



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RAUL GOMES RAMALHO

**OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE EROSIVIDADE DA CHUVA EM DIFERENTES
REGIÕES DO ESTADO DO CEARÁ**

FORTALEZA

2021

RAUL GOMES RAMALHO

**OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE EROSIVIDADE DA CHUVA EM DIFERENTES
REGIÕES DO ESTADO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Ambiental do Departamento de
Engenharia Hidráulica e Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial da obtenção do título de Engenheiro
Ambiental.

Orientador: Dr. Prof. Anderson Borghetti
Soares

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R136o Ramalho, Raul Gomes.
Obtenção da equação de erosividade da chuva em diferentes regiões do Estado do Ceará / Raul Gomes Ramalho. – 2021.
55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares.

1. Coeficiente da chuva . 2. Erosividade . 3. Perda de solo. I. Título.

CDD 628

RAUL GOMES RAMALHO

**OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE EROSIVIDADE DA CHUVA EM DIFERENTES
REGIÕES DO ESTADO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Ambiental do Departamento de
Engenharia Hidráulica e Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial da obtenção do título de Engenheiro
Ambiental.

Orientador: Dr. Prof. Anderson Borghetti
Soares

Fortaleza, __ de _____ de ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares (Orientador)

Prof. Dr. Rosiel Ferreira Leme (Examinador)

Prof. Dra. Mariana Vela Silveira (Examinador)

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente minha mãe que sempre me incentivou a estudar, me deu condições e me apoiou. A meu avô (*in memoriam*) que considero meu pai de criação ao qual colhi ensinamentos que levo para sempre em minha vida. Às minhas avós que sempre me acolheram e me incentivaram a desempenhar o melhor de mim. Aos meus tios que também fizeram parte essencial da minha criação. À minha irmã que apesar de longe sinto grande amor e sentimento de proteção.

Ao Prof. Anderson Borghetti Soares que foi um professor singular na minha formação acadêmica, tanto pelos ensinamentos como também pelo aspecto profissional. Professor bastante didático e atencioso com todas suas disciplinas, além de me instruir da melhor maneira possível na construção desse trabalho.

Aos meus companheiros de turma: Mateus, Caíque, Juan, Jhonata e Alex que estiveram comigo nos diversos dias de estudo na Biblioteca da Universidade, nas apresentações e também momentos de lazer. Sem eles minha formação não seria possível, principalmente ao meu grande amigo Mateus Arruda que desde o primeiro semestre da faculdade esteve comigo compartilhando conhecimento e amizade.

À Lara Geovanna, por toda parceria em buscar o crescimento juntos tanto na vida pessoal quanto profissional. Além de todo apoio e incentivo para momentos difíceis, sendo extremamente importante desde o dia em começou a fazer parte da minha vida.

Aos meus amigos feitos de outras turmas e até de outros cursos, como Pedro Cavalcante, Gabriel, João Paulo, Silva, PC, Batata, Fernandes e Wesley que fizeram parte de momentos de muita alegria, tornando a convivência na Universidade mais leve.

À minha madrinha de curso Andrea Gisele que foi uma pessoa bastante solícita ao longo de toda minha trajetória acadêmica, ajudando nos estudos com seus materiais, conselhos e amizade.

À minha grande amiga Isabelly que sempre foi uma excelente companhia e uma das poucas amigas verdadeiras a qual preservo até hoje. Essencial para tomada de decisões importantes na minha vida, além de me incentivar a buscar sempre o meu melhor.

À Ambev, empresa que me proporciona muita experiência e aprendizado, incentivando sempre meu melhor como profissional e pessoal.

Aos meus professores da universidade, como Felipe, Kenedy, Erlon (*in memoriam*), Gonzaga, Fernanda, Cris, entre outros que foram essenciais para minha formação e processo de aprendizado.

Aos meus professores de ensino fundamental e médio: Ítalo, Fernandes, Rafael, Vasco, Landim, Diego Pereira, Ritacy, Rodrigo, Sergio Neo, Kelton, entre outros.

Aos meus amigos fora da Universidade: Hugo, Felipe, Samuel, Macena, Brandon, Paulo, Pinheiro, Fernando, Guilherme, George, Nicolas, GDias, Kaike, Isaac, Rodolfo, Rennan, Ennio, entre vários outros que tiveram participação em muitos momentos alegres.

RESUMO

As chuvas podem ter grande capacidade de causar perdas de solo nos locais em que é precipitada. Um dos principais mecanismos responsáveis pelo processo é a erosividade da chuva, que é a capacidade de uma determinada chuva tem de causar erosão. O método mais comum para obter a erosividade é a partir de dados de total de chuva, devido a maior facilidade de obtenção, embora a previsão da erosividade seja mais precisa quando se utilizam dados de intensidade de chuva. Inúmeros autores buscaram obter relações entre a erosividade da chuva e a quantidade de chuva precipitada em determinado período. A obtenção da erosividade pode ser feita através do coeficiente de chuva, que foi utilizado pela primeira vez no Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (1975) para a cidade de Campinas – SP, tendo alcançado resultados satisfatórios. A equação da erosividade é obtida a partir da correlação entre os índices de erosividade média mensal (*EI30*), que são função da intensidade e da energia cinética das chuvas individuais, com o coeficiente de chuva, que é obtido a partir de relação entre os volumes das precipitações médias mensal e anual. Este trabalho tem como objetivo obter a equação de erosividade da chuva das cidades de Guaramiranga e Jaguaribe, localizadas no Estado do Ceará, a partir de dados de intensidade de chuva e obter o coeficiente de chuva que correlaciona dados de chuva total com o índice de erosividade mensal. Os resultados indicaram coeficientes de correlação de 0,991 para Guaramiranga e 0,978 para Jaguaribe nos períodos de 2009 a 2018, indicando boa associação entre a variável *EI30* e o coeficiente de chuva. O valor da erosividade determinada a partir de dados de intensidade de chuva teve boa semelhança com a erosividade encontrada por meio das equações obtidas nesse trabalho. As fórmulas sugeridas para grandes regiões, como a proposta por Silva (2001) para grande parte do Nordeste, obtiveram variação significativa nos valores e classificação com relação a erosividade para uma das cidades estudadas nesse trabalho, demonstrando, assim, a importância da utilização de dados próximos da região de estudo para se estimar de forma mais eficiente a erosividade da chuva.

Palavras-chave: Perda de solo. Erosividade. Coeficiente de chuva.

ABSTRACT

The rains can have a great capacity to cause soil losses in the places where it is precipitated. One of the main responsible for the process is the erosivity of the rain, which is a capacity of a supplied rain has to cause erosion. The most common method for obtaining erosivity is from rain total data, due to the greater ease of obtaining, although the erosivity forecast is more accurate when using rain intensity data. Countless authors have sought to obtain relationships between the erosivity of rain and the amount of precipitated rain in a given period. Erosion can be obtained through the rain coefficient, which was used for the first time in Brazil by Bertoni and Lombardi Neto (1975) for the city of Campinas - SP, with satisfactory results. The erosivity equation is obtained from the correlation between the average monthly erosivity indices (EI30), which are a function of the intensity and kinetic energy of people, with the rain coefficient, which is informed from the relationship between the volumes of the average monthly and annual rainfall. This work aims to obtain the rain erosivity equation of the cities of Guaramiranga and Jaguaribe, mandatory in the State of Ceará, from rain intensity data and to obtain the rain coefficient that correlates data of total rain with the erosivity index monthly. The results indicated correlation coefficients of 0.991 for Guaramiranga and 0.978 for Jaguaribe in the periods from 2009 to 2018, indicating a good association between the variable EI30 and the rain coefficient. The value of erosivity provided from rain intensity data was very similar to the erosivity found through the professional equations in this work. The formulas suggested for large regions, such as the one proposed by Silva (2001) for much of the Northeast, obtained changing values and classification in relation to erosivity for one of the cities studied in this work, thus demonstrating the importance of using close data of the study region to estimate how to more efficiently form rain erosivity.

Keywords: Soil loss. Erosivity. Rain coefficient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação dos processos erosivos.....	15
Figura 2- Fatores condicionantes da erosão	16
Figura 3 - Indicativo da Migração do agronegócio no Brasil de 1977 à 2002	18
Figura 4 - Mapa de calor com índice de erosividade do Brasil	22
Figura 5 - Exemplo de gráfico relacionando o índice de Erosividade com o coeficiente da chuva.....	25
Figura 6 - Fórmulas para equação da erosividade sugeridas para diferentes regiões do Brasil	26
Figura 7 - Localização das duas áreas de estudo	30
Figura 8 - Gráfico da média de precipitação mensal da cidade de Guaramiranga comparado com a cidade de Jaguaribe entre 2009 e 2018	32
Figura 9 - Gráfico da média de erosividade mensal da cidade de Guaramiranga comparado com a cidade de Jaguaribe entre 2009 e 2018	35
Figura 10 - Correlação entre os índices de erosividade médio mensal e as precipitações médias mensais da cidade de Guaramiranga no período de 2009 a 2018	36
Figura 11 - Correlação entre os índices de erosividade médio mensal e as precipitações médias mensais da cidade de Jaguaribe no período de 2009 a 2018	36
Figura 12 - Regressões entre o índice de erosividade (EI30) médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Guaramiranga no período de 2009 a 2018. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial	37
Figura 13 - Regressões entre o índice de erosividade (EI30) médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Jaguaribe no período de 2009 a 2018. Sendo (a) linear	38
Figura 14 - Regressões entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Guaramiranga no período de 2009 a 2018 sem utilizar o parâmetro de 10mm. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial.....	40
Figura 15 - Regressões entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Jaguaribe no período de 2009 a 2018 sem utilizar o parâmetro de 10mm. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial.....	41
Figura 16 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guaramiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018.....	44
Figura 17 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guaramiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guaramiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018.....	17
Tabela 2 - Classe de erosividade de chuva média mensal e anual	21
Tabela 3 – Precipitação (mm) dos meses na cidade de Guaramiranga de 2009 a 2018.....	31
Tabela 4 – Precipitação (mm) dos meses na cidade de Jaguaribe de 2009 a 2018	31
Tabela 5 - Índices de erosividade (EI30) da cidade de Guaramiranga ao longo dos anos de 2009 a 2018	34
Tabela 6 - Índices de erosividade (EI30) da cidade de Jaguaribe ao longo dos anos de 2009 a 2018	34
Tabela 7 - Comparativo entre os dados obtidos com e sem o parâmetro de precipitação de no mínimo 10mm para o cálculo do índice de erosividade da cidade de Guaramiranga	43
Tabela 8 - Comparativo entre os dados obtidos com e sem o parâmetro de precipitação de no mínimo 10mm para o cálculo do índice de erosividade da cidade de Jaguaribe.....	43
Tabela 9 - Comparativo entre a equação proposta por Silva (2001) para o mês com maior índice de precipitação mensal das cidades e os dados obtidos com base nos cálculos deste trabalho	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivo Específico	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Perda de solo	14
3.2 Erosão e fatores condicionantes ligados a perda de solo	14
3.3 Reabilitação e prevenção de áreas afetadas pela erosão	19
3.4 Determinação da erosividade da chuva	20
3.5 Índice de erosividade.....	21
3.5.1 Equação do índice de erosividade	22
3.5.3 Equações da erosividade no Ceará	27
4 METODOLOGIA E RESULTADOS	29
4.1 Locais de Estudo	29
4.2 Avaliação dos dados pluviométricos das cidades.....	30
4.3 Cálculo dos índices de erosividade e Fator R das cidades.....	32
4.4 Comparativo dos resultados obtidos com equações na literatura	43
5 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela ação da água e pelo vento. A chuva tem extrema importância no contexto da erosão pelo impacto das gotas, que apresentam diferentes velocidades (intensidades) e energias (tamanho da gota), duração e frequência. Esses fatores em conjunto tornam de forma variável a erosão, definindo, assim, o impacto que a chuva irá causar ao solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; LAGO, 2000).

Nesse contexto, há os diversos fatores que influenciam na formação da chuva. Um dos principais motivos que faz a chuva ter variação ao longo dos anos são fenômenos climáticos que ocorrem de forma corriqueira nas regiões. Esses fenômenos geram diferentes tipos de chuvas que têm características específicas, como as chuvas frontais, que são caracterizadas pelos encontros de massa de ar quente e fria que se cruzam e, normalmente, são de longa duração. Outro tipo comum de chuva que pode ocorrer é a convectiva na qual temos uma variação de temperatura do ar na superfície e nas proximidades da camada atmosférica. Dessa forma, o ar quente que sobe com bastante umidade sofre resfriamento e condensação, gerando a precipitação que costuma ser de alta intensidade e curta duração, sendo este tipo de chuvas que muitas vezes ocasionam as enchentes nas cidades. Nesses dois casos citados percebemos o impacto que a massa de ar tem sobre a formação da precipitação em uma localidade, sendo um fator bastante preponderante para a análise de chuva na região. Há também as chuvas orográficas que têm como fator de geração as montanhas que impedem as massas de ar provindas do oceano de passarem, e dessa forma essa massa de ar se eleva, resfria, condensa e precipita.

As variações apresentadas anteriormente mostram os diferentes mecanismos que podem influenciar na formação da chuva. Isso mostra a importância de a amostragem realizada das chuvas ser de longos períodos, pois caso sejam feitas as medições em intervalos curtos de tempo, pode acabar gerando dados com valores inadequados para os parâmetros que forem calculados como a erosividade, erodibilidade e perda de solo.

Nesse contexto, podemos definir a erosividade como a habilidade da chuva de causar erosão (Hudson, 1995). Com a incidência da chuva no solo inicialmente ocorre a desagregação do solo, ou seja, desestruturação dos agregados que compõe aquela superfície. Segundo Lal (1988), a desagregação é causada principalmente pela energia cinética da chuva. Essa energia

faz com que haja a desagregação dos compostos que o solo possui, e, dependendo do seu valor, para um certo período, é possível prever impactos causados pela erosão da chuva naquele local, a partir de dados de intensidade de chuva, ou de precipitação média mensal e anual.

Diversos autores propuseram fórmulas para determinar a influência da chuva na erosão do solo que se adequassem aos dados obtidos em cada através de um índice de erosividade, definido como Fator R. Para a determinação deste fator é necessário a medição das chuvas por pluviômetros ou pluviógrafos. Além disso, quando a erosividade é calculada a partir de dados de intensidade de chuva, é necessário o cálculo da energia cinética (EC) que é definida pela variável da intensidade da chuva por determinado período (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Hudson, 1995).

Além da erosividade, há outros fatores que influenciam na erosão do solo, como a erodibilidade, práticas conservacionistas, fator topográfico e cobertura vegetal. Tais fatores intensificam bastante a erosividade e são presentes na equação da perda de solo.

A erosividade pode ser determinada a partir de valores de chuva total mensal em um determinado local, utilizando uma equação que correlaciona um índice de erosividade mensal com o total de chuva. Essa equação da erosividade é obtida a partir de dados de intensidade de chuva e permite a obtenção da erosividade R de maneira fácil e rápida, podendo ser utilizada para diversas regiões próximas que não possuem os dados referentes a intensidade da chuva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estabelecer a equação da erosividade de chuva mensal e obter a erosividade de duas regiões do Estado do Ceará.

2.2 Objetivo Específico

- Comparar o resultado das equações obtidas da cidade de Jaguaribe e Guaramiranga com outras equações descritas na literatura para localidades próximas.
- Verificar a semelhança no cálculo da erosividade a partir da forma de intensidade com o valor obtido pela equação encontrada.
- Verificar a influência de chuvas inferiores a 10 mm no cálculo da erosividade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Perda de solo

A erosão tem relação direta com a perda de solo de determinada área. Diversos estudos mostram que além da influência da chuva (erosividade), outras variáveis influenciam na perda de solo, como a presença de cobertura vegetal, as características geométricas do local (comprimento e declividade), o tipo de solo e adoção de práticas conservacionistas, como a manutenção de cobertura adequada para o solo. Diversos modelos foram propostos para a definir a fórmula para a determinação da perda de solo, no qual pode-se citar a USLE (Universal Soil Loss Equation – WISCHMEIER & SMITH, 1978) RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation – RENARD *et al.*, 1977) e WEPP (Water Erosion Prediction Protect – ASCOUGH II *et al.*, 1995). O Departamento de Agricultura Americano (USDA) desenvolveu a equação conhecida como USLE (Universal Soil Loss Equation) publicada por Wischmeier & Smith (1978) e se tornou o método muito utilizado devido sua simplicidade e eficiência em relação aos valores obtidos. Essa fórmula calcula a perda de solo com os fatores relacionados à erosividade (Fator R), à erodibilidade (fator K), ao fator topográfico (fator LS, tem como referencial padrão uma parcela de 25m e 9% de declividade), à cobertura vegetal (fator C, para coberturas inexistentes considerar a constante igual a 1) e às práticas conservacionistas (fator P, quando não há práticas conservacionistas deve-se considerar a constante igual a 1). A fórmula da USLE é representada da seguinte maneira:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

3.2 Erosão e fatores condicionantes ligados a perda de solo

A erosão consiste na principal causa de desagregação dos solos por meio do desprendimento e transporte de suas partículas, podendo ser gerada por fenômenos naturais que aceleram esse processo e também sendo provocada por ações antrópicas que afetam o equilíbrio das condições naturais. O desprendimento do solo é definido como a liberação de fragmentos

dos agregados presentes em sua superfície, provocada por agentes erosivos, como mares, rios, gelo, vento e chuva, sendo este último o foco do trabalho. Logo, há inúmeros processos erosivos que podem afetar o solo de diversas maneiras diferentes, como podemos observar na Figura 01.

Figura 1- Classificação dos processos erosivos



Fonte: Jesus (2013)

A capacidade da erosão de atuar em determinadas áreas depende das características dos elementos climáticos, geomorfológicos, geológicos, pedológicos e da cobertura vegetal. (Silva *et al.*, 2003; Almeida Filho & Ridente Junior, 2001; Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998; Salomão & Iwasa, 1995). A figura 02 ilustra os fatores condicionantes da erosão associados a cada um desses elementos no âmbito de conjunto.

Figura 2- Fatores condicionantes da erosão



Fonte: Jesus (2013)

Nesse sentido, o clima tem como principal fator as chuvas quando se trata de erosão. No impacto das gotas de chuva sobre o solo é favorecido o processo de desagregação das partículas no solo e a água da chuva também atua como transporte das partículas. Segundo Almeida Filho & Ridente Junior (2001), a ação erosiva da chuva depende da sua distribuição e intensidade no tempo e no espaço.

Para o processo geológico, segundo Dias (2002), em solos residuais e rochas meteorizadas, a erosividade está relacionada intimamente com o tipo e as características da rocha parental. As principais características das rochas que podem condicionar a erosão são o próprio grau de fraturamento, a intensidade do intemperismo e a natureza do material que foi alterado. Nas rochas pré-cambrianas, segundo Infanti Junior & Fornasari Filho (2001) destacam, há a ocorrência de voçorocas e ravinas associados aos solos resultantes da alteração de rochas xistosas, gnáissicas e graníticas.

Já no fator condicionante do relevo, o processo erosivo está associado principalmente a declividade, ao comprimento da rampa e à forma da vertente. De acordo com Gomes (2001), terrenos com grandes declividades estão mais sujeitos a erosão devido a velocidade de escoamento da água nessas localidades. Nesse contexto, altas declividades associadas a comprimentos extensos de vertente, causam um aumento ainda maior na velocidade da água.

A capacidade do solo de resistir a erosividade é denominada erodibilidade. A erodibilidade é caracterizada pela integração de processos que regulam a recepção da chuva e

a resistência do solo no sentido de desagregar as partículas e o transporte posteriormente. Esse fator é mutável ao longo do tempo, ou seja, é dinâmico podendo ser influenciado pelo uso do solo, manejo superficial, inserção de produtos e a atividade agropecuária. Essas atividades modificam as características físicas e químicas do solo, como o tamanho das partículas, a quantidade de matéria orgânica e os reagentes químicos. No contexto referente aos processos de desagregação e transporte do solo, segundo Lal (1988), a textura do solo tem relevante importância nesses fatores, que conseqüentemente também afeta erodibilidade. Isso ocorre devido a resistência que partículas maiores tem sobre o transporte. O tamanho e a mineralogia das partículas também influenciam na erodibilidade. Por exemplo, partículas argilosas sofrem menos desagregação pelo impacto das gotas da chuva devido as ligações que se desenvolvem entre as partículas.

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno e desempenha funções muito importantes contra a erosão. Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacaram alguns dessas funções: proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, dispersão e quebra de energia das águas de escoamento superficial, ação das raízes pela produção de poros e conseqüente aumento da infiltração da água e aumento da capacidade de retenção da água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica. Na Tabela 01 é possível verificar a importância da cobertura vegetal, pois o escoamento tende a ser 50% menor em áreas vegetadas, enquanto superfícies impermeáveis têm até 95% das águas escoadas e atuando nos processos erosivos.

Tabela 1 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guaramiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018

Características da Bacia	Faixa de valores do coeficiente de Escoamento
Superfícies Impermeáveis	90 a 95 %
Florestas e Matas de árvores de folhagem em terrenos com declividades variadas	5 a 50 %

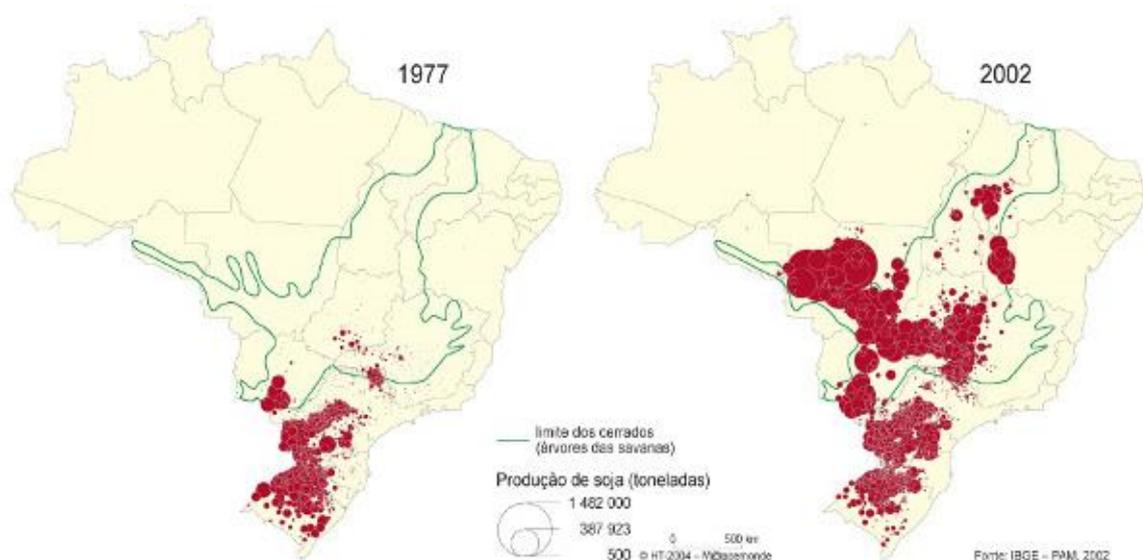
Fonte: OLIVEIRA, 2018 (modificado de JORGE & UEHARA, 1998)

Devido a erosividade das chuvas, a atividade agropecuária também sofre conseqüências negativas de maneira geral. Regiões que possuem uma cobertura vegetal vão sofrer menos erosão devido a proteção natural que essas plantas propiciam ao solo. Porém, os impactos causados pelas perdas de solo podem ser bastante prejudiciais e atrapalhar o cultivo do local. Um dos impactos é a alteração do pH do solo que irá diminuir a qualidade de absorção de

nutriente pelas plantas, por exemplo. Outro fator que pode agravar a erosão é o manejo inadequado, como a não realização da rotação de cultura ou o uso abusivo de máquinas, pois são ações que agredem a terra e, como consequência, a estrutura do solo será destruída, acelerando a erosão. Nesse contexto, é importante implantar práticas sustentáveis e mais rigorosas que visem na manutenção de dos solos nas áreas de declive e nas margens dos rios. A perda de produtividade do solo devido ao processo erosivo fez com que localidades que antes eram centros agrícolas se tornassem menos atrativas para utilização pelos agricultores que preferiram buscar solos menos erosivos e acabaram gerando problemas em outras áreas.

No Brasil, onde o setor agropecuário é uma das principais atividades geradoras de capital para o país, e um dos maiores do mundo, há muitos estudos referentes a erosividade dos solos. Ao longo dos anos, devido ao uso abusivo e ao aumento da produção agrícola, houve uma migração em escala significativa para outras regiões. Outro fator que influenciou essa migração foram as oportunidades de uso do solo em outras regiões adequadas para o plantio e o aumento da produção dos insumos agrícolas no país. Nesse contexto, muitos motivos fizeram com que nas últimas décadas houvesse uma migração do agronegócio para outras localidades no Brasil como mostra a Figura 03.

Figura 3 - Indicativo da Migração do agronegócio no Brasil de 1977 à 2002



Fonte: IBGE (2002)

3.3 Reabilitação e prevenção de áreas afetadas pela erosão

De acordo com Salomão (1995), deve-se adotar medidas efetivas no controle preventivo e corretivo da erosão depende da dinâmica do funcionamento hídrico sobre o terreno, considerando também a dinâmica do uso do solo, suas propriedades físicas e químicas, além das condições climáticas e da interferência antrópica. A bioengenharia é um método que pode ser utilizado para conter a erosão por meio do uso de técnicas biológicas de estabilização, em que plantas e partes de plantas são arranjadas no solo em padrões e configurações específicas. Dessa forma, algumas características são implementadas, como o reforço do solo, barreiras contra o movimento da terra, drenos hidráulicos e concentradores de umidade. Além disso, a bioengenharia pode promover microrganismos específicos que devolvem a vida aos solos erodidos.

Outros materiais que tem sido empregados no controle de erosão são os geossintéticos que são produtos industrializados (polímeros sintéticos ou naturais). Segundo Freire (2016), estes produtos conseguem atender necessidades de controle a erosão devido as suas propriedades mecânicas e hidráulicas que lhes permitem suportar solicitações extremas, sendo eficientes até em localidades que possuem condições adversas e potencialmente manifestantes de processos erosivos. Esses materiais podem ser temporários ou permanentes. No caso dos temporários podem ser totalmente ou previamente degradáveis sendo utilizado para o restabelecimento vegetal, até que a vegetação local se desenvolva sem o auxílio do material, como georredes, biomantas e geogrelhas. No caso dos permanentes, segundos Marques (2004) apud Freire (2016), esses materiais são subdivididos em compostos constituídos por materiais não degradáveis, como geomantas ou geocélulas que se associam a vegetação para o controle da erosão ou no caso dos semiflexíveis como o geotêxtil.

Tem-se também a técnica da rotação de culturas que é bastante utilizada no âmbito agrícola para minimizar a erosão. Esse método consiste em alternar o cultivo dos alimentos por determinado período de tempo nas plantações, como o milho, que é um cultivo que em geral melhora as propriedades físico-químicas e biológicas de uma localidade. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a rotação de culturas aliada ao SPD (Sistema de Plantio Direto), que é uma técnica para aumento da produtividade do solo, pode diminuir em até 95% a incidência de erosão no solo.

Outro método bastante utilizado para diminuir a erosão é a calagem que consiste em

corrigir o pH do solo, elevando seus níveis para que fique em uma situação adequada para a vegetação. Esse processo necessita como fonte o calcário que é o responsável por essa alteração no pH, bem como de uma adubação adequada no local para que o solo fique nas condições favoráveis ao desenvolvimento do plantio. Essa adubação pode ser feita com adubos químicos a base nitrogênio, fósforo e potássio; orgânicos com a utilização de resíduos sólidos, lodos, esterco, entre outros e também adubos verdes que são espécies com alto índice de adaptabilidade e conseguem recuperar a estrutura do solo.

3.4 Determinação da erosividade da chuva

Na equação da USLE (Universal Soil Loss Equation), a erosividade é determinada pela combinação de três características da chuva: magnitude, duração e intensidade de precipitação. A erosividade (R) é obtido pela média da erosividade anual de um determinado período de tempo (por exemplo 20 anos). A erosividade anual corresponde a soma do índice de erosividade ($EI30$) de cada evento chuvoso do ano que provoque erosão. $EI30$ é igual ao produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima na duração de 30 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD *et al.*, 1997).

A estimativa dos valores de intensidade máxima de 30 minutos, pré-estabelecida por Wischmeier e Smith (1978), para a determinação da erosividade, pode não se encaixar em chuvas características de regiões na qual há chuvas convectivas em sua predominância, que tem como característica altas intensidades e com períodos de tempo de 30 minutos ou menos, não se encaixando dentro dos requisitos propostos por Wischmeier e Smith (1978) (BERTOL *et al.*, 2002; DIAS & SILVA, 2003; BAZZANO *et al.*, 2007; MELLO *et al.*, 2004; BONILLA & VIDAL, 2011). Nesse contexto, JEBARI *et al.* (2012) obteve a equação da erosividade, utilizando chuvas com duração de 15 minutos em uma bacia agrícola na Tunísia, região onde as chuvas se caracterizam por serem convectivas e em cerca de 70% dos casos com duração inferior a 1h (JEBARI *et al.*, 2007). Além disso, 12% dos eventos de chuva foram considerados erosivos para a duração de 15 minutos (JEBARI *et al.*, 2008). Assim, para o cálculo da erosividade média mensal nesse caso foi utilizado outra duração de intensidade máxima, sendo uma maneira alternativa para o cálculo da erosividade, principalmente em regiões que possuem uma duração menor e maiores intensidades dos eventos de chuva

De maneira geral, utiliza-se a classificação proposta por Santos (2008) identificada na Tabela 2 para classificar erosividade da chuva.

Tabela 2 - Classe de erosividade de chuva média mensal e anual

Erosividade anual (MJ.mm/ha.h)	Classes de erosividade
$R \leq 2453$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008) *apud* SANTOS & MONTENEGRO (2012)

3.5 Índice de erosividade

O índice de erosividade (EI) depende da chuva que incide sobre determinada área de preferência, considerando longos períodos, e é calculada a partir de registros obtidos em pluviógrafos. Segundo Wischmeier & Smith (1958), quando os demais fatores responsáveis pela perda de solo são constantes, exceto a chuva, a perda de solo por unidade de área de um terreno sem proteção de vegetação é diretamente proporcional ao produto da energia cinética pela intensidade máxima em 30 minutos da chuva no local. Assim, determina-se o potencial erosivo da chuva e torna-se possível calcular a erosividade com essa relação.

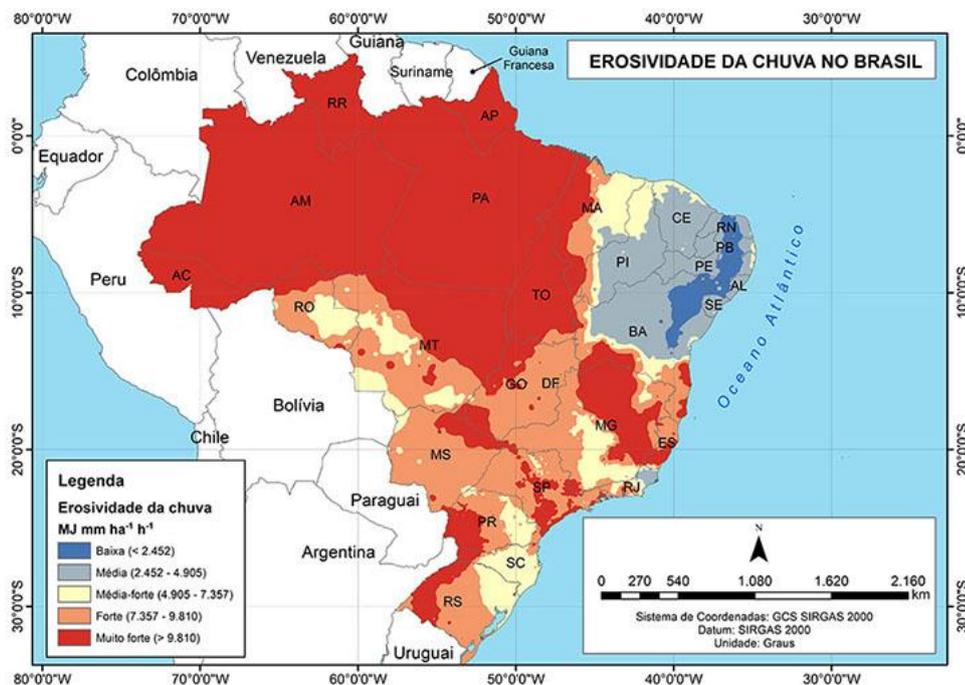
Alguns fatores devem ser levados em consideração para a obtenção dos dados relacionados a erosividade. Segundo Hudson (1973), na África Subtropical, foi observado que a energia das chuvas com a intensidade de 25,4mm/h ou maiores foi mais estreitamente correlacionada com as perdas de solo propriamente dita do que com qualquer outro parâmetro testado. Para Bertoni e Lombardi Neto (1990), é interessante, para o cálculo da erosividade, o uso de precipitações maiores que 10mm ou, caso menores, que provoquem transporte significativo do solo.

Outro importante parâmetro utilizado para determinar a erosividade de determinada região é o período de obtenção dos índices de pluviosidade da área. Quando se utiliza um período curto de observações, esses podem englobar comportamentos distintos em relação às precipitações médias na região (períodos de estiagem ou úmidos) e não irão representar com eficiência o que a região realmente tem como base de erosividade. Wischmeier (1976) propõe que a obtenção dos dados pluviométricos seja feita com períodos acima de 20 anos para não haver as interferências de clima que possam ocorrer naquela região, tornando mais consistente

os resultados obtidos.

No Brasil, devido a seu extenso território e diversidade de climas, há também uma variedade dos índices de erosividade. Na Figura 4 podemos notar que as regiões na qual possuem maior quantidade de chuvas, como a Amazonia que possui um clima predominantemente equatorial, demonstra altos índices erosivos e em alguns locais da região Nordeste o mapa de calor da erosividade é baixo, estreitamente correlacionada ao clima semiárido que possui poucos eventos de chuva ao longo do ano.

Figura 4 - Mapa de calor com índice de erosividade do Brasil



Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

3.5.1 Equação do índice de erosividade

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) são necessárias duas características para a obtenção da fórmula do índice de erosividade: energia cinética e a intensidade de chuva em 30 minutos. Assim, é possível encontrar o EI_{30} da chuva e, conseqüentemente, a erosividade, que é dada pela soma de todas do EI_{30} das chuvas do ano, desconsiderando as menores que 10mm, devido seu baixo índice de erosão causado. A equação do índice de Erosividade é dado pelo produto desses fatores, sendo:

$$EI30 = EC \times I30 \quad (2)$$

Para a energia cinética temos como unidades mega joule por hectare-milímetro de chuva (MJ/ha) e I30 sendo em intensidade máxima em 30 minutos (mm/h).

Para o cálculo da energia cinética, Wischmeier & Smith (1958,1978) definem:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \times \log I \quad (3)$$

Onde a intensidade (I) é intensidade da chuva em milímetro por hora.

A equação da erosividade obtida por meio da intensidade pode ser formulada também com a energia cinética para diferentes períodos, como 15 e 30 minutos na maioria das vezes. Para o uso desse método, é importante calcular a energia cinética para as durações escolhidas e compará-las por meio de um teste para verificar a diferença entre os valores médios mensais de erosividade. Segundo Carvalho (2010), a metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978) apesar de ter sido testada e verificada com eficiência em diversas regiões, sua representação sua aplicação limita-se a localidades com ocorrências de chuvas de até $150\text{mm } h^{-1}$. Nesse sentido, Cassia *et al.* (2012) identificaram no cálculo da erosividade média mensal da região de Pelotas – RS, que a duração da chuva influência de forma inversamente proporcional ao Fator R, ou seja, quanto menor o evento da chuva, maiores serão os valores de intensidade e de erosividade. Nesse contexto, para o cálculo da intensidade para diferentes durações é interessante o cálculo do erro que pode ser gerado devido a esses períodos diferentes. Para isso é utilizado uma fórmula denominada Erro Relativo Médio Quadrático (RMS) (DAMÉ *et al.*, 2018) na qual podemos verificar pela Equação 4. Essa fórmula representa o impacto da utilização dos valores e intensidades máximas na duração de 15 minutos ($EI15$) sobre a erosividade das chuvas em relação ao obtidos na duração de 30 minutos ($EI30$) e n representando o número de anos do cálculo das erosividades. Quando o erro indica diferenças grandes entre os meses como valores acima de 100% significa que há grandes variações, possivelmente decorrentes de chuvas mais intensas, logo define-se que nesses casos há uma diferença de erosividade em função da intensidade da chuva.

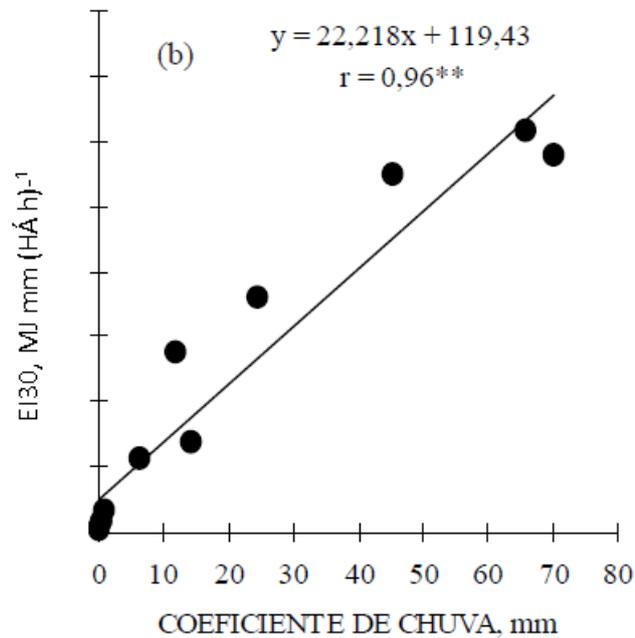
$$RMS = \sqrt{\frac{EI15 \times EI30^2}{EI30 \times n}} \quad (4)$$

Como pode ser observado nos parágrafos anteriores, a obtenção da erosividade de uma região é um tanto trabalhosa e necessita de dados de intensidade de chuva para o cálculo. Bertoni e Lombardi Neto (1990) propuseram uma equação para correlacionar o índice de erosividade médio mensal e as precipitações mensais e anuais num período de 22 anos na cidade de Campinas/SP. Para encontrar a equação é necessário também obter o coeficiente de chuva que é função das precipitações médias de cada mês do ano (p) e a precipitação média anual (P). A relação para o cálculo do coeficiente é p^2P^{-1} , como está demonstrado na Equação 5.

$$R_c = \frac{p^2}{P} \quad (5)$$

Através de uma análise de regressão entre os valores do índice *EI30* mensal médio (de um período) e a chuva total média obtém-se o coeficiente de chuva, como pode ser visto na Figura 5. Para a obtenção do Fator R de determinada região com mais assertividade é interessante a obtenção de dados com intervalos de 20 anos aproximadamente e o cálculo entre as diferenças obtidas dos índices de *EI30* para analisar possíveis erros e selecionar a equação mais adequada. A erosividade é calculada como a soma das erosividades mensais. A equação permite obter a erosividade, utilizando dados de precipitação total mensal e anual médias.

Figura 5 - Exemplo de gráfico relacionando o índice de Erosividade com o coeficiente da chuva



Fonte: J.R.C SILVA & A.S. DIAS (2003)

Há métodos que são utilizados para estudos relacionados a erosividade com a utilização de técnicas de geoprocessamento e análises estatísticas. Esses trabalhos são feitos, em geral, com a utilização de Softwares que geram mapas com os dados pluviométricos colhidos de determinado local e conseguem identificar a época em que há maiores índices de concentração de erosividade ao longo dos meses. Um dos métodos utilizados nessa forma alternativa de obter dados de erosividade é o do “Inverso do quadrado da distância” que leva em consideração características espaciais de autocorrelação das variáveis. Além disso, são necessários também nesse tipo de trabalho métodos estatísticos, como o de Lanna (1993) para obtenção do desvio padrão, média e coeficiente de variação, bem como métodos relacionados ao período de retorno e probabilidade de ocorrência, como o de Schwab *et al* (1981). Na questão utilizada para gerar os índices de erosividade pode ser utilizado os critérios de Bertoni & Lombardi Neto (1990) já mencionados. Assim, esse método de maneira geral gera dados mais completos como a probabilidade de ocorrência e potenciais meses que podem ocorrer maiores erosões, sendo uma análise interessante para verificação de períodos que podem sofrer menos impacto erosivos na busca por colheitas mais produtivas, por exemplo.

3.5.2 Histórico de equações que usam coeficiente de chuva para a determinação da erosividade

No Brasil, Lombardi Neto (1990) foi o primeiro a estudar a ligação entre o índice de erosividade e as precipitações mensais/anuais para determinar a erosividade de Campinas. Com isso, foi possível obter por meio dessas análises uma fórmula para obter a erosividade mensal, utilizando dados de total de chuva mensal e anual médios de um período. A correlação obtida serviu de base para a análise de diversas outras cidades do Brasil, como pode ser visto na Figura 06 que apresenta diversas equações formuladas por diferentes autores.

Figura 6 - Fórmulas para equação da erosividade sugeridas para diferentes regiões do Brasil

Number	Equation	Author(s)
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 42.77$	Oliveira Jr. and Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{1.0852}$	Morais et al. (1991)
3	$R_x = (0.66 * M_x) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 69.763$	Silva (2001)
5	$R_x = 0.13 * (M_x^{1.24})$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0.6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0.841}$	Lombardi Neto and Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

Fonte: Silva (2001)

Essas equações fornecem uma estimativa para diferentes regiões, servindo para uso em estudos e análises de agrônomos, por exemplo. Porém, para uma análise mais aprofundada das áreas, muitas vezes, fórmulas apresentadas na Figura 6 podem não fornecer dados realísticos de erosividade de um determinado local, visto que cada região apresentada abrange uma área relativamente grande do Brasil. Assim, é importante que as cidades obtenham uma equação específica para sua localidade para o conhecimento da erosividade. Porém, não são comuns que essas fórmulas sejam presentes nos municípios devido à dificuldade de obtenção dos dados de chuvas que precisam ser colhidos durante longos períodos, além de não haver registros de pluviógrafos em muitas regiões.

3.5.3 Equações da erosividade no Ceará

Dentre as diversas equações de erosividade formuladas por diferentes autores, algumas foram obtidas para o Estado do Ceará.

Um dos trabalhos que obteve uma fórmula para a erosividade é Equação 6 apresentada abaixo para a bacia do Alto Jaguaribe na qual teve seus dados coletados do ano de 2004 a 2016. Essa equação utilizou o método de Bertoni e Lombardi Neto (1990) como modelo de cálculo, relacionando a erosividade mensal com o total de chuva. A Equação 07 referentes ao Fator R de Fortaleza, com os dados obtidos do ano de 1962 a 1981 e 1982 a 2000, também utilizou como base os estudos de Bertoni e Lombardi Neto (1990) com o incremento de análises estatísticas utilizadas para observar se houve variação entre a equação de erosividade dos dois intervalos.

$$Rm = 565 x \left(\frac{P^2m}{Pa} \right)^{0,42} \quad (6)$$

Fonte: Equação da erosividade mensal para a bacia do Jaguaribe (HENRIQUE, SUZIANE e CARLOS, 2019).

$$EI30 = 73,989xRC^{0,7387} \quad (7)$$

Fonte: Equação da erosividade de Fortaleza (SILVA e DIAS, 2003).

A base de dados para a composição da equação para a Bacia do Alto Jaguaribe apresentou falhas para alguns meses e foi colhida do período entre: 01/2004 – 03/2004 e 01/2016 – 12/2016, totalizando 1 ano e 3 meses de informações monitoradas aproximadamente e índice de coeficiente de chuva de 0,81. A equação de Fortaleza foi obtida no período de 1962 a 1981, totalizando 21 anos de dados monitorados e apresentou coeficiente de correlação de 0,99.

4 METODOLOGIA E RESULTADOS

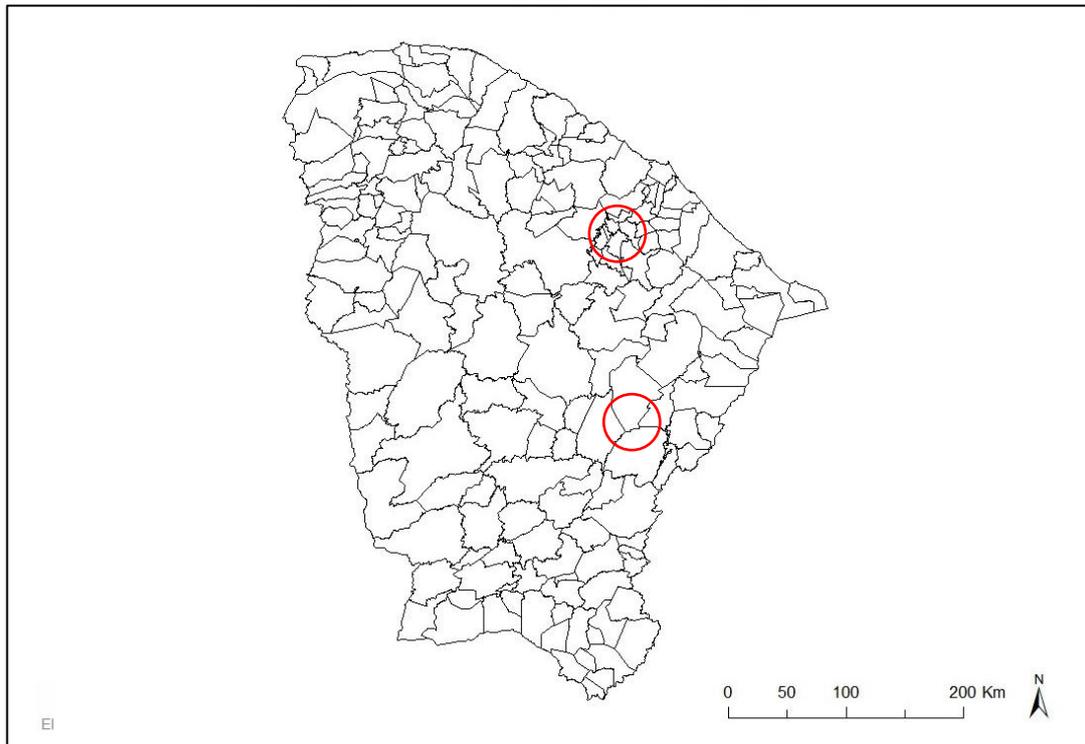
Para a determinação da equação da erosividade em cidades de Ceará, foram selecionadas dois municípios, que apresentaram dados pluviométricos de chuvas horárias em períodos superiores a 10 anos. Embora seja recomendado a utilização de um banco de dados de 20 anos, a consulta para seleção de cidades para serem utilizadas nesse estudo revelou haver uma carência de dados pluviométricos para intervalos superiores a 10 anos. As cidades selecionadas para o presente estudo, Guaramiranga e Jaguaribe, que correspondem a duas regiões de precipitações distintas do estado do Ceará, tendo o intervalo de observações corresponde às precipitações de 2009 a 2018 obtidas partir de dados fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) vinculado ao BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa).

4.1 Locais de Estudo

Segundo IBGE, Guaramiranga se encontra dentro da Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité no centro-norte do estado e é uma cidade com altitude de 865m com um clima tropical superúmido. Dessa forma, é considerada uma cidade com temperaturas mais frias e com índices de precipitação ao longo do ano maiores do que a maior parte dos municípios do Estado do Ceará.

No caso de Jaguaribe, é uma cidade localizada a uma altitude de 199, sendo um valor mais próximo da altitude média das outras cidades do Ceará. Além disso, seu clima é predominantemente semiárido e têm um índice baixo de pluviosidade ao longo dos anos. Dessa forma, há uma dificuldade em calcular os dados referentes a erosividade, visto que as metodologias citadas anteriormente para o cálculo da erosividade recomendam a utilização de precipitações superiores a 10mm de chuva (outros autores recomendam o uso de chuvas superiores a 25mm para determinar a erosividade). Na Figura 7 podemos identificar a região na qual as duas cidades se encontram, no círculo superior está Guaramiranga e no círculo abaixo está Jaguaribe.

Figura 7 - Localização das duas áreas de estudo



Fonte: IBGE

4.2 Avaliação dos dados pluviométricos das cidades

As tabelas 3 e 4 apresentam os dados de precipitação mensal obtidos para as cidades de Guaramiranga e Jaguaribe, respectivamente, no período de estudo. Como podemos notar, ocorrem diferentes volumes mensais precipitados nas duas cidades. As precipitações ao longo dos anos no município de Guaramiranga são significativamente maiores quando comparadas aos dados do município de Jaguaribe. A Figura 8 apresenta uma comparação entre os dados de precipitação média mensal no período de estudo onde é possível verificar essas diferenças de volumes precipitados nas duas cidades.

Tabela 3 – Precipitação (mm) dos meses na cidade de Guaramiranga de 2009 a 2018

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2009	130,8	197,6	387,4	419,0	462,4	296,0	267,8	63,6	20,0	13,8	41,4	34,0	2333,8
2010	124,2	35,0	130,4	344,2	80,2	72,2	10,4	4,0	0,0	12,4	20,2	189,2	1022,4
2011	386,2	232,0	263,4	227,8	258,4	99,8	177,0	73,2	5,0	97,0	60,2	19,0	1899,0
2012	104,6	244,6	162,2	99,8	58,4	59,0	10,6	2,4	2,8	24,0	26,4	40,0	834,8
2013	92,4	140,6	123,4	205,2	267,6	214,0	144,8	22,8	22,4	23,6	61,0	17,0	1334,8
2014	154,0	122,2	342,2	186,2	211,6	96,8	22,8	3,4	64,8	38,6	64,8	39,2	1346,6
2015	133,0	178,8	336,6	207,6	105,4	152,8	333,6	14,4	42,4	10,6	5,2	62,4	1582,8
2016	223,8	105,4	229,0	239,4	165,4	86,8	18,0	14,2	12,4	4,8	3,4	65,2	1167,8
2017	127,2	164,4	92,6	211,2	283,8	138,2	163,2	35,6	6,2	60,4	33,2	66,0	1382,0
2018	157,0	206,8	309,6	386,8	160,0	50,0	64,6	60,2	8,2	22,4	35,0	56,6	1517,2
MÉDIA	163,32	162,74	237,68	252,72	205,32	126,56	121,28	29,38	18,42	30,76	35,08	58,86	1442,1

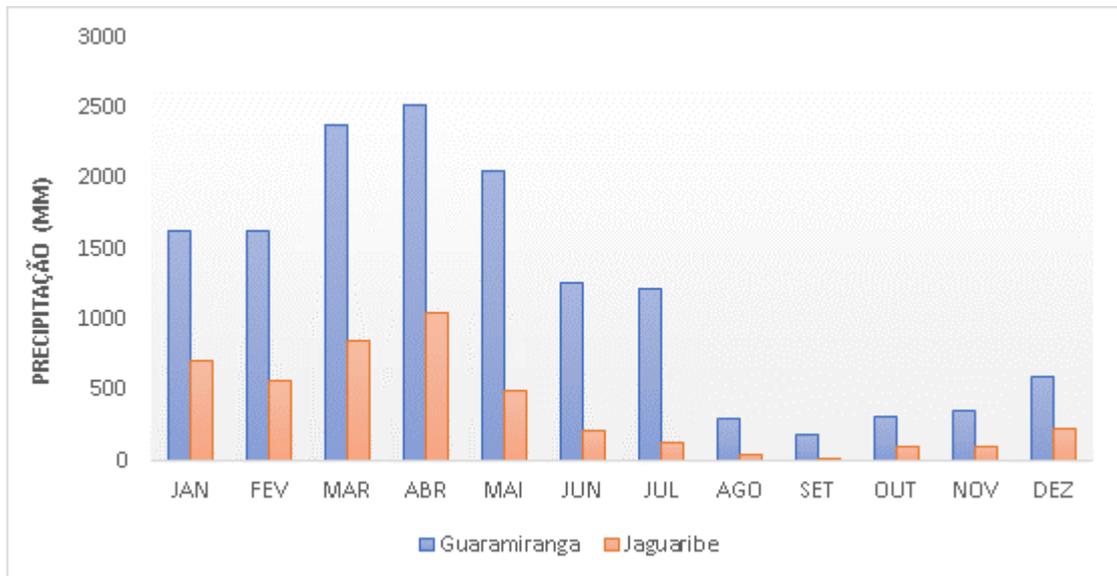
Fonte: Autor

Tabela 4 – Precipitação (mm) dos meses na cidade de Jaguaribe de 2009 a 2018

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2009	128,6	147,4	103,4	294,8	153,6	26,0	31,8	24,2	0,0	0,2	0,0	58,2	968,2
2010	64,8	20,2	73,0	75,8	9,8	17,0	1,8	0,0	0,0	63,0	0,0	42,0	367,4
2011	292,4	97,8	155,8	148,2	43,8	0,0	0,0	5,0	0,4	30,6	20,0	0,0	794,0
2012	67,8	0,0	24,4	4,2	6,4	1,0	0,4	3,2	0,0	0,0	0,2	0,0	107,6
2013	11,4	39,0	40,4	55,6	105,6	82,2	21,6	1,4	0,0	0,2	66,4	26,4	450,2
2014	5,4	0,0	0,0	112,8	71,0	24,4	20,2	0,0	1,0	6,2	11,8	0,0	252,8
2015	8,8	74,8	128,0	52,2	5,8	16,4	17,6	1,8	1,0	0,8	0,0	19,2	326,4
2016	72,8	31,4	96,4	121,4	34,2	3,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	33,4	393,6
2017	41,6	40,6	151,4	49,8	45,4	30,8	28,0	2,2	4,0	0,0	0,0	15,0	408,8
2018	19,8	110,6	82,4	137,2	17,8	8,6	9,8	0,0	0,0	0,6	0,2	29,4	416,4
MÉDIA	71,34	56,18	85,52	105,2	49,34	21,02	13,14	3,78	0,64	10,16	9,86	22,36	448,5

Fonte: Autor

Figura 8 - Gráfico da média de precipitação mensal da cidade de Guaramiranga comparado com a cidade de Jaguaribe entre 2009 e 2018



Fonte: Autor

4.3 Cálculo dos índices de erosividade e Fator R das cidades

Para o cálculo dos índices de erosividade (*EI30*) desse trabalho foram consideradas as precipitações superiores a 10mm, como recomendado por Bertoni e Lombardi Neto (2012). Segundo esses autores chuvas superiores a 10mm são capazes da chuva provocar transporte significativo de solo.

Wischmeier (1976) considera ser necessário a utilização de uma série de dados referentes a períodos superiores a 20 anos, pois variações cíclicas no clima podem acabar interferindo significativamente a variabilidade dos índices pluviométricos e de sua erosividade. Devido à escassez de dados obtidos, nesse trabalho foi considerado o intervalo de tempo de 10 anos das chuvas nas duas cidades para a realização dos cálculos. Para a cidade de Fortaleza, Silva e Dias (2003) encontraram uma probabilidade de 46% para ocorrências de chuvas com valor igual ou superior ao Fator R encontrado nos cálculos pelo menos uma vez a cada 2,2 anos.

Outro ponto a ser considerado foi a definição do período de 30 minutos de precipitação para a obtenção *EI30*. Os dados obtidos pelo Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) vinculado ao BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) considera os intervalos da chuva horário. Dessa forma, considerou-se precipitação no intervalo de 30

minutos, correspondente a metade do precipitado em uma hora, e obteve-se a precipitação em 30 minutos.

Para o cálculo da erosividade foi inicialmente determinado o índice de erosividade mensal e anual de cada ano. Para cada chuva individual foi calculada a energia cinética, utilizando a Equação 3, e posteriormente o EI30 da chuva individual, utilizando a Equação 2. O valor de erosividade mensal foi obtido através do somatório de todos os valores de EI das chuvas individuais de um determinado mês. A erosividade anual, de um determinado ano, foi obtido pelo somatório dos EI mensais. A erosividade mensal e anual da região, no período de 10 anos, foi obtida pela média da erosividades mensais e anuais no período considerado. Importante ressaltar que para este trabalho foi utilizado o critério proposto por Wischmeier e Smith em 1965 e modificado por Cabeda (1976) – não aparece nas referências e é importante, onde cada chuva é considerada erosiva quando em um período de 6h há uma quantidade precipitada maior que 10mm. Depois de calculado o índice de erosão médio mensal e anual, foi utilizada a Equação 5 para obter o coeficiente da chuva de cada mês. Por fim, relacionou-se, através de um gráfico, a erosividade mensal média (EI) do período com o coeficiente de chuva mensal, do período de 2009 a 2018, para as duas cidades. As correlações entre esses índices resultaram em equações que permite determinar a erosividade de cada local, sendo selecionada a equação que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais. Todos esses dados foram coletados e utilizados em uma planilha de Excel.

Os dados obtidos dos índices de erosividade mensal são demonstrados na Tabela 5 para a cidade de Guaramiranga e na Tabela 6 para a cidade de Jaguaribe. Nota-se pelas tabelas que há muitos meses ao longo dos anos nos quais são zerados. Isso ocorre devido aos baixos índices de pluviosidades nesses períodos que são, em geral, abaixo de 10mm e não entram nos parâmetros exigidos para essa análise primária.

Tabela 5 - Índices de erosividade (EI30) da cidade de Guaramiranga ao longo dos anos de 2009 a 2018

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2009	451,5	1091,9	3602,6	3901,0	4738,1	2467,1	2149,2	145,8	21,6	9,9	52,5	57,0	18688,1
2010	400,4	33,3	495,5	2633,4	209,5	76,9	0,0	0,0	0,0	0,0	25,3	781,4	4655,8
2011	3010,9	1335,8	1816,7	1605,7	1890,1	434,1	842,4	129,0	0,0	365,0	174,6	20,3	11624,6
2012	311,5	1242,5	875,4	374,4	103,2	65,0	0,0	0,0	0,0	32,0	16,2	62,8	3083,2
2013	298,0	600,8	619,2	1282,1	1581,0	1152,7	629,0	15,7	20,4	27,6	138,4	10,7	6375,6
2014	729,8	406,6	2619,4	886,8	1300,2	306,0	0,0	0,0	174,3	65,4	198,9	57,9	6745,2
2015	465,9	820,4	2634,4	1100,5	409,8	638,3	2445,0	5,9	76,8	0,0	0,0	139,0	8736,0
2016	1417,4	290,2	1353,9	1584,1	840,6	271,3	9,2	8,0	10,7	0,0	0,0	83,8	5869,3
2017	604,4	692,4	132,4	1181,8	1431,4	503,5	785,1	35,6	0,0	100,0	57,5	125,7	5649,7
2018	542,7	1201,7	1686,9	3405,3	810,5	45,8	101,7	72,7	0,0	28,9	38,4	67,5	8002,1
MÉDIA	823,3	771,6	1583,6	1795,5	1331,5	596,1	696,2	41,3	30,4	62,9	70,2	140,6	7943,0

Fonte: Autor

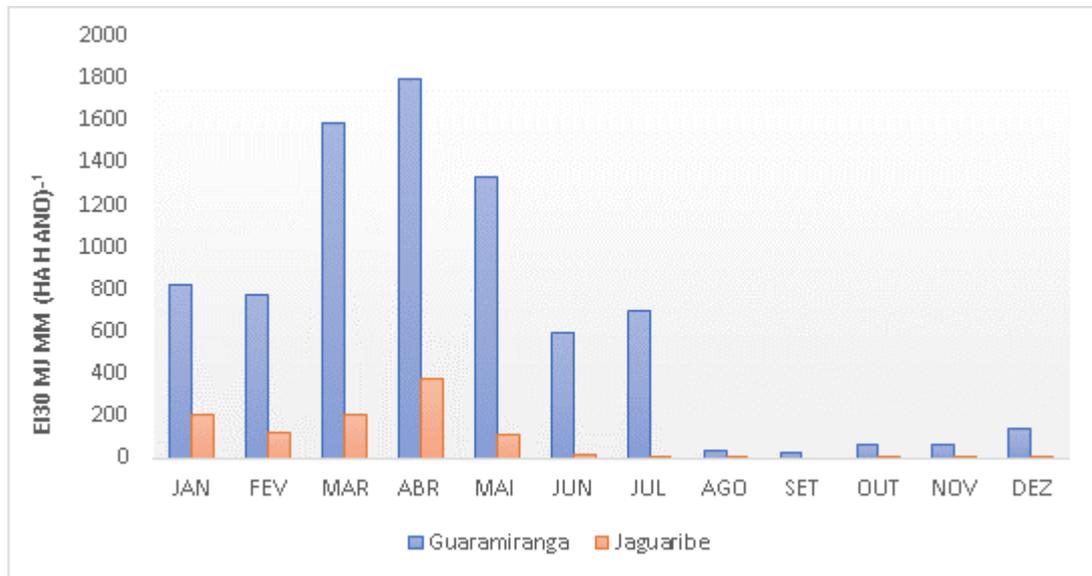
Tabela 6 - Índices de erosividade (EI30) da cidade de Jaguaribe ao longo dos anos de 2009 a 2018

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2009	256,4	403,1	295,0	2033,6	657,0	12,3	14,2	10,7	0,0	0,0	0,0	25,5	3707,8
2010	72,2	0,0	100,5	144,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3	0,0	50,4	406,8
2011	1445,4	202,2	403,1	389,6	27,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	4,7	0,0	2485,4
2012	72,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,3
2013	0,0	30,7	13,0	75,5	203,1	153,5	9,1	0,0	0,0	0,0	82,1	9,5	576,6
2014	0,0	0,0	0,0	266,0	152,6	6,8	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	434,4
2015	0,0	124,3	424,9	27,9	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	584,6
2016	202,1	16,8	158,2	244,1	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9	662,6
2017	18,0	63,3	542,4	45,3	37,9	17,2	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	731,6
2018	13,1	367,2	144,1	529,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	1075,8
MÉDIA	207,9	120,8	208,9	375,6	109,8	19,0	4,3	1,1	0,0	5,2	8,7	13,3	1074,5

Fonte: Autor

Considerando esses dados também podemos visualizar por meio da Figura 9 a diferença dos índices de erosividade médio entre a cidade de Guaramiranga e Jaguaribe nesses anos, principalmente em meses mais chuvosos, indicando uma erosividade média mensal maior na cidade de Guaramiranga.

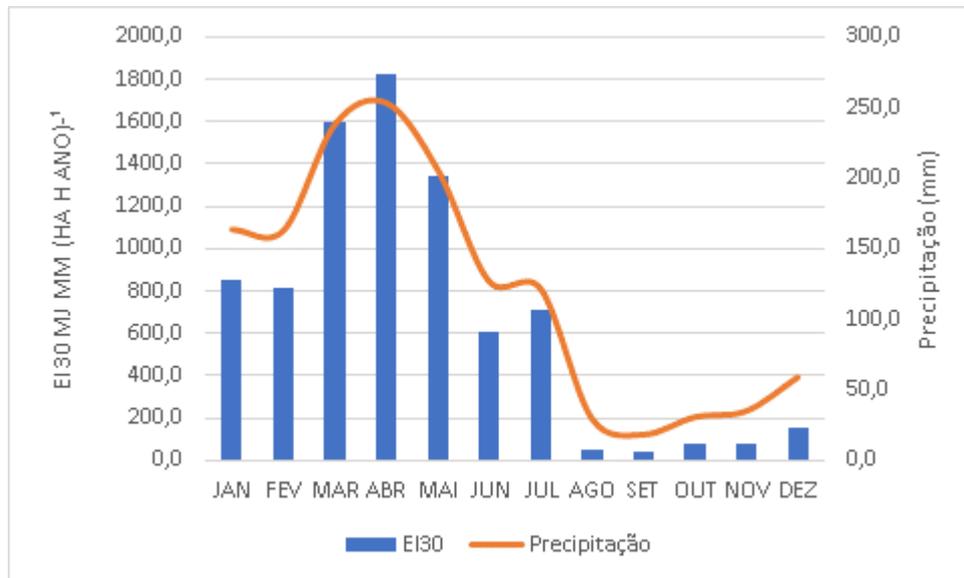
Figura 9 - Gráfico da média de erosividade mensal da cidade de Guaramiranga comparado com a cidade de Jaguaribe entre 2009 e 2018



Fonte: Autor

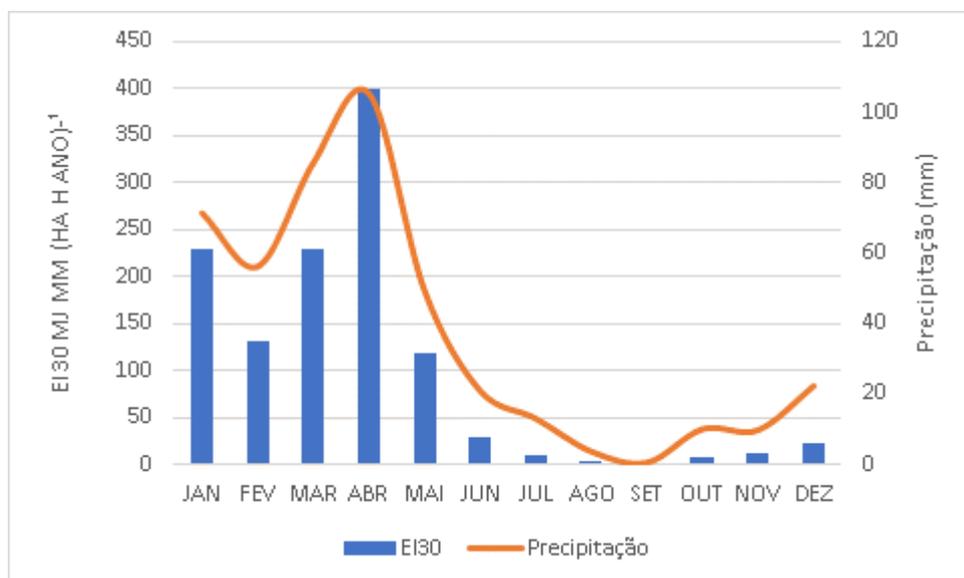
Ademais, é interessante notar pelos gráficos de precipitação média mensal e erosividade média mensal nas cidades possuem tendências parecidas, sendo nos meses de maior média de pluviosidade os meses de maior média de erosividade também, a qual, por sua vez, diminui no segundo semestre quando há baixos índices de precipitação. Segundo Hudson (1995), essa característica é um padrão unimodal de distribuição da chuva e de seu alto potencial de erosividade em países de clima tropical. Nesse aspecto, podemos verificar essa particularidade pela Figura 10, que relaciona a erosividade média mensal com as precipitações médias mensais da cidade de Guaramiranga.

Figura 10 - Correlação entre os índices de erosividade médio mensal e as precipitações médias mensais da cidade de Guaramiranga no período de 2009 a 2018



Fonte: Autor

Figura 11 - Correlação entre os índices de erosividade médio mensal e as precipitações médias mensais da cidade de Jaguaribe no período de 2009 a 2018

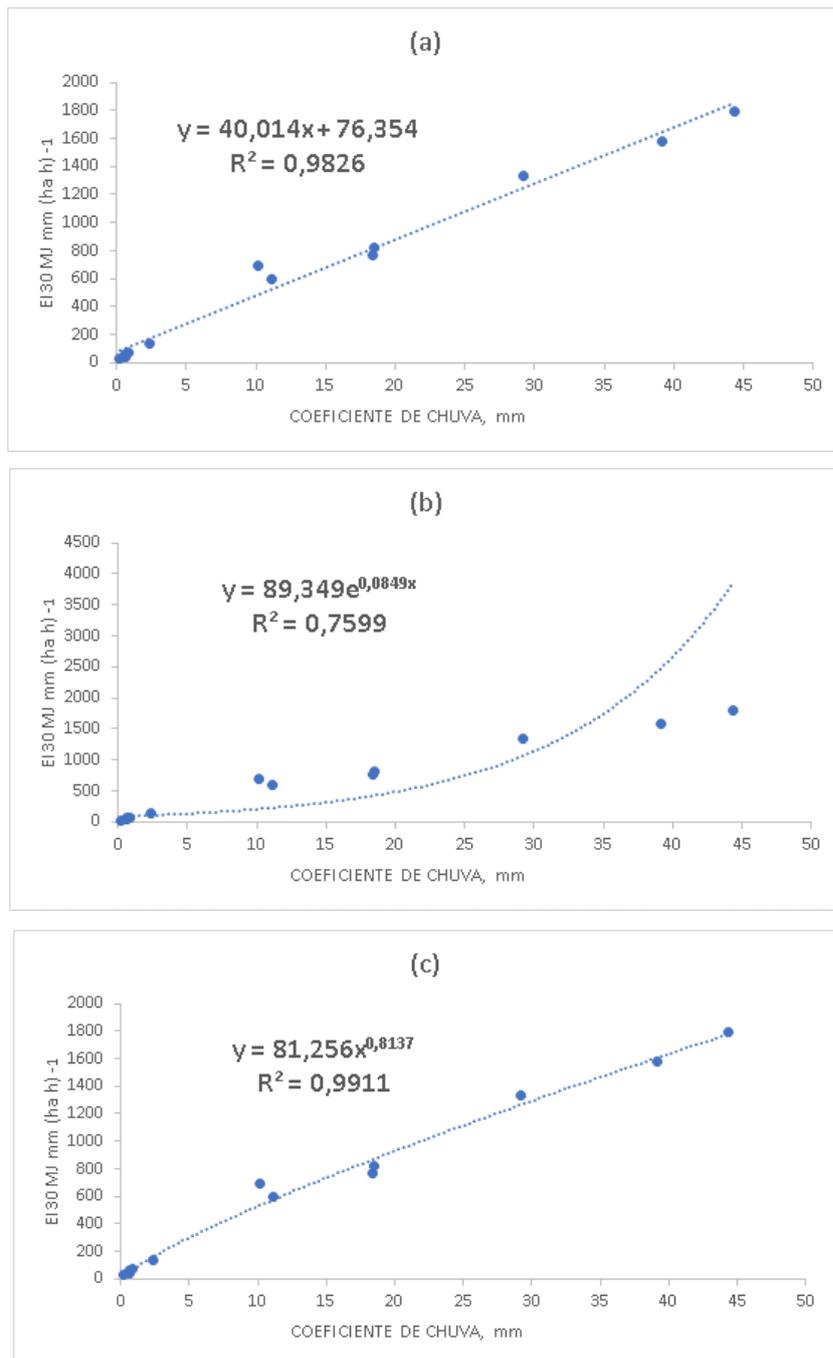


Fonte: Autor

A apresentação dos dados de Coeficiente de chuva mensal x EI mensal, calculados, permitiram obter equações de correlação dos dados do tipo linear, quadrática, potencial e exponencial, bem como seus respectivos coeficientes de correlação. Dessa forma, dentre as

equações foi escolhida aquela que apresentou o maior coeficiente de correlação (R^2). Podemos observar pelas Figura 12 e Figura 13 os gráficos das regressões com seus respectivos coeficientes de correlação, onde (y) é o índice de erosividade (EI_{30}) e (x) é o coeficiente da chuva.

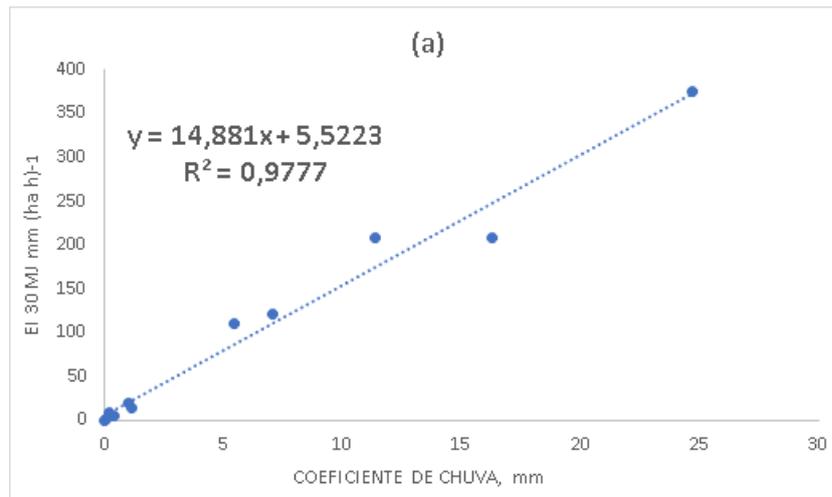
Figura 12 - Regressões entre o índice de erosividade (EI_{30}) médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Guarimiranga no período de 2009 a 2018. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial



Fonte: Autor

Logo, percebemos o maior coeficiente para a cidade de Guaramiranga foi o da Figura 12 (a) do gráfico de regressão potencial expresso pela fórmula $y = 81,256x^{0,8137}$ que garantiu um valor para R^2 de 0,9911.

Figura 13 - Regressões entre o índice de erosividade (EI30) médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Jaguaribe no período de 2009 a 2018. Sendo (a) linear



Fonte: Autor

Nesse caso da cidade de Jaguaribe apenas o gráfico de relação linear foi possível a visualização. A fórmula obtida foi $y = 14,881x + 5,5223$ e o valor de R^2 de 0,9777. A Figura 13 não possui gráfico para as formas de regressão exponencial e potencial, pois não foi possível obter valores de $EI30$ e do coeficiente de chuva devido aos dados zerados em alguns meses do ano. Isso ocorreu pois no mês de setembro não foi registrado chuvas acima de 10mm, sendo tradicionalmente um período de bastante seca comum nas localidades de interior onde predomina o clima semiárido nordestino.

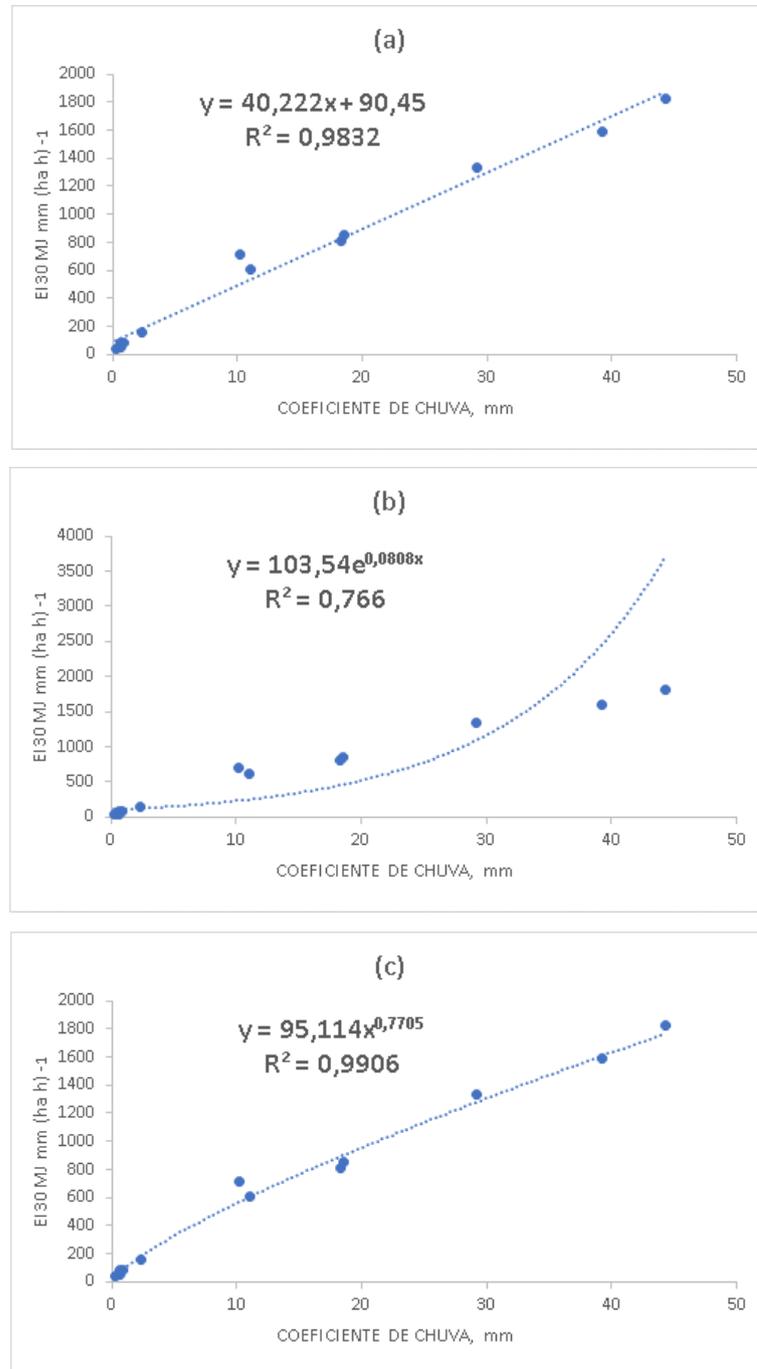
Diante disso, as equações com maiores coeficientes de correlação nos permitiram encontrar os valores médios e anuais da erosividade das cidades entre o período de 2009 a 2018. Para a cidade de Guaramiranga encontramos o valor de $7877,54 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ e para Jaguaribe de $1074,51 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$. De acordo com a Tabela 2, as cidades estão enquadradas na classificação de erosividade forte e fraca, respectivamente. Nota-se que há uma diferença significativa nos resultados de erosividade entre as cidades devido aos baixos índices de precipitação que ocorreram na cidade de Jaguaribe principalmente no segundo semestre dos anos, em que houve índice de erosividade zerado. Nesse sentido, ao longo desses 10 anos, podemos observar dados interessantes que mostram uma concentração de chuvas nos meses de

janeiro a junho nas duas cidades, que são os períodos em que há, costumeiramente, mais eventos chuvosos nas cidades do Ceará devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) principalmente. Assim, podemos observar pelos cálculos que o valor anual do índice de *EI30* no período de janeiro a junho correspondeu a 87% e 97% para as cidades de Guaramiranga e Jaguaribe, respectivamente. Além disso, analisando os meses de março e abril que, costumeiramente, são mais chuvosos no Estado do Ceará como um todo, temos os seguintes dados: 43% para Guaramiranga e 54% para Jaguaribe do índice de *EI30* nesses meses. Isso nos mostra uma tendência de períodos mais chuvosos concentradamente em poucos meses no ano, ocasionando também nesses casos índices de erosividade maiores nesses meses.

4.3.1 Verificação da influência das chuvas abaixo de 10mm no cálculo da erosividade

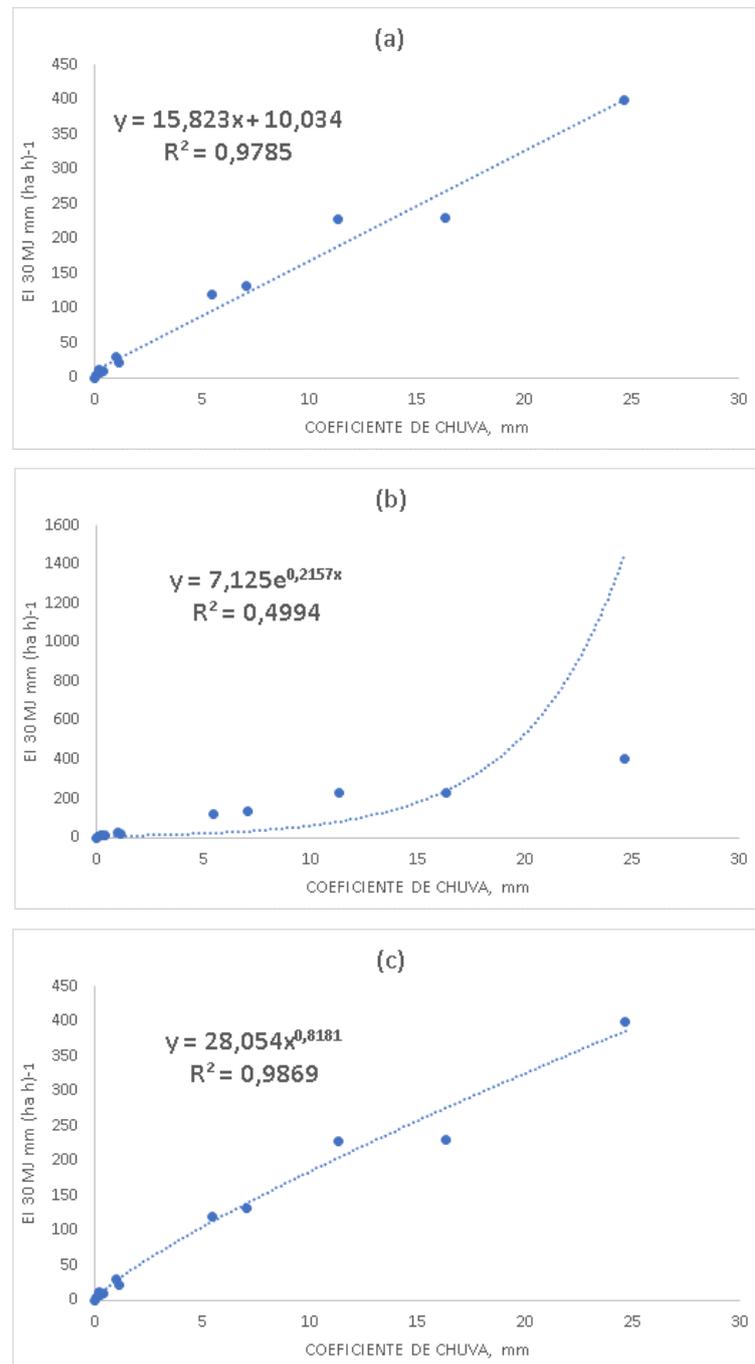
Como forma de comparação será retirado o parâmetro relacionado a quantidade mínima de pluviosidade de 10mm para entrar no cálculo da energia cinética. Assim, poderemos entender a influência que esse requisito pode causar em regiões que possuem baixos índices de pluviosidade médio anual no índice de erosividade pelo método relacionando o total de chuva e dados de intensidade. Nesse sentido, como podemos observar, na Figura 14 (a) relacionada a forma linear de maior R^2 entre as outras, ocorreu pouca variação entre a fórmula encontrada e o coeficiente de correlação para a cidade de Guaramiranga: o coeficiente variou de 0,9911 para 0,9906. Já no caso da cidade de Jaguaribe, houve uma significativa mudança na Figura 15 nos gráficos (b) e (c), pois na primeira análise sem considerar as chuvas abaixo de 10mm muitos dados pluviométricos não estavam sendo contabilizados. Com a consideração desses dados foi possível obter uma correlação sob a forma linear que teve o valor de $R^2 = 0,9777$ e na seguinte consideração $R^2 = 0,9869$ sob a forma potencial, que foi inclusive maior que o coeficiente de correlação do primeiro exemplo utilizando o parâmetro de chuvas com precipitação mínima de 10mm.

Figura 14 - Regressões entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Guaramiranga no período de 2009 a 2018 sem utilizar o parâmetro de 10mm. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial



Fonte: Autor

Figura 15 - Regressões entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e os parâmetros de pluviometria em Jaguaribe no período de 2009 a 2018 sem utilizar o parâmetro de 10mm. Sendo (a) linear, (b) exponencial e (c) potencial



Fonte: Autor

Diante disso, é interessante observar também a influência nos valores médios e anuais da erosividade das cidades. Para Guaramiranga, considerando todos os índices pluviométricos no período, utilizou-se a fórmula sob a forma potencial que obteve o maior valor de R^2 e o índice de erosividade de $8060,39 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ que é 2,32% maior que o índice

encontrado de $7877,54 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ considerando apenas eventos de chuvas superiores a 10mm visto na Tabela 7. Logo, notamos uma variação insignificante e podemos concluir, de acordo com a proposta de Wischmeier e Smith (1965) e modificado por Cabeda (1976) que os eventos de chuva com intensidade abaixo de 10mm no intervalo de 6 horas têm pouca relevância no índice de erosividade. Ademais, comparando os dados dessa análise para a cidade de Jaguaribe considerando todos os índices pluviométricos, temos as seguintes diferenças: para o valor do Fator R nesse caso temos $1206,09 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ que é 12,3% maior que o índice de $1074,51 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ considerando o critério de pluviosidade de Wischmeier e Smith (1965). Isso influi que no caso da cidade de Jaguaribe há uma maior influência das chuvas de altura precipitada menores que 10mm no intervalo de 6 horas, devido, principalmente, a utilização do critério acima que estava nos mostrando valores de erosividade mensal zerados para o mês de setembro e com o não uso desse critério passou a obter valores acima de zero.

Outro parâmetro relevante apresentado nas Tabelas 7 e 8 são os dados obtidos pela média anual dos índices de erosividade comparados aos obtidos pelas equações obtidas utilizando o coeficiente da chuva, onde (y) é referente ao índice de erosividade e (x) é relacionado ao coeficiente da chuva, que é dado pela precipitação média mensal ao quadrado (Mx) ou (p) dividido pela precipitação média anual (P). Os resultados mostram uma variação de aproximadamente +0,8% para Guaramiranga e -0,001% para Jaguaribe. Assim, podemos verificar que não houve variação significativa entre os resultados obtidos para a erosividade anual das duas cidades, portanto é válida a alternativa de determinar o Fator R pelo coeficiente de chuva que é composto pelos valores de pluviosidade mensal e anual. Com isso, é possível obter de forma simples e rápida os valores de erosividade para as cidades que possuem as equações formuladas.

Tabela 7 - Comparativo entre os dados obtidos com e sem o parâmetro de precipitação de no mínimo 10mm para o cálculo do índice de erosividade da cidade de Guaramiranga

Guaramiranga				
Precipitação	Origem	Equação	R ²	Fator R
>10 mm	Regressão potencial	$y = 81,256x^{0,8137}$	0,9908	7877,54 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>0 mm	Regressão potencial	$y = 95,114x^{0,7705}$	0,9906	8060,39 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>10 mm	EI30 médio anual	-	-	7942,96 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>0 mm	EI30 médio anual	-	-	8148,53 MJ mm(ha h ano) ⁻¹

Fonte: Autor

Tabela 8 - Comparativo entre os dados obtidos com e sem o parâmetro de precipitação de no mínimo 10mm para o cálculo do índice de erosividade da cidade de Jaguaribe

Jaguaribe				
Precipitação	Origem	Equação	R ²	Fator R
>10 mm	Regressão linear	$y = 14,881x + 5,5223$	0,9777	1074,51 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>0 mm	Regressão potencial	$y = 28,054x^{0,8181}$	0,9869	1206,09 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>10 mm	EI30 médio anual	-	-	1074,48 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
>0 mm	EI30 médio anual	-	-	1192,51 MJ mm(ha h ano) ⁻¹

Fonte: Autor

4.4 Comparativo dos resultados obtidos com equações na literatura

Para a análise dos resultados obtidos por meio dos dados pluviométricos das cidades de Guaramiranga e Jaguaribe vamos verificar as fórmulas e resultados do Fator R com a de outros autores que propuseram equações para regiões que se situam as cidades neste trabalho e também equações para localidades próximas, como Fortaleza e Bacia do Alto Jaguaribe.

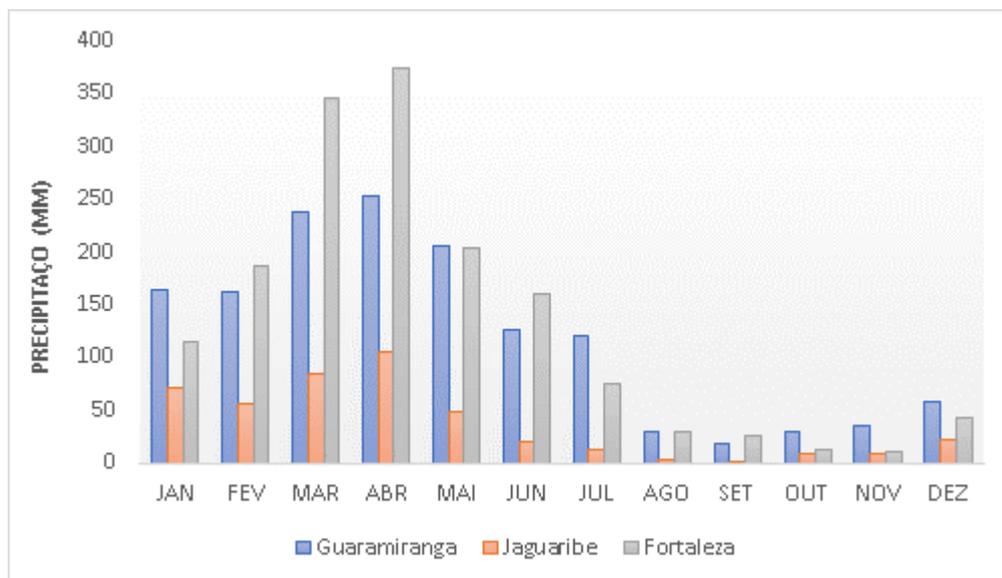
4.4.1 Comparação das equações obtidas com outra formuladas no Estado do Ceará

Diversos outros autores também formularam equações para o cálculo do Fator R baseado no método do coeficiente de chuva relacionado a intensidade. Dessa forma, é interessante obter valores comparativos com as equações para localidades próximas, verificando os índices de erosividade com o uso dos dados desse trabalho na fórmula dessas cidades próximas.

Nesse sentido, a equação de erosividade para a cidade de Fortaleza foi formulada por Silva e Dias (2003) utilizando o método do coeficiente de chuva com os valores do índice *EI30* médio mensal. A fórmula obtida por esses autores para a cidade de Fortaleza entre os anos de 1962 e 2000 foi: $EI30 = 73,989Rc^{0,7387}$, além disso o valor do Fator R encontrado foi de 6900,1 MJ mm (ha h ano) ⁻¹. Seguindo os dados da Tabela 2 referentes aos níveis de erosividade, podemos aferir que seguindo o valor obtido por esses autores a erosividade de Fortaleza está em níveis moderados a forte.

Analisando os índices de precipitação utilizados por Silva e Dias (2003) comparados aos das cidades estudadas nesse trabalho, percebemos pela Figura 16 que os índices pluviométricos da cidade de Fortaleza têm picos de chuvas bem acima das outras cidades nos meses de março e abril. Nesse sentido, Fortaleza obteve um total das médias precipitações de 1587mm, Guaramiranga 1402mm e Jaguaribe 448mm.

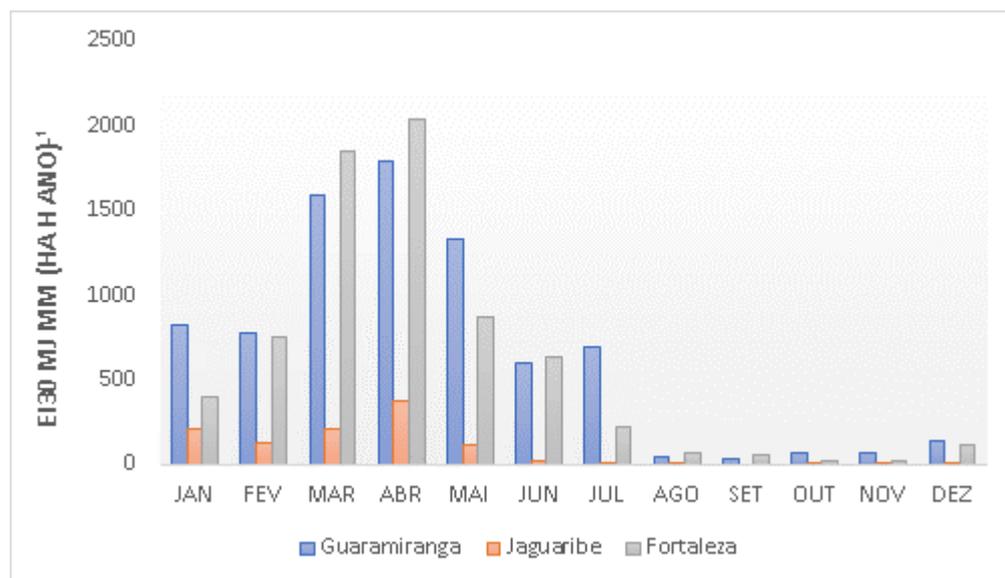
Figura 16 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guaramiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018



Fonte: Autor

Além disso, pela Figura 17 podemos verificar os índices de erosividade médios mensais para as três cidades. Os índices referentes a cidade de Fortaleza foram obtidos por meio dos pluviógrafos, enquanto os de Guarimiranga e Jaguaribe foram calculados pela definição de Bertoni e Lombardi Neto (2012) relacionando a energia cinética com a intensidade de chuva máxima em 30 minutos. Por essa figura é interessante notar a correlação de valores entre as cidades que é diretamente ligada ao Fator R obtido por cada uma delas. Ademais, pela Figura 17 houve uma variação relacionada entre os índices de pluviosidade e erosividade média mensal em alguns meses, existem diversos fatores que influenciam nesses resultados, como o método realizado para calcular os índices pelo coeficiente de chuva e intensidade. No método utilizado neste trabalho é preciso realizar parâmetros de eventos de chuva que serão ou não erosivos, como o de que a chuva para ser independente precisa estar a 6h de intervalo de outra e essa precipitação será considerada erosiva quando a altura for maior que 10 mm. Diante disso, muitas chuvas não entram para o cálculo da erosividade por não se adequarem ao parâmetro de altura mínima de 10 mm. Além disso, os meses de março e abril são meses em que os eventos de chuva na cidade de Fortaleza são bastante intensas, sendo 56% da erosividade total da cidade concentrada apenas nesses dois meses para esses dados, enquanto para a cidade de Guarimiranga são 43% do total.

Figura 17 - Comparação das precipitações médias mensais da cidade de Fortaleza no período de 1982 a 2000, Guarimiranga e Jaguaribe entre 2009 a 2018



Fonte: Autor

4.4.2 Comparação das equações obtidas com outras formuladas para a Região

Pela Figura 6, verifica-se a equação número 4 de autoria de Silva (2001) que propõe a fórmula para o cálculo do Fator R de acordo com o mês na região demarcada que inclui as cidades de Guaramiranga e Jaguaribe. Nesse sentido, na Tabela 9 podemos verificar os dados obtidos e o comparativo com os valores obtidos por este trabalho.

Tabela 9 - Comparativo entre a equação proposta por Silva (2001) para o mês com maior índice de precipitação mensal das cidades e os dados obtidos com base nos cálculos deste trabalho

Guaramiranga		
Equação	Autor	Fator R
$R_x = 42,307 * \left(\frac{M^2 x}{P}\right) + 69,763$	Silva (2001)	8266,47 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
$y = 81,256x^{0,8137}$	Autor	7877,54 MJ mm(ha h ano) ⁻¹

Jaguaribe		
Equação	Autor	Fator R
$R_x = 42,307 * \left(\frac{M^2 x}{P}\right) + 69,763$	Silva (2001)	3703,62 MJ mm(ha h ano) ⁻¹
$y = 14,881x + 5,5223$	Autor	1074,51 MJ mm(ha h ano) ⁻¹

Fonte: Autor

Na equação utilizada por Silva (2001) para estimar a erosividade de cada mês (R_x) é utilizado a precipitação média mensal (Mx) e a precipitação média anual (P), bem como as equações foram formuladas pela forma de regressão linear, logo os métodos foram os mesmos para encontrar as equações deste trabalho. Considera-se nesse caso o (R_x) sendo (y) e $\left(\frac{M^2 x}{P}\right)$ sendo (x).

Verificando os resultados obtidos podemos notar que houve uma variação significativa entre as equações. A erosividade encontrada pela equação de Silva (2001) dá valores para as duas cidades que são consideradas bastante altas. Pela Tabela 2, podemos verificar que considerando a equação de Silva (2001), Guaramiranga é considerada uma cidade com erosividade forte, coincidindo com a classificação do Fator R obtidos neste trabalho, e Jaguaribe com erosividade moderada, onde nesse caso houve uma disparidade mais abrupta entre os valores de erosividade anual. Assim, podemos inferir que em alguns casos é possível ter como

base equações gerais para regiões menores, porém em outros exemplos não é adequado esse uso da equação geral devido à alta variação de resultados, como para a cidade de Jaguaribe.

Além disso, pela Figura 4 podemos observar que as duas cidades se encaixariam na classificação de erosividade média, mas seguindo os dados obtidos no trabalho podemos inferir que no caso de Guaramiranga seria média-forte e Jaguaribe baixa. Deve-se levar em consideração que esse tipo de imagem é bastante generalista e não se adequa as particularidades das cidades estudadas. Por exemplo, a cidade de Guaramiranga possui um alto índice de pluviosidade devido principalmente ao relevo elevado em conjunto com as condições climáticas da região que tornam a cidade bastante úmida, tendenciando a cidade a ter índices de erosividade maiores e não sendo classificada como uma região de baixa capacidade erosiva.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a obtenção de equações para a obtenção do índice de erosividade das cidades de Guaramiranga e Jaguaribe utilizando o método de Bertoni e Lombardi Neto (1977). Os resultados indicaram equações com boas aderências aos dados experimentais, com coeficientes de correlação próximos de 1 que indicam correlação entre a variável *EI30* mensal e o coeficiente de chuvas. Também foi possível perceber que o primeiro semestre do ano para as duas cidades, onde há a ocorrência das chuvas erosivas, são obtidos os maiores valores de *EI30*, enquanto para segundo semestre, esse valor diminui em decorrência da diminuição dos volumes das precipitações. Esse comportamento também foi notado para a cidade de Fortaleza, demonstrando o padrão citado por Hudson (1995) da correlação entre a distribuição da chuva ao longo do ano e potencial elevado de erosão em países de clima tropical. Nesse sentido, verificou-se que as precipitações médias e anuais, bem como o *EI30* anual de Fortaleza e Guaramiranga possuem valores próximos.

Com relação a comparação feita entre o uso e o não uso de eventos de chuva com altura de precipitação mínima de 10 mm, A variação dos índices de erosividade encontrados, considerando ou não chuvas de 10mm para o cálculo da erosividade, foi de 0,79% para Guaramiranga. Assim, podemos inferir que não houve mudanças relevantes para esses valores obtidos e de acordo com a proposta de Wischmeier e Smith (1965) modificado por Cabeda (1976) as chuvas com precipitação máxima de 10mm num período de 6 horas têm pouca relevância na erosividade anual. Já no caso da cidade de Jaguaribe a variação foi de 12,3% sendo maior devido, principalmente, aos eventos de chuva que passaram a ser incluídos no cálculo geral com o não uso do critério de precipitações mínimas de 10mm e no primeiro caso estavam zerados.

Após obter as equações das cidades de Guaramiranga e Jaguaribe, foi possível comparar com a equação proposta para grandes áreas do Brasil. Para a equação na qual se localiza as duas cidades analisadas nesse trabalho, formulada por Silva (2001), podemos perceber que houve uma relevante variação de erosividade, principalmente para a cidade de Jaguaribe. O valor encontrado do Fator R, ou erosividade, para a cidade de Guaramiranga foi 4,9% acima do calculado pela equação proposta nesse trabalho e o de Jaguaribe foi 244,68% maior, que neste caso especificamente, está bem acima do comum levando em consideração a correlação de altos índices de precipitação e chuvas erosivas. Esses resultados indicam a necessidade de utilização da erosividade das chuvas a partir de equações obtidas de dados experimentais mais próximos

da região estudada, pois cada região possui suas especificidades que podem alterar bastante as medições de erosividade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, Gerson S. de e RIDENTE JÚNIOR, José L. **Erosão: Diagnóstico, Prognóstico e Formas de Controle. Goiânia: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, Minicurso, ABGE, 2001.
- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A. & SRINIVASAN, V.S. **Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno Não-Cálcico vértico em Sumé (PB)**. R. Bras. Ci. Solo, 22:743-749, 1998.
- ASCOUGH II, J. C., C. Baffaut, M. A. Nearing and D. C. Flanagan. 1995. Ch. 13. **Watershed model channel hydrology and erosion processes**. In USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, eds. D. C. Flanagan, M. A. Nearing and J. M. Laflen. NSERL Report No. 10. West Lafayette, Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- BAZZANO, M. G. P. *et al.* **Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS**. Revista Brasileira de Ciência e Solo, v. 31, p. 1205-1217, 2007.
- BARROS, Wanderbilt Duarte de. **A erosão no Brasil. Coleção Mauá-Ministério da Viação e Obras públicas**, 1956.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BERTOL, I. **Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990**. Pesq. Agropec. Bras., 29:1453-1458, 1994.
- BONILLA, C. A.; VIDAL, K. L. **Rainfall erosivity in Central Chile**. Journal of Hydrology, v. 410, p 126-133, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solo do estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo - M.A. Divisão de Agrologia - SUDENE, 1972. 670 p. Boletim técnico 13.

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

CAMPOS FILHO, O.R. **Avaliação da erosividade e sua correlação com perdas de solo e água no agreste de Pernambuco**. Areia - PB. 51 p. Tese (Mestrado em Agronomia) Curso de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo. Universidade Federal da Paraíba, 1983.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. **Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI30**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.243-249, 1989.

CARVALHO, M.P.; PISSARA, T.C. & PAULINO, H.B. **Erosividade da chuva de Selvíria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. **Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama**. R. Bras. Ci. Solo, 1997.

CÁSSIA, R.; FERNANDA, C.; GONÇALVES, T.; PORTO, J. & SILVEIRA, M. **Erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva de Pelotas – RS. 2012**.

CASSOL, E.A.; MARTINS, D.; ELTZ, F.L.F. & FALLEIRO, R.M. **Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963 a 1999**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA; MANEJO: INTEGRANDO A CIÊNCIA DO SOLO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS, 15., Santa Maria, 2004. Resumos expandidos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004b.

DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L.; WÜNSCHE, W.A. & WENDT, W. **Características fundamentais da chuva no Brasil**. I. Rio Grande do Sul. Pesq. Agropec. Bras., 15:419-421, 1980.

DIAS, A.S. **A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com parâmetros pluviométricos: 1a. aproximação.** Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2002. 42p. (Tese de Mestrado)

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

FEITOZA, H.N.; MOLENAAR, M.; MEIJERE, T. & STUIVER, J. Spatial data modelling for GIS application. In: FEITOZA, L.R.; STOCKING, M.S. & RESENDE, M., eds. **Natural resources information systems for rural development - approaches for Espírito Santo State, Brazil.** Vitória, Incaper, 2001. p.147-173.

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

G. COLODRO, M. P. CARVALHO, C. G. ROQUE & R. M. PRADO. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP),** 2002.

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

IBGE. **Dados de Informações Básicas Municipais.** Brasil, 2002

INFANTI JÚNIOR, N & FORNASARI FILHO, N. **Processo da Dinâmica Superficial** In: OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S. N. A. de (Org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998, p. 101-152.

J. T. Hunt, P. A. Renard, and W. W. Simmons, "**Improved performance of fusion lasers using the imaging properties of multiple spatial filters,**" Appl. Opt. 16, 779-782 (1977)

Lal C. Vishwakarma, Orum D. Stringer, Franklin A. Davis. (\pm)- **trans -2-(Phenylsulfonyl)-3-phenyloxaziridine.** 2003, p. 203-203.

JERABI, S.; Berndtsson, R.; Boufaroua, M. & Bahri, A. **Exceptional rainfall characteristics related to erosion risk in semiarid Tunisia**. Open Hydrology Science Journal v. 52, p. 25-33, 2008.

JEBARI, S. Berndtsson, R.; Boufaroua, M. & Bahri, A. Regionalizing fine time-scale rainfall affected by topography in semiarid Tunisia. Hydrology Science Journal v. 52, p. 1199-1215, 2007.

JERABI, S.; Berndtsson, R.; Olsson, J. & Bahri, A. **Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation**. Journal of Hydrology, v. 436-437, p. 102-110, 2012.

JESUS, Andreilisa Santos de. **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO**. 2013. 340p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. **Soil erosion research methods**. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LAGO, J.C. **Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2000**. (Tese de Doutorado)

Liu, BY, Nearing, MA, Baffaut, C, and Ascough II, JC, 1997, **The WEPP watershed model: III. Comparisons to measured data from small watersheds**: Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 40: 945–951.

LOPES, P.C.R. & BRITO, L.T.L. **Erosividade da chuva no Médio São Francisco**. R.Bras. Ci. Solo, 17:129-133, 1993.

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

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. **Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE)**. R. Bras. Ci. Solo, 9:165-169, 1985.

MELO, J. F. G; **Utilização de geossintéticos no controle da erosão**. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Civil. Univerisade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016

MELLO, J.M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. **Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul**. R. Bras. Ci. Solo, 12:285-288, 1988b.

MOREIRA, A.A.M. **A influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte: estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local**. 1999. 186p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MOREIRA, J.L.B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno**. 2002. 186p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. & MEDINA, B.F. **A erosividade das chuvas em Manaus (AM)**. R. Bras. Ci. Solo, 14:235-239, 1990.

OLIVEIRA, F.P. **Erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais**. 2006. 105p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, F. F.; **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares Urbanos: Estudo de caso de uma voçoroca no bairro do Bequimão – São Luís- MA**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Maranhão. São Luiz, 2018.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. **Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE**. Journal of Hydrology, v.157, p.287-306, 1994.

RIBEIRO JUNIOR, P.J.; DIGGLE, P.J. **GeoR: a package for geostatistical analysis**. R-News, v.1, p.15-18, 2001. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/doc/Rnews>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

SANTOS, C. N. (2008). **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

SANTOS, T. M.; MONTENEGRO, A. A. **Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano, 2012**.

SALOMÃO, F. X. de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. P. 229-268.

SALOMÃO, Fernando Ximenes T; IWASA, Oswaldo Yujiro. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo; ABGE E IPT, 1995.

SILVA, J.R.C. & DIAS, A.S. **A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000**. R. Bras. Ci. Solo, 27:347-354, 2003.

SILVA, J.R.C. **Erosão e produtividade do solo no semi-árido**. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JR., R.N.; ROMERO, R.E. & SILVA, J.R.C., eds. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p.169-213.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; & MARTINS, S.G. **Erosividade das chuvas na região dos tabuleiros costeiros, Município de Aracruz (ES) - Primeira aproximação**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM

SILVA, A.M. da. **Rainfall erosivity map for Brazil**. Catena, v.57, p.251-259, 2004.

VAL, L.A. **Avaliação dos índices de erosividade das chuvas no Município de Lavras, MG.** 1985. 72p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: UFV, 2000. 448p.

VIOLA, M.R. **Comportamento espacial e temporal de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais.** 2006. 74p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** **Trans.** Am. Geophys. Union, 39:285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. **A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.** **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 23:246-249, 1959.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington, D.C, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537)