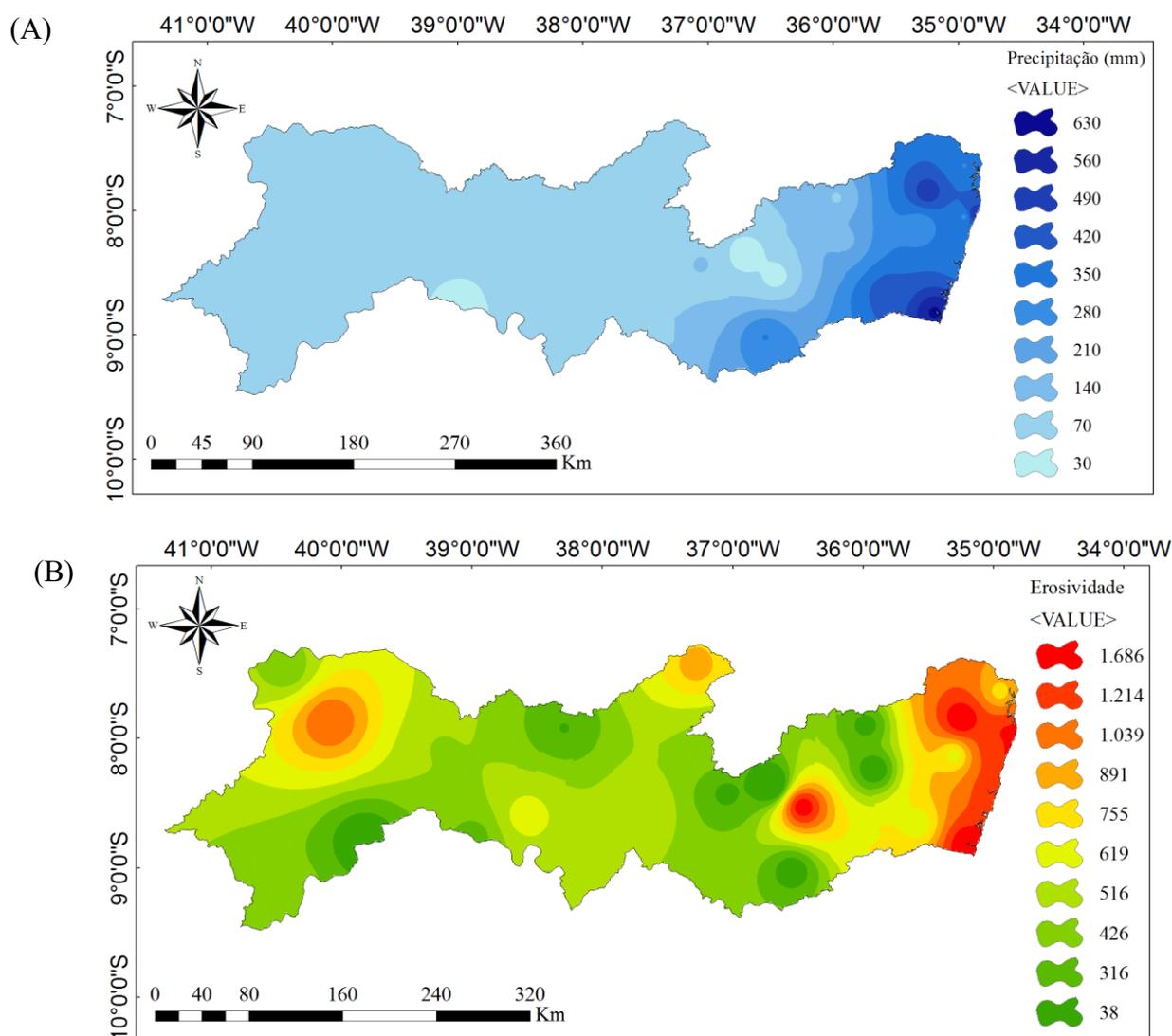
As menores médias pluviométricas foram registradas na Região do Sertão e Agreste pernambucano. Tendo em vista esses resultados, pode-se pressupor que essas variações podem estar associadas em parte a fatores de circulação atmosférica que nas regiões são influenciadas pelo relevo.



**Figura 9** - Distribuição espacial da precipitação média em mm (A) e do índice e erosividade  $EI_{30}$  média em  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$  (B) no primeiro semestre anual para o estado de Pernambuco.

De acordo com a Figura 9-B, o Índice de Erosividade médio apresentou valor mínimo de  $887\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ , no município de Pesqueira, e máximo de  $10.310\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ , no município de Recife. O  $EI_{30}$  comportou-se de forma diretamente proporcional as características das chuvas. Pode-se verificar que as regiões onde ocorreram as maiores alturas pluviométricas no Estado também computaram os maiores valores de erosividade.

A figura 10 apresenta a espacialização da precipitação média e do Índice de Erosividade médio ( $EI_{30}$ ) para o Estado de Pernambuco durante o segundo semestre do ano. Verifica-se diminuição expressiva no volume de chuva no Estado e do Índice de Erosividade durante o segundo semestre do ano.



**Figura 10** - Distribuição espacial da precipitação média em mm (A) e do índice de erosividade  $EI_{30}$  média em  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$  (B) no segundo semestre anual para o estado de Pernambuco.

Pode-se observa na Figura 10-A que o volume de precipitação médio teve valor máximo de 640 mm no Estado, diminuição de 27,8% do valor máximo de chuva obtido durante o primeiro semestre do ano para Pernambuco. Com relação à distribuição das chuvas, pode-se constatar o mesmo comportamento do primeiro semestre, onde a ocorrência dos maiores valores é registrada nas regiões próximas ao Oceano Atlântico e

os menores valores são computados para as regiões do Sertão e do Agreste de Pernambuco.

Como já elucidado anteriormente na Figura 3, o volume médio de chuvas para o segundo semestre do ano para o Estado de Pernambuco é inferior ao primeiro. Constatase, na Figura 10-A que o menor valor médio de precipitação foi 30 mm, característica que, teoricamente, influencia na ocorrência de baixos valores de erosividade, com isso, a diminuição dos riscos de perdas de solo ocasionados pela ação das chuvas.

A distribuição da erosividade no segundo semestre do ano comportou-se de forma diretamente proporcional a distribuição da chuva, porém com magnitude inferior ao registrado no primeiro semestre. O valor máximo de erosividade média registrado foi equivalente a  $1.686 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , ou seja, o valor máximo registrado foi 83,6% inferior ao máximo computado no primeiro semestre. Resultado que evidencia que o segundo semestre do ano propicia menores riscos de perdas ocasionadas devido as características das chuvas no Estado (Figura 10-B).

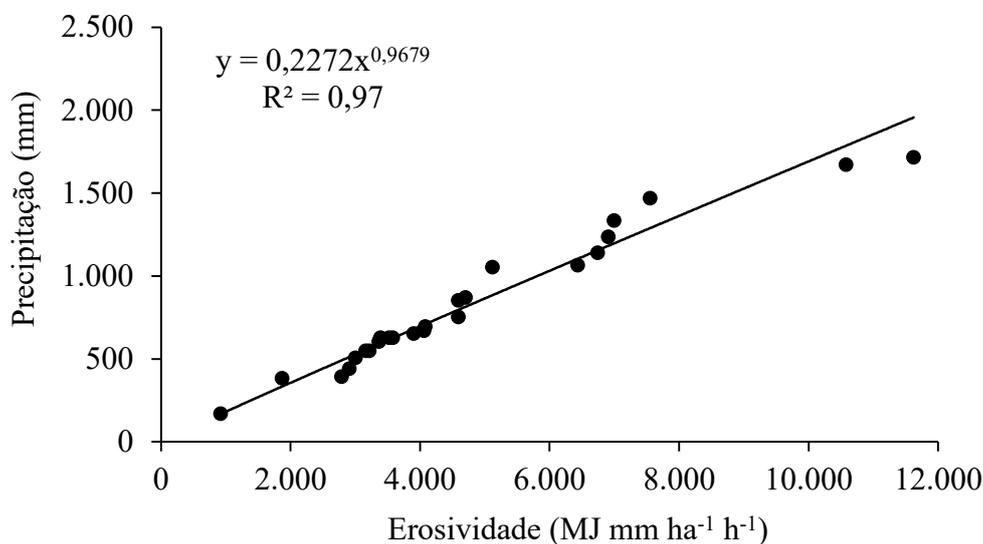
A mesma proporcionalidade, da chuva em relação a erosividade, não foi evidenciada nos municípios de São Bento do Una e Ouricuri. Nota-se na Figura 10-B, que mesmo com a ocorrência de baixo volume pluviométrico, os municípios não apresentaram baixos valores de erosividade. Fato que pode ser explicado, possivelmente, pela ocorrência de poucos eventos pluviométricos, porém, de alta intensidades provocando a elevação do Índice de Erosividade nos municípios.

### **5.3 Correlação do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) com a precipitação pluviométrica.**

Na Figura 11 é apresentada a correlação existente entre o Índice de Erosividade  $EI_{30}$  e a precipitação para os municípios de Pernambuco. A linha de tendência para o ajuste dos pontos foi do tipo potência, com coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,97, apresentando elevada correlação. Fato que reflete a alta dependência do Índice de Erosividade em relação a precipitação, cujo valores são diretamente proporcionais, ou seja, locais onde a precipitação apresenta altos volumes terá, possivelmente, altos valores de erosividade.

Referido resultado corrobora com os obtidos por vários autores que encontraram correlações significativas entre o índice de erosividade  $EI_{30}$  e a precipitação. Dentre

eles, pode-se citar: Moreno et al. (2014), que obtiveram correlação significativa ( $R^2 = 0,92$ ) na Ilha de Santiago, Cabo Verde; Amaral et al. (2014), correlação potencial significativa ( $R^2 = 0,90$ ) para o Estado da Paraíba e Almeida et al. (2011) encontraram correlação significativa ( $R^2 = 91$ ) no Estado do Mato Grosso.



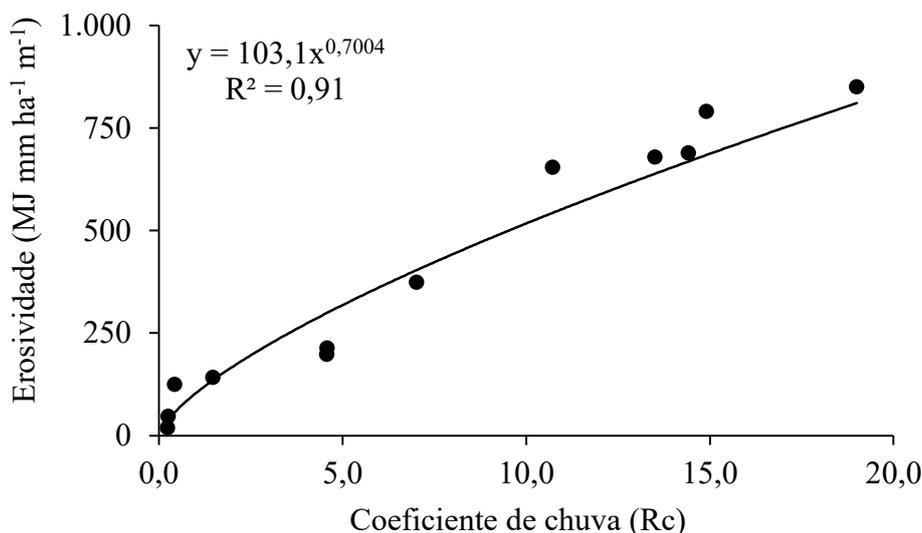
**Figura 11** - Correlação entre o índice de erosividade médio e a precipitação dos municípios de Pernambuco.

No entanto, trabalhos realizados por outros autores obtiveram baixas correlações, como: Isikwue et al. (2015) que encontraram coeficiente de correlação ( $R^2$ ) igual a 0,50 em Abuja, Nigéria; Santos & Montenegro (2012) com  $R^2$  igual a 0,71 para a Região do Agreste pernambucano e Oliveira et al. (2012), revisando estudos de erosividade no Brasil, com  $R^2$  igual a 0,77.

#### 5.4 Correlação do Índice de Erosividade ( $EI_{30}$ ) com o Coeficiente da chuva ( $R_c$ ).

Para o índice de erosividade e o Coeficiente de chuva, a linha de tendência utilizada foi a potencial, apresentando boa correlação entre os índices com  $R^2$  igual a 0,91 (Figura 12). O Coeficiente de chuva é uma importante ferramenta utilizada em locais com falhas de estações em locais distintos pois, o mesmo, relaciona a média histórica anual e mensal de todas as estações. A boa correlação entre o Coeficiente de chuva e a erosividade propicia maior facilidade de obtenção de dados em locais não amostrados, consecutivamente, auxiliando a realização de estudos em grandes áreas.

Resultado que se assemelha ao encontrado por Almeida et al. (2011) com  $R^2 = 0,91$  em Cuiabá, Mato Grosso. Porém, esse resultado foi inferior ao  $R^2 = 0,99$  encontrados por Rosa et al. (2016), em Rondon no Pará, Machado et al. (2014) com  $R^2 = 0,97$  para o Bioma Pantanal e Amaral et al. (2014) na Paraíba, que encontraram  $R^2 = 0,96$ , considerado como de alta correlação.

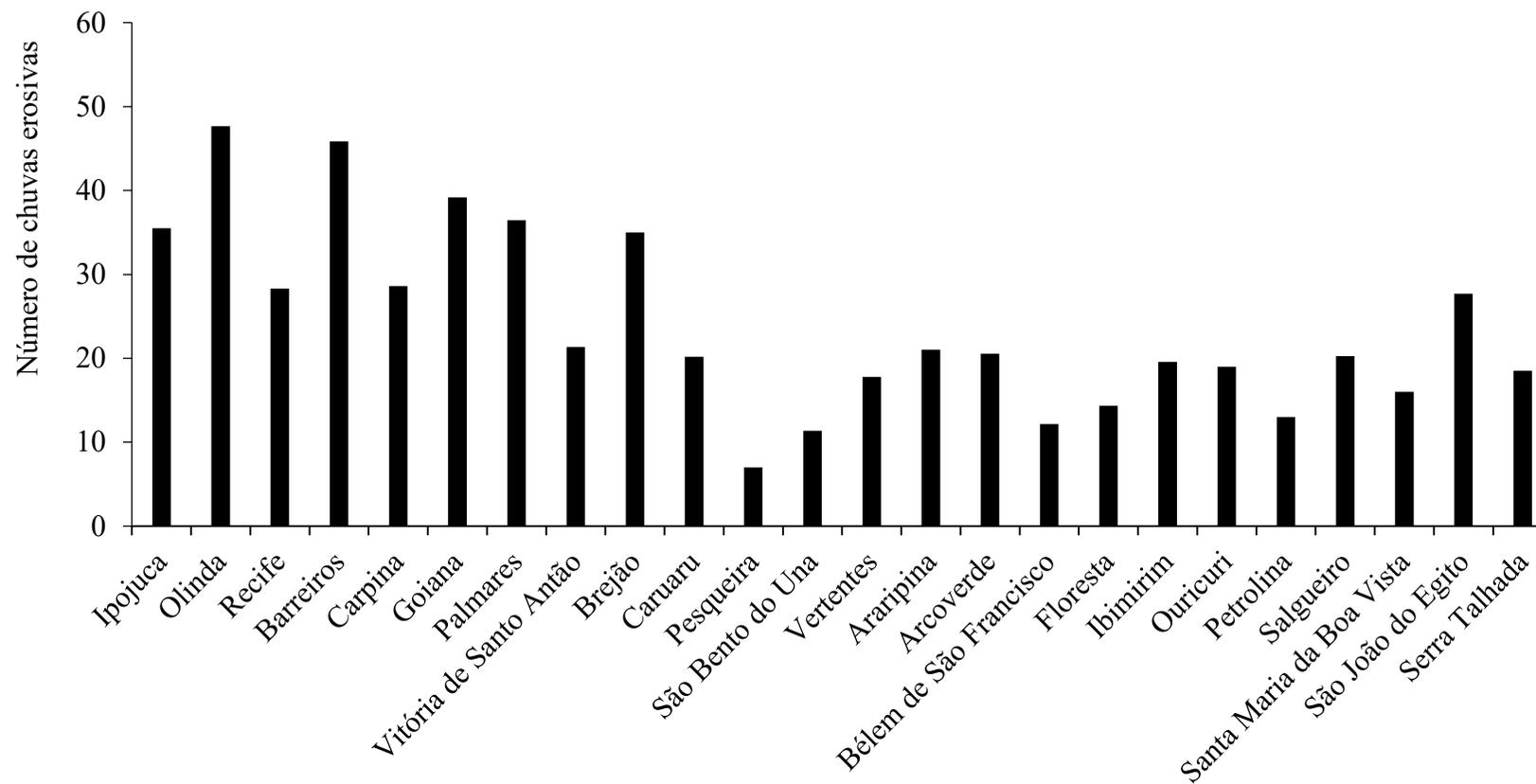


**Figura 12** - Correlação entre o coeficiente de chuva e o índice de erosividade médio dos municípios de Pernambuco.

Foi encontrada baixa correlação nos resultados obtidos por Valvassori & Back (2014) que, de acordo com os autores, o ajuste potencial da curva de correlação apresentou  $R^2$  de apenas 0,84 para os índices de erosividade e coeficiente de chuva em Urussanga, Santa Catarina. Santos & Montenegro (2012) também encontraram baixa correlação entre o índice de erosividade e coeficiente de chuva para a região do Agreste pernambucano, os mesmos encontraram  $R^2$  igual a 0,71.

### 5.5 Classificação dos padrões hidrológicos dos municípios de Pernambuco.

Na Figura 13 apresenta-se o total médio de eventos erosivos que ocorrem durante o ano nos municípios avaliados de Pernambuco. A computação dos resultados foi referente somente a chuvas individuais e erosivas, ou seja, chuvas com altura pluviométrica superior a 10 mm e com separação entre eventos de no mínimo 6 horas.

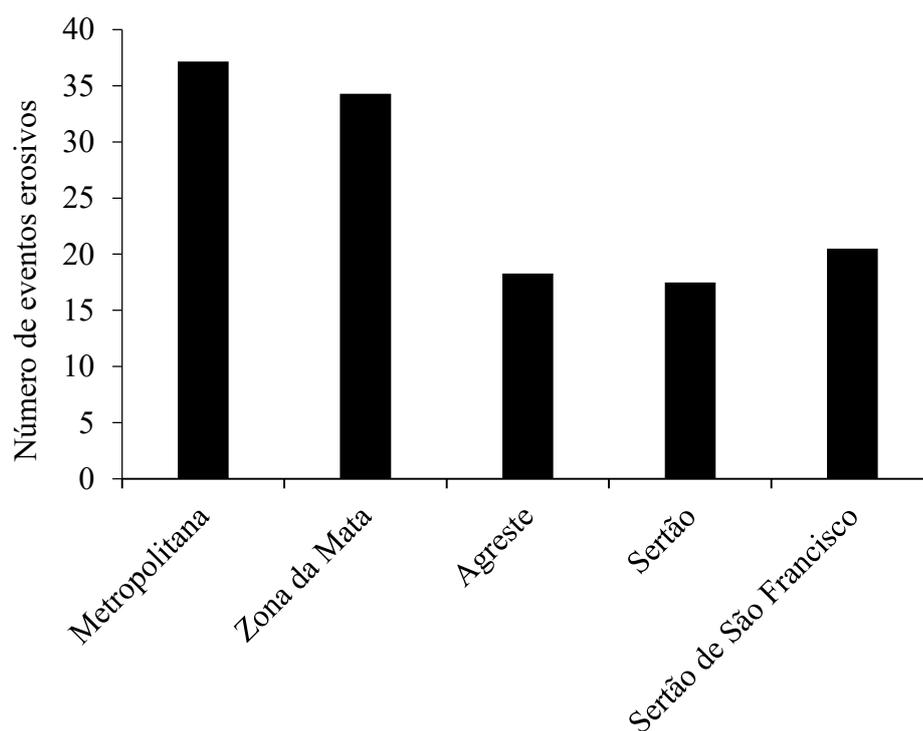


**Figura 13** - Número médio de chuvas erosivas por ano nos municípios de Pernambuco nos períodos amostrados.

Observa-se que os municípios de Barreiros e Olinda se destacam dos demais com maior número médio de eventos erosivos durante o ano com aproximadamente 46 e 48, respectivamente. O município de Barreiros destaca-se, apesar de situado na Região da Zona da Mata, por apresentar elevado número de eventos erosivos. Este fato deve-se, principalmente, pelo o município localizar-se próximo ao litoral pernambucano, onde comumente ocorrem altos volumes de chuvas ao longo do ano.

O município de Pesqueira, situado na Região do Agreste de Pernambuco, apresentou a menor média de eventos erosivos durante o ano para todo o Estado, com apenas média de sete eventos anuais. O mesmo apresenta baixos volumes de chuvas no decorrer do ano e com distribuição irregular.

Avaliando o número médio de eventos erosivos anuais por região, constata-se que a região Metropolitana apresentou o maior número, com aproximadamente 37 eventos anuais com potencial erosivo (Figura 14).



**Figura 14** - Número médio de chuvas erosivas por ano nas regiões de Pernambuco nos períodos amostrados.

A região do Sertão foi responsável por apresentar a menor média anual para todo o Estado, a mesma computou aproximadamente 17 eventos erosivos anuais. O menor

número de eventos erosivos anuais condiciona, teoricamente, menores chances de perdas de solo ocasionadas pela ação direta do impacto da gota da chuva.

Na Figura 15 são apresentados a distribuição do padrão de chuva nos municípios. O padrão de maior ocorrência é o avançado, seguido bem próximo do intermediário e, com menor ocorrência, o atrasado com 42%, 38%, e 20%, respectivamente.

Observando-se a figura 15, infere-se que há predominância na ocorrência do padrão avançado, refletindo em menores riscos de perdas de solo por ocasião da precipitação. Tal fato é elucidado pela ocorrência de baixo teor de umidade antecedente à ocorrência do pico de chuva, com isso (MONTENEGRO et al., 2013; ELTZ et al., 2013).

O mesmo comportamento foi observado por Valvassori & Back (2014) em Urussanga – SC, Aquino et al. (2013) na região do Estado de Minas Gerais, Eltz et al. (2013) em São Gabriel – RS e Santos & Montenegro (2012) no Agreste pernambucano.

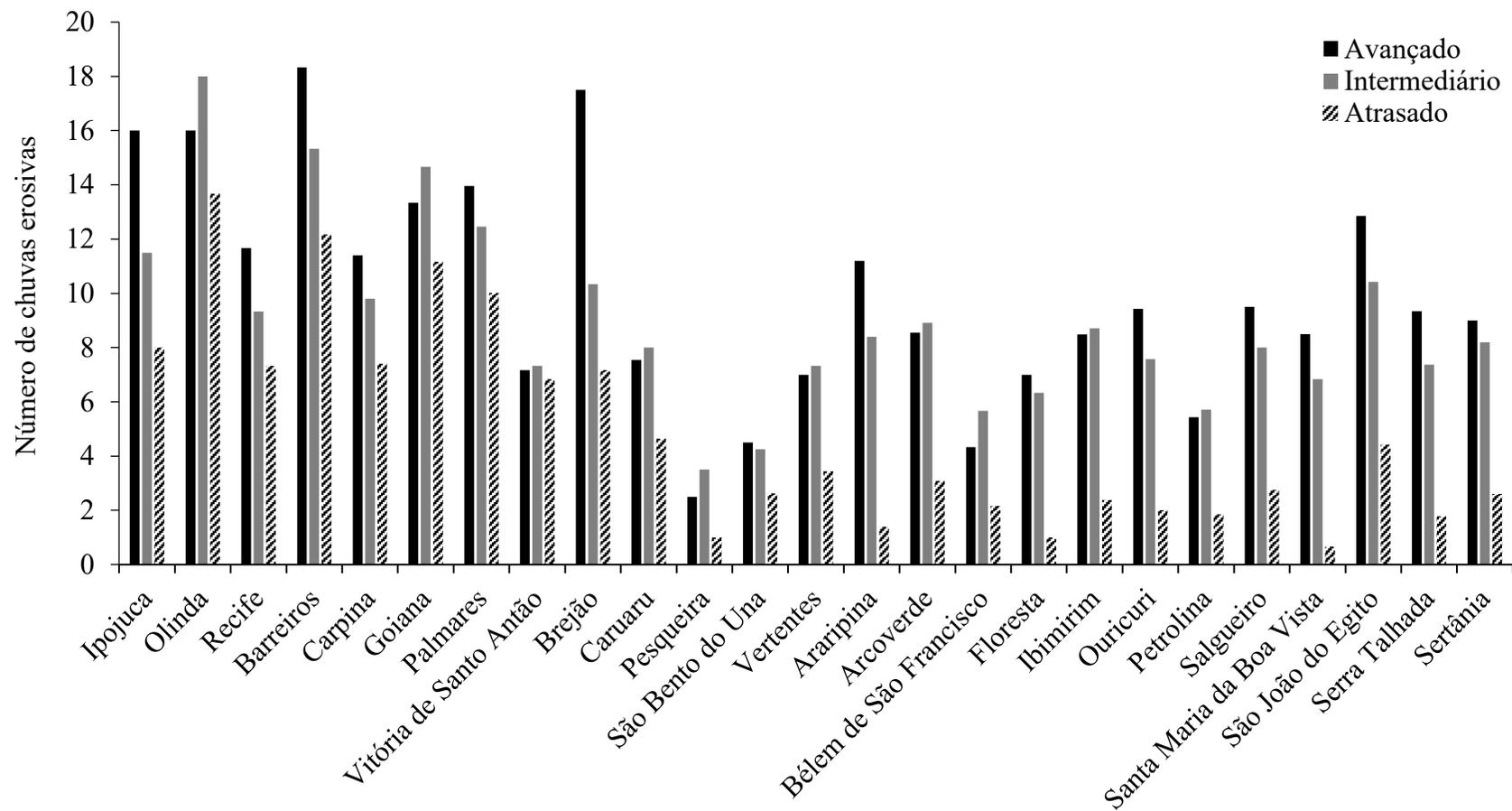


Figura 15 - Padrão hidrológico médio nos municípios de Pernambuco.

## 6. CONCLUSÕES

- O padrão hidrológico de maior ocorrência foi o avançado, seguido do intermediário e do atrasado com 42%, 38%, e 20%, respectivamente para todas as regiões;
- Os maiores valores de erosividade foram observados na região litorânea do Estado de Pernambuco;
- Foi encontrada correlação significativa entre erosividade e o coeficiente de chuva e com a precipitação;
- O primeiro semestre do ano é caracterizado pela ocorrência de chuvas com alto potencial erosivo, sendo o mês de março o de maior média durante o ano para todas as regiões.

## LITERATURA CITADA

Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), **Árvore do conhecimento – Território Mata Sul Pernambucana**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h6815n4.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h6815n4.html)>. Acesso: 10 de abril,2016.

ALBUQUERQUE, J.; Erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do Rio Apeú, região nordeste do Estado do Pará. Botucatu. **Tese de doutorado**, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 70p., 2013.

ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. 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.

ALMEIDA, R. T. S.; CASAROLI, D. Erosividade média e o calendário agrícola da microrregião sudoeste do Estado de Goiás. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de la Información Geográfica**, n.17, p.26-43, 2016.

AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J. F. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.7, n.4, p.691-701, 2014.

ANDRADE, M. C. O. Pernambuco e o trópico. **Revista do Instituto de Estudo Brasileiros**, n.45, p.11-20, 2007.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES). **Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental**, Universidade Federal do Espírito Santo. 150p. 2005.

AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; AVANZI, J. C. Soil Losses from typic cambisols and red latosol as related to three erosive rainfall patterns. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.213-220, 2013.

ARAI, F. K.; GONÇALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O. Espacialização da precipitação e erosividade na

Bacia Hidrográfica do rio Dourados – MS. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.922-931, 2010.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, p.162-169, 2008.

BARBOSA, N. F. M.; STOSIC, B. D.; STOSIC, T.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; MELO, J. S. P. Kernel smoothing dos dados de chuvas do Nordeste, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.742-747, 2014.

BARBOSA, N. F. M.; STOSIC, B. D.; STOSIC, T.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; MELO, J. S. P. Kernel smoothing dos dados de chuvas no Nordeste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.18, n.7, p.742-747, 2014.

BERTOL, I.; MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.1205-1213, 1993.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, p. 13-348 (355), 2012.

BONILLA, C. A.; VIDAL, K. L. Rainfall erosivity in Central Chile. **Journal of Hydrology**, v.410, p.126-133, 2011.

BRITO SALGUEIRO, J. H. P.; ANDRADE PINTO, E. J.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; SOUZA W. M. Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio Capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.5, p.1002-1014, 2014.

CABEDA, M. S. V. Computation of storm EI values. **West Lafayette**, Purdue University, p. 6, 1976.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FILGUEIRA, S. B.; BORGES INÁCIO, E. S.; OLIVEIRA SILVA, M. D. R. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco – 1ª Aproximação, **Revista Caatinga**, v.22, n.2, p.75-80, 2009.

CARVALHO, A. C. B.; RIBEIRO, C. B. M.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; SOBRINHO, F. S. Erosão Potencial Laminar Hídrica em um Latossolo Vermelho Amarelo sob Três Formas de Cultivo, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.1, 2014.

CARVALHO, D. F.; SOUZA, W. J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R.; GUERRA, J. G. M, Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.32, n.4, p.708-717, 2012.

CARVALHO, D. F; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo - RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2.ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2008. 599p.

CEMIN G.; PÉRICO E.; SCHNEIDER V. E.; FINOTTI A. R. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do arroio Marrecas, RS, Brasil. **Revista Scientia Plena**, v.9, n.1, 2013.

DUARTE, C. C.; NÓBREGA, R. S.; COUTINHO, R. Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuvas no município de Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia**, v.32, n.2, 2015.

EGLER, W. A. Contribuição ao Estudo da Caatinga Pernambucana. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n.4, p.577-591, 1951.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B.; AMORIM, R. S. S. 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.

ESLAMI H.; SALAJEGHEH, A.; AHMADI, H.; AYOUBI, S.; SARAVI, M. M. Evaluation of Spatial Variations of the Best Rainfall Erosivity Index for Iran, Khuzestan. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v.3, n.1, p.91-97, 2013.

EVANGELISTA, A. W. P.; VIEIRA, M. A.; SILVA, M. C.; SOUZA, J. L. M. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Viçosa (MG). **Revista Irriga**, v.17, n.4, p.456-468, 2012.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La erosión del suelo por El agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma, 1967. 207p.

FAO. La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma, n.81, p.207, 1967 (**Cuadernos de Fomento Agropecuario**).

FERNANDES, R. C.; CARVALHO, A. L. Espacialização da precipitação pluvial no município de Piranhas, Alagoas. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**, v.35, n.2, p.295-303, 2013.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, p.414-420, 1988.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.36, n.6, p.355-9, 1981.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. [S.l.]: **Association Hydrologic Int. Public**, 1956. v.38, 6 p.

GALETI, P. A. Conservação do solo: reflorestamento e clima. 2. Ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 230p, 1979.

GARCIA, J. F. C. Análise da precipitação no semi-árido Potiguar. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

GIANNINI A.; SARAVANAN R.; CHANG P. The preconditioning role of Tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, v.22, p.839-855, 2004.

HOFWEGEN, P. V.; SVENDSEN, M. A vision of water for food and rural development. (S.I): CEMAGREF; DVWK; FAO; HR Wallingford UK; ICID; ILRI; IPTRID; MCGILL University Canada; **Wageningen Agricultural University**; World Bank, p.77, 1999.

HORNER, W. W. & JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v.107, p.1039-1117, 1942.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320 p.

ISIKWUE, M. O.; OCHEME, J. E.; AHO, M. I. Evaluation of rainfall erosivity index for Abuja, Nigeria using Lombardi Method. **Nigerian Journal of Technology**, v.34, n.1, p.56-63, 2015.

IZIDIO, N. S. C.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; BATISTA, A. A. Intercepção da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agroambiente**. v.7, n.1, p.44-52, 2013.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; BURGOS, N. Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, SUDENE – Divisão de Pesquisa Pedológica. **Boletim Técnico, 26. Série Pedologia, 14**. v.1, 1973.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo**. 1º Edição. Planaltina – DF. Embrapa Cerrados. n.33.44p, 2001.

LIRA, V. M.; OLIVEIRA, F. M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco, **Engenharia Ambiental**, v.3, n.1, p.52-61, 2006.

LOMBARDI NETO, E. Rainfall erosivity distribution and relationship with soil loss in Capinas, Brasil. West Lafayette: **Purdue University**, 1977. 53p. Master's Dissertation.

MACHADO, D. O.; SOBRINHO, T. A.; RIBEIRO, A. S.; IDE, C. N.; OLIVEIRA, P. T. S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Artigo Técnico – Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.2, p.195-202, 2014.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. Caracterização climática da bacia do rio Parnaíba a partir da rede de estações de superfície automática do INMET (2001-2011), utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, v.2, n.5, p.1303-1316, 2012.

MEDEIROS, R. M.; MEGNA FRANCISCO, P. R.; SANTOS, D. Balanço hídrico e erosividade em função das mudanças climáticas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.4, 2015.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. 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, 2012.

MENEGHETTI, G. T.; OLIVEIRA, I. M D. Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no nordeste brasileiro. In. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14, 2009. Natal. Anais. p.1685-1689, 2009.

MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C.; Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**. v.16, p.167–177, 2012.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CD-Rom)*, p.1.334-1.342. Rio de Janeiro, 2000.

MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P.; ABRANTES, J. R. C. B. O.; SANTOS, T. E. M. Impacto f mulching on soil and water conservation in semiarid catchment: Simulated rainfall in the field and in the laboratory. **Die Bodenkultur**, v.64, p.79-85, 2013.

MORENO, R. F. S.; MANNAERTS, C. M.; JETTEN, V. Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde. **Geoderma**, v.217-218, p.74-82, 2014.

MOSCATI, M.C.L.; GAN, M.A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v.27, p.493-512, 2007.

MOURA, E. M; e MEDEIROS, V. M. A. Diferenças em microescala no regime de precipitação no Nordeste: litoral e semi-árido. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. João Pessoa. 2005.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, v.13, n.1, p.107-118, 2014.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review, **Catena**, n.100, p.139-147, 2012.

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece. **Catena**, v.137, p.161-172, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola 306. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Exatas, 2007.

PRUSKI, F. F. **Conservação de água e solos**. Brasília: ABEAS; Viçosa - MG: UFV/DEA, 1996. 88 p. (Curso de Tutoria a Distância. Curso de Gestão de Recursos Hídricos para o Desenvolvimento Sustentados de Projetos Hidroagrícolas. Módulo, 7).

RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; CREMON, C.; ROQUE, M. W. erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um Neossolo Quartzarênico em Cáceres (MT). **Global Science and Technology**. v. 04, n. 01, p. 38 – 50, 2011.

REIS, M. H.; GRIEBELER, N. P.; SARMENTO, P. H. L.; OLIVEIRA, L.F.C.; OLIVEIRA, J. M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no Estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. *Anais...*

RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.12, n.1, p.101-117, 2016.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.4, p.1006-1021, 2016.

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: Segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.279-281, 1986.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; PINTO, E. J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Tendência de índices pluviométricos na Bacia do rio Capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.7, n.5, p.1002-1014, 2014.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.78-89, 2011.

SANTOS, F. A.; AQUINO C. M. F. Erosividade das chuvas (R) nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no Estado do Piauí (Brasil). **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ**, n.15, p.57-71, 2015.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Erosividade das chuvas (R) nos municípios de Castelo do Piauí, no estado do Piauí (Brasil). **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ**, n.25, 2015.

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.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.217–225, 2009.

SANTOS, W. O.; SILVA, K. B.; COELHO, D. C. L.; SILVA, K. M. P.; SOBRINHO, J. E.; SILVA, P. C. M.; BATISTA, R. O. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros – RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.3, p.434-441, 2014.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1890-1905, 2014.

SILVA, V. P. R; PEREIRA, E. R. R; AZEVEDO, P. V; SOUSA, F. A. S; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.2, p.131–138, 2011.

SOUZA, W. M. & AZEVEDO, P. V. Índice de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, p.320- 331, 2012.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C. H. Regiões pluviométricas e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranamanema III e IV – Paraná. **Caderno de Geografia**, v.26, n.46, p.507-521, 2016.

- TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.12, p.1918-1928, 2016.
- VALVASSORI, M.; BACK, A. J. Caracterização das chuvas erosivas em Urussanga, SC, com relação ao padrão de distribuição temporal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1020-1027, 2014.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p.405-12, 1995.
- VILELA FILHO, L. R. Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (**Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia)** – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002).
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2006. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.256-267, 2015.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: **A guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, DC: USDA, 1965. 47 p. (Agricultural Handbook, 282).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, v.39, n.52, p.285-91, 1958.
- YANG, F.; LU, C. Spatiotemporal variation and trends in rainfall erosivity in China's dryland region during 1961-2012. **Catena**, v.133, p.362-372, 2015.
- ZOLET, M. Potencial de aproveitamento de água de chuva para uso residencial na região urbana de Curitiba. **Trabalho de Conclusão de Curso** apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 33p., 2005.

