

Erosividade na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, PE – Brasil
Erosivity in the Ipojuca river hydrographic basin, PE – Brazil
Erosividad en la cuenca hidrográfica del río Ipojuca, PE – Brazil

Recebido: 25/05/2020 | Revisado: 02/06/2020 | Aceito: 03/06/2020 | Publicado: 16/06/2020

Manoel Viera de França

<https://orcid.org/0000-0003-4973-9327>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: manoelvieira.ufrpe@gmail.com

Raimundo Mainar de Medeiros

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3455-9876>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: mainarmedeiros@gmail.com

Wagner Rodolfo de Araújo

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7203-0338>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: wagneraraujops@gmail.com

Resumo

A erosão dos solos é um dos problemas ambientais em todo o mundo, levando a perda de solos e a queda na produtividade das terras. Objetiva-se a realizar análise do índice erosivo pluvial na bacia hidrográfica do rio Ipojuca. Utilizou-se de séries de dados pluviométricos mensais e anuais compreendidos entre 1962 a 2016. O fator R, erosividade pluvial, permite a avaliação do potencial erosivo pluviométrico de um determinado local, sendo admissível avaliar a envergadura e o seu potencial pluvial em provocar erosão no solo, possibilitando técnicas de manejo e ocupação adequada. Para determinação do fator erosividade aplicou-se as equações sugeridas por Wischmeier; Wischmeier e Smith e o coeficiente de chuvas. Obteve-se alta correlação do índice erosividade com o coeficiente de chuva, utilizaram das equações obtidas para estimar o fator R de perda de solo. O fator “R” deve ser utilizado com segurança para as áreas de entorno da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, com características climáticas semelhantes, ampliando a possibilidade de utilização deste fator no planejamento conservacionista da agilidade agropecuária.

Palavras-chaves: Degradação do solo, condições ambientais, regiões climáticas.

Abstract

Soil erosion is one of the environmental problems worldwide, leading to soil loss and a drop in land productivity. The objective is to carry out analysis of the rainfall erosive index in the hydrographic basin of the Ipojuca River. A series of monthly and annual rainfall data from 1962 to 2016 was used. The R factor, rainfall erosivity, allows the assessment of the rainfall erosive potential of a given location, and it is permissible to assess the extent and its rainfall potential in causing erosion in the area. soil, enabling management techniques and adequate occupation. To determine the erosivity factor, the equations suggested by Wischmeier were applied; Wischmeier and Smith and the rainfall coefficient. A high correlation between the erosivity index and the rainfall coefficient was obtained, using the equations obtained to estimate the R factor of soil loss. The "R" factor should be used safely for the areas surrounding the Ipojuca river basin, with similar climatic characteristics, expanding the possibility of using this factor in the conservation planning of agility in agriculture.

Keywords: Soil degradation, environmental conditions, climatic regions.

Resumen

La erosión del suelo es uno de los problemas ambientales en todo el mundo, lo que lleva a la pérdida de suelo y una caída en la productividad de la tierra. El objetivo es realizar un análisis del índice de erosión por lluvia en la cuenca del río Ipojuca. Se utilizó una serie de datos de precipitaciones mensuales y anuales de 1962 a 2016. El factor R, la erosividad de la lluvia, permite evaluar el potencial erosivo de la lluvia en un lugar determinado, y está permitido evaluar la extensión y su potencial de lluvia para causar erosión en el área. suelo, permitiendo técnicas de manejo y ocupación adecuada. Para determinar el factor de erosividad, se aplicaron las ecuaciones sugeridas por Wischmeier; Wischmeier y Smith y el coeficiente de lluvia. Se obtuvo una alta correlación entre el índice de erosividad y el coeficiente de lluvia, utilizando las ecuaciones obtenidas para estimar el factor R de pérdida de suelo. El factor "R" debe usarse de manera segura para las áreas que rodean la cuenca del río Ipojuca, con características climáticas similares, ampliando la posibilidad de usar este factor en la planificación de la conservación de la agilidad en la agricultura.

Palabras clave: degradación del suelo, condiciones ambientales, regiones climáticas.

1. Introdução

A degradação do solo é um problema mundial e tem várias implicações nas estruturas sociais e econômicas das populações, além de prejudicar o setor da agropecuária e agronegócio onde se verifica as áreas com esse fenômeno. No Brasil ela está mais presente na região Nordeste, principalmente na região semiárida, aonde os impactos podem gerar extermínio da biodiversidade,

causando redução da disponibilidade de recursos hídricos, através do assoreamento de rios e reservatórios e da perda física e química de solos conforme Lacerda & Larceda (2004).

Processos erosivos foram encontrados nos núcleos de desertificação no nordeste brasileiro, nos quais a maioria apresenta estado avançado de erosão dos solos (Perez-Marin 2012). Outro exemplo foi diagnosticado na China, aonde a erosão dos solos vem restringindo o potencial de fertilidade das áreas da bacia hidrográfica do rio Tarim (Liu, 2016).

O fator erosividade (R) de perdas de solo concebe o potencial erosivo pluviais de uma determinada região, assumido períodos de dados pluviais com 20 a 30 anos. O fator R pondera o potencial erosivo das chuvas de certo local, onde se conhecer a capacidade e o potencial pluvial em ocasionar erosão (Menezes & Leite 2011). Na obtenção do fator erosivo, é imprescindível determinar o índice erosivo, que simula o produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima com duração de 30 minutos (Cassol, Eltz, Martins, Lemos, Lima & Bueno, 2008). Este índice fundamentou-se em distintos artigos sobre erosividade onde se sobressair às pesquisas desenvolvidas por (Peñalva-Bazzano, Eltz & Cassol 2010; Santos & Montenegro, 2012; Cavalcante & Cunha, 2012; Xavier, Dornellas, Maciel & Cicero, 2012; Santos, Andrade, Medeiros, Araújo, Palácio & Rodrigues, 2014; Zanin, Bonuma & Mirella, 2017; Jardim, Araújo, Silva, Morais & Silva, 2017).

Outras problemáticas esperadas são as reduções dos índices pluviométricos que poderão atingir 60% dos valores mensais. Se as estimativas estiverem corretas, os reservatórios de armazenamento de água ficarão obsoletos, restringindo significativamente o acesso à água potável. As mudanças atingirão a fauna e a flora, onde alguma espécie pode chegar à extinção (Marengo, Nobre, Chou, Tomasella, Sampaio, O'bregon, Soares, Betts & Gillin, 2011).

Os impactos causados pela erosão hídrica são o empobrecimento do solo devido à perda de nutrientes e matéria orgânica, assoreamento e contaminação dos lençóis hídricos pelo deslocamento de fertilizantes e agrotóxicos, ocasionando mudanças diretas na fauna e flora (Bertoni & Lombardi, 2012; Pires & Sousa, 2013). Pires, Sousa, (2013) afirmaram que a erosão do solo é analisada como um processo de origem natural com a finalidade de formação da paisagem e renovação do solo.

A Organização das Nações Unidas (ONU) mostrou que a ocorrência da desertificação é considerada restrita aos ambientes áridos, semiáridos e subúmido secos, onde a razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração ocorre entre 0,05 e 0,65. A desertificação é um dos maiores problemas na atualidade, destacando-se entre os principais temas ambientais mundialmente considerados. As áreas susceptíveis à desertificação estão além do polígono das secas, envolvendo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, atingindo um total de 1.482 municípios. Silva, Medeiros & Patricio, (2011) afirmaram que o processo da desertificação, de uma maneira geral, ocorre em áreas

mesmo que a razão entre precipitação e evapotranspiração potencial anual é inferior a 0,65, isto corresponde a áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, na qual uma combinação dos fatores antrópicos e naturais agem de forma a acelerar ou não a ação erosivo.

Os autores como Reboita, Gan, Rocha & Ambrizz (2010); Oliveira Júnior, (2014) e Brito, Oliveira, Lyra, Goes & Zeri, (2016) afirmam que avaliar a classificação das variáveis climáticas no período superior a 50 anos é extremamente importante em virtude da sua variabilidade e das mudanças climáticas que têm impacto direto nas catástrofes naturais (secas, enchentes, índice de aridez, desertificação entre outros).

Nas últimas décadas, com a modernização e o crescimento das cidades e o aumento da urbanização, registra-se condições as quais vem provocando mudanças no clima local, devido principalmente à construção de obras, como edificações, impermeabilização dos solos, desmatamento e queimadas, ausência de planejamento urbano e rural para melhoria do convívio entre ser humano e o meio ambiente e que vem excluindo os elementos naturais, e induzindo o aparecimento de eventos extremos, tendo como consequências nas grandes cidades: inundações, cheias, alagamentos, enchentes, desmoronamentos, aumento de pragas, doenças e mortes segundo Santos (2007). Portanto, estudos sobre este processo de degradação são de suma importância porque tais eventos comprometem fortemente a economia e o meio ambiente, afetando a população urbana e rural do município, e sua expansão nas circunvizinhanças, com muita rapidez pelos domínios morfoclimáticos da Caatinga.

A erosividade pluvial, definidas como o potencial da chuva em provocar erosão no solo, é função das características físicas do próprio índice pluvial, onde são citados sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Moreti, Mannigel & Carvalho, (2003) na expectativa de detalhar as ações desses agentes erosivos, pesquisas vem sendo realizada na tentativa de mostrar que as características pluviométricas que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a energia cinética.

Medeiros, Matos, Silva & Saboya (2015) avaliaram o balanço hídrico e o índice erosivo pluviais em função do cenário de mudanças climáticas para Cabaceiras-PB. Os resultados mostraram que no cenário otimista (B2) e pessimista (A2), indicaram situações críticas das condições do solo, ocasionando perdas para os recursos hídricos e inviabilizando cultivos de sequeiro. Avaliaram que a área estudada enquadrava-se como de alta erosividade uma vez que o fator erosividade (R) encontrado foi de $11.701,1 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Ferreira & Urbano (2013) estudando a região Semiárida brasileira, mostraram que a produção agrícola está frequentemente sujeita a adversidades climáticas, as quais podem comprometer o crescimento e desenvolvimento das culturas e conferir baixos rendimentos à atividade pecuária.

Medeiros & Vieira (2012), determinaram a erosividade para Areia - PB, e encontraram um índice erosivo de 31.528,8 MJmmha⁻¹h⁻¹ano. Verificaram que os maiores índices erosivos registraram-se entre março a agosto coincidindo com o período chuvoso da região. Entre setembro e primeira quinzena do mês de fevereiro ocorreram os menores índices erosivos que correspondem ao período seco e início da estação chuvosa e da pré-estação na região.

Diante do exposto, objetiva-se a realização de análise erosiva das chuvas intermunicípios na área da bacia hidrográfica do curso do rio Ipojuca, para a devida compreensão dos impactos provenientes do referido processo, visando maiores informações aos tomadores de decisões e as autoridades municipais, estaduais e federais para futuras elaborações de projetos urbanos e rurais para uma melhor convivência da população e o meio ambiente.

2. Metodologia

Á bacia do Rio Ipojuca, localiza-se em sua totalidade no Estado de Pernambuco, entre 08°09'50" e 08°40'20" de latitude Sul, e 34°57'52" e 37°02'48" de longitude Oeste. Devido à sua conformação alongada no sentido oeste-leste, essa bacia tem uma posição estratégica no espaço estadual, servindo de grande calha hídrica de ligação entre Recife e a região do Sertão (Figura 1).

Figura 1. Perfil da bacia hidrografia do rio Ipojuca e municípios de entorno.



Fonte: Medeiros (2020).

Os trechos superior, médio e submédio da bacia estão localizados nas regiões do Sertão (pequena porção) e Agrestes, enquanto que o trecho inferior tem a maior parte de sua área situada na zona da Mata Pernambucana, incluindo a faixa litorânea do Estado.

Limita-se ao norte, com a bacia do rio Capibaribe, grupo de bacias de pequenos rios litorâneos e com a Paraíba; ao sul, com a bacia do Rio Sirinhaém; a leste, com o Oceano Atlântico; e, a oeste, com as bacias dos Rios Ipanema e Moxotó e a Paraíba.

Á bacia do Rio Ipojuca envolve área de 3.435,34 km², correspondendo a 3,49% da área estadual. A bacia é composta de 25 municípios, dentre os quais, 14 possuem suas sedes inseridas na bacia. O percurso do Rio Ipojuca, com cerca de 320 km, é preponderantemente orientado na direção oeste-leste, sendo seu regime fluvial intermitente, tornando-se perene a partir do seu trecho médio, nas proximidades de Caruaru.

Seus principais afluentes, pela margem direita, são os riachos Liberal, Taquara e do Mel, e, pela margem esquerda, os riachos do Coutinho, dos Mocós, do Muxoxo e Pata Choca. O riacho Liberal, seu afluente mais importante, tem suas nascentes nas terras de Alagoinha, drenando seus 47 km de extensão, áreas das cidades de Alagoinha, Pesqueira e Sanharó, e deságua no Rio Ipojuca. Tem seu estuário bastante alterado nos últimos anos, em decorrência da instalação do Complexo Portuário de Suape.

Realizou-se a divisão da bacia hidrográfica do rio Ipojuca em três categorias: alto, médio e baixo Ipojuca (Tabela 1).

Tabela 1 – Municípios, coordenadas geográficas (latitude (°), longitude (°) e altitude (m)), seguidamente de seus trechos baixo, médio e alto para a bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

Baixo Ipojuca			
Municípios	Latitude	Longitude	Altitude
Amaraji	-8,30	-35,45	386
Chã Grande	-7,70	-39,24	466
Escada	-8,30	-35,23	145
Gravatá	-8,20	-35,54	460
Ipojuca	-8,50	-35,01	62
Pombos	-8,10	-35,40	341
Primavera	-8,30	-35,35	367
Vitória de Santo A	-8,80	-35,63	253
Médio Ipojuca			
Agrestina	-8,45	-35,954	458
Altinho	-8,49	-36,06	530
Bezerros	-8,24	-35,753	553
Caruaru	-8,23	-35,916	539
Camocim de São Feli	-35,70	-8,3175	672
Riacho das Almas	-8,13	-35,859	443
Sairé	-8,32	-35,709	628

Alto Ipojuca			
Alagoinha	-8,46	-36,774	717
Arcoverde	-8,43	-37,056	794
Belo Jardim	-8,33	-36,421	727
Cachoeirinha	-8,48	-36,238	572
Capoéiras	-36,6	-8,7300	834
Pesqueira	-8,35	-36,697	791
Porção	-8,18	-36,705	904
Sanharó	-8,36	-36,566	726
São Caitano	-8,32	-36,138	639
Tacaimbó	-9,10	-38,153	621
Venturosa	-7,92	-38,969	638

Fonte: Medeiros (2020).

Utilizou-se de série mensal e anual pluvial coletado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e a Agência Pernambucana d'água e clima (APAC, 2017), compreendido entre e 1962 a 2016.

Na determinação erosiva aplicou-se das equações proposta por Wischmeier, Johnson & Cross, 1971; Wischmeier & Smith, 1958; Wischmeier & Smith, 1978 expressa por:

$$EI_{30} = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right) e^{0,85}$$

sendo:

EI_{30} = média mensal da erosividade pluvial (MJ. mm ha⁻¹.h⁻¹);

r= precipitação mensal (mm); e

p= precipitação anual (mm).

O fator R foi avaliado pelo somatório dos valores mensais da erosividade, conforme a equação:

$$R = \sum_1^{12} EI_{30}$$

Utilizando-se dos dados pluviais obtidos da série de dados pertencente a bacia do rio Ipojuca, estabeleceu-se uma relação linear entre a erosividade pluviométrica dada pelo índice EI_{30} , coeficiente de chuva R_c . O cálculo do R_c , como sugerido por Lombardi Neto (1977), expresso por:

$$R_c = P_m^2/P_a$$

Onde:

R_c - coeficiente pluviométrico (mm);

P_m - precipitação mensal (mm), e

P_a - precipitação anual.

A classificação da erosividade pluviométrica mensal e anual foi produzida pela aplicação da metodologia utilizada por Carvalho, Cruz, Pinto, Silva & Guerra (2008), com base nas classes para análise dos resultados de (R) e da Tabela 2.

Tabela 2. Classe para interpretação do índice erosivo anual, na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca - PE.

Erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$)	Classes de erosividade
$R < 2452$	Fraca
$2452 < R < 4905$	Moderada
$4905 < R < 7357$	Moderada a forte
$7357 < R < 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Carvalho, et al., (2008).

Os preenchimentos de falhas foram realizados pelo método da média ponderada pelo inverso da distância ao quadrado desenvolvido em planilhas eletrônicas por Medeiros (2016), após a etapa do preenchimento realizou-se as consistências e harmonizações da série pluviométrica da área estudada.

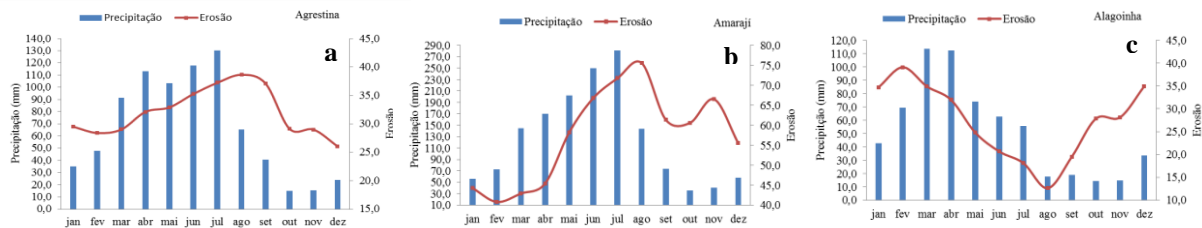
3. Resultados e Discussão

Nas Figuras seguintes tem-se a variabilidade da precipitação histórica e da erosão para os 25 municípios que entornam a bacia hidrográfica do rio Ipojuca – PE.

A Figura 3 (a, b, c) observam-se que nos municípios Agrestina (a), Amaraji (b) e Alagoinha (c), os índices erosivos tenderam a ficar abaixo da pluviometria entre março a julho e de agosto a fevereiro a erosibilidade superaram o nível pluvial, exceto a área municipal de Alagoinha.

Em Amaraji os índices erosivos entre agosto a dezembro superaram os índices pluviométricos, de janeiro a julho superaram os erosivos.

Figura 3. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Agrestina (a), Amaraji (b) e Alagoinha (c).

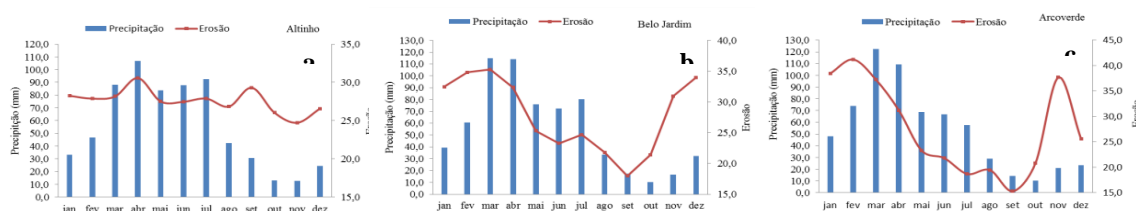


Fonte: Medeiros (2020).

Estudos próximos à área corroboram com os resultados dos estudos encontrados pelos autores Matos, Silva, Medeiros, Saboya, Borges & Galvão, 2017; Medeiros, Matos, Silva & Saboya (2015), Rosa, Sousa, Costa & Sousa (2016) que depararam com índices erosivos próximos aos valores em discussões. A proximidade entre os valores era esperada em função da similaridade da distribuição anual e do comportamento pluvial da região norte e leste do Brasil, se justificando pela intensidade das chuvas no período estudado por Marengo, (2008).

Nas Figuras 4(a, b, c) demonstram as variabilidades das precipitações e erosão nos municípios: Altinho, Belo Jardim e Arcoverde para o período de 1962-2016. As oscilações pluviométricas superaram as flutuabilidades erosivas de março a julho em Altinho, já os meses de agosto a fevereiro os índices erosivos, superaram as flutuações pluviométricas. Nos municípios de Belo Jardim e Arcoverde Figura 4(b, c) observa-se que entre março a setembro as flutuações pluviométricas foram maiores que as erosivas, e entre outubro a fevereiro registrou-se o inverso, exceto o mês de setembro que equiparou-se com os índices do município de Belo Jardim.

Figura 4. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Altinho (a), Belo Jardim (b) e Arcoverde (c).



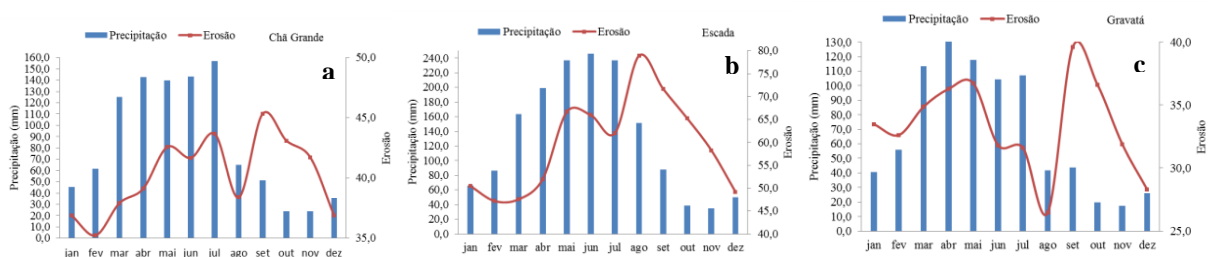
Fonte: Medeiros (2020).

Mazurana, Cassol, Santos, Eltz & Bueno, (2009) descobriram valores anuais extremos oscilando entre 3,295 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (1978) a 19,343 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (1997) para o município de Santa Rosa - RS, estes resultados foram diferentes ao estabelecido na área estudada.

Os municípios Chã Grande, Escada e Gravatá representados pelas Figuras 5(a, b, c) que demonstram suas oscilações pluviiais versus erosão. Têm-se índices erosivos menores que as taxas pluviiais de janeiro a agosto, ocorrem inversão entre os meses de setembro a dezembro onde o índice erosivo superou os índices pluviiais. Destacam-se exceções para os meses de janeiro e fevereiro em Gravata e agosto em Escada.

Estas variabilidades erosivas entre setembro a dezembro estão relacionadas com os fatores meteorológicos atuantes na região que proporcionaram chuvas acima dos padrões normais em curto intervalo de tempo e com alta magnitude.

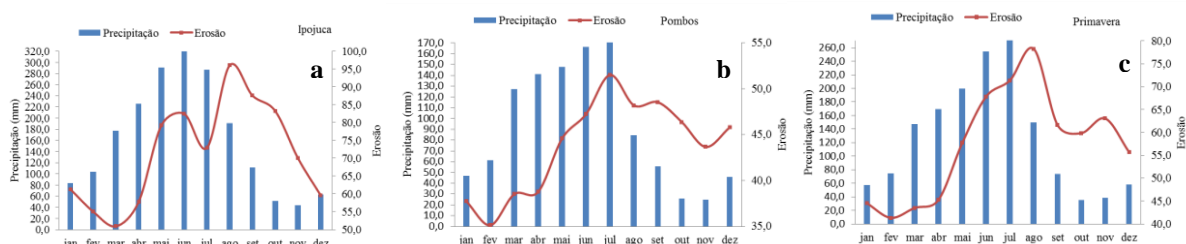
Figura 5. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Chã Grande (a), Escada (b) e Gravatá (c).



Fonte: Medeiros (2020).

Entre janeiro a julho os valores erosivos sofreram reduzidos e os índices pluviiais elevados, de agosto a dezembro registrou-se os inversos erosividade altas e baixas precipitações para os municípios de Ipojuca, Pombos e Primavera. Destaca flutuabilidades erosivas entre os municípios estudados apresentam variabilidades diferentes entre o período úmido e seco em conformidade com as Figuras 6(a, b, c), estas variabilidades foram causadas pela ativação dos fatores provocadores e/ou inibidores de chuva na região. Estes resultados estão em conformidade com os estudos de (Marengo, 2008; Marengo, Nobre, Chou, Tomasella, Sampaio, Alves, Obregaon, Soares, Betts & Gillis 2011).

Figura 6. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Ipojuca (a), Pombos (b) e Primavera (c).



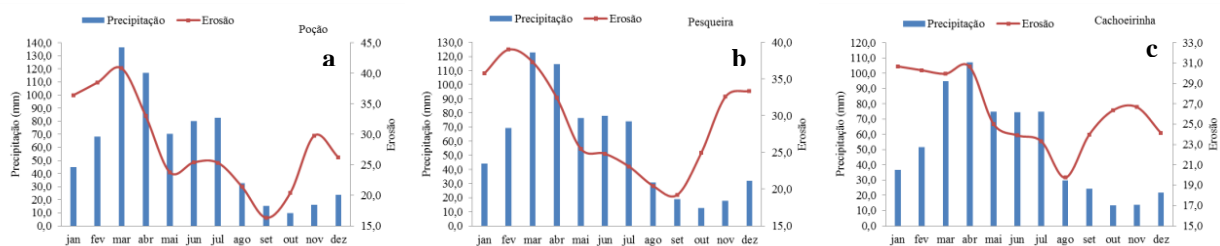
Fonte: Medeiros (2020).

Silva, Pereira, Azevedo, Sousa & Sousa, (2010) em seus estudos sobre o índice erosivo (EI_{30}) para a bacia experimental do riacho Mimoso, no semiárido pernambucano, encontraram erosividade de $10.152,31 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no ano de 2010 com, concordando com os dados obtidos neste estudo. Já Santos & Montenegro, (2012) estudando o EI_{30} e os padrões hidrológicos no Agreste pernambucano, obtiveram resultados diferentes. Os autores concluíram que o fator erosividade obtido ($2.779,79 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), classificou o agreste como índice de erosividade média.

Nas Figuras 7 (a, b, c) com as mesmas características de erosibilidade e comportamento pluviiais os municípios de Poção, Pesqueira e Cachoeirinha tem altas oscilações pluviiais de março a agosto e baixos poderes erosivos de outubro a fevereiro.

Estes resultados estão condizentes com os relatados por Santos, Pereira, Azevedo, Sousa & Sousa, (2010); Santos & Montenegro (2012) e Medeiro, Matos, Silva & Saboya, (2015) ao estudarem a caracterização climática e a erosividade e seus padrões hidrológicos pluviiais no Agreste Pernambucano.

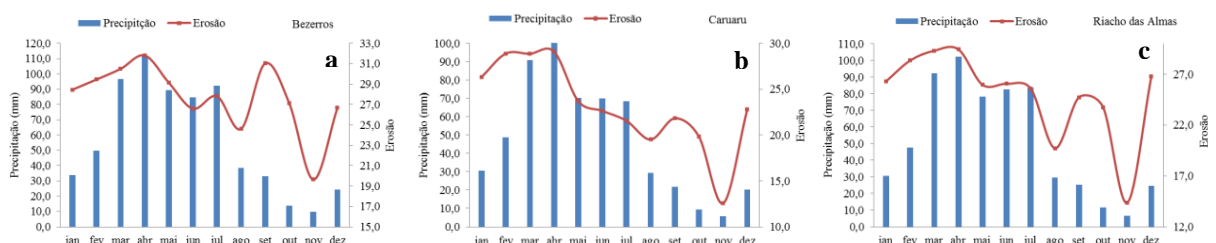
Figura 7. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios Poção (a), Pesqueira (b) e Cachoeirinha (c).



Fonte: Medeiros (2020).

As Figuras 8(a, b, c) demonstram a variabilidade da precipitação e erosão nos municípios de Bezerros, Caruaru e Riacho das Almas. Com comportamentos pluviiais e erosivos iguais os referidos municípios apresentaram índices erosivos superiores aos pluviiais entre agosto a março. Nos meses de abril a julho registram-se irregularidades pluviiais e consequentemente os índices erosivos fluem em conformidade com a atuação dos fatores climáticos da área em estudo. Estes resultados tem similaridades com os estudos de Marengo, 2008; Marengo, Nobre, Chou, Tomasella, Sampaio, Alves, Obregaon, Soares, Betts & Gillis 2011).

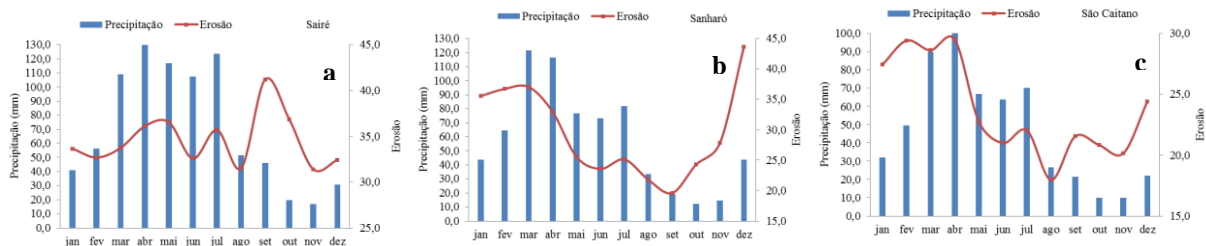
Figura 8. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Bezerros (a), Caruaru (b), Riacho das Almas (c).



Fonte: Medeiros (2020).

Nos municípios de Sairé e Sanharó as variabilidades das precipitações foram superiores aos índices erosivos entre março a agosto, exceto para Sairé onde o mês de fevereiro superou o índice erosivo, nos meses de outubro a janeiro ocorreu o inverso em Sanharó o mês de fevereiro o índice pluviométrico foi baixo e setembro equiparou-se a erosão e valores pluviométricos, como mostra a Figura 9 (a, b). Na Figura 9 (c), correspondente a São Caetano, observa-se que entre março a agosto ocorreu equiparação e a pluviometria fluiu acima da erosão.

Figura 9. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Sairé (a), Sanharó (b) e São Caetano (c).



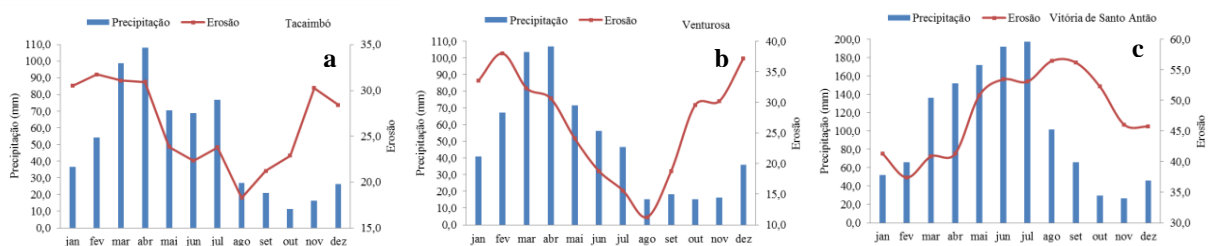
Fonte: Medeiros (2020).

Nas Figuras 10 (a, b) referente aos municípios de Tacaimbó e Venturosa tem-se os meses de março a agosto com índices erosivos menores que os pluviométricos, nos restantes dos meses ocorreu o inverso, ou seja, índices erosivos maiores que os pluviométricos.

Os meses de fevereiro a julho os índices pluviométricos não provocam erosivibilidade e nos meses de agosto a janeiro a erosivibilidade supera os índices pluviométricos. Portanto pode-se afirmar que as flutuações pluviométricas não são as responsáveis pela erosão existe e em expansão no município de Vitória de Santo Antão demonstrado na Figura 10 (c).

Estas erosivibilidades poderão estar relacionadas intensidade do vento, as altas incidências solares e a compactação e tipo de solo municipal.

Figura 10. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para os municípios de Tacaimbó (a), Venturosa (b), Vitória de Santo Antão (c).



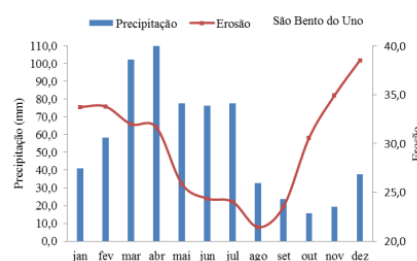
Fonte: Medeiros (2020).

Na Figura 11 tem-se a variabilidade da precipitação e erosividade do município São Bento do Uno, com destaque nos meses de março a setembro os índices pluviométricos não interferiu nos índices erosivos, nos meses de outubro a fevereiro os índices erosivos superaram os pluviométricos, ou seja, a erosividade foram maiores que as cotas pluviométricas.

As flutuações erosivas oscilam entre 24 MJ mmha⁻¹h⁻¹ano no mês de junho a 38,5 MJ mmha⁻¹h⁻¹ano no mês de dezembro.

Resultados análogos foram verificados para a bacia hidrográfica do alto curso do rio Parnaíba em conformidade com Medeiros, (2016). Estas erosividades poderão estar relacionadas intensidade do vento, as altas incidências solares e a compactação e tipo de solo municipal.

Figura 11. Representatividade da precipitação histórica e da erosão (1962-2016) para o município de São Bento do Uno.



Fonte: Medeiros (2020).

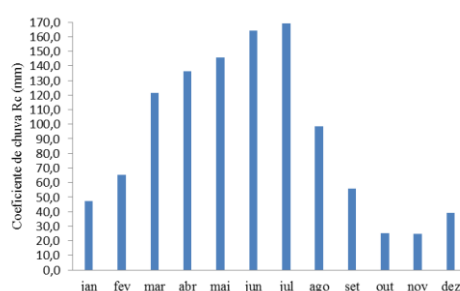
Os índices pluviométricos são importantes para o setor socioeconômico, pois deles ocorrem a sobrevivência da agricultura familiar e de cerqueiro, os períodos de estiagem reduzem as reservas de águas nos mananciais e nas represas, dificultando os agricultores e a população urbana por água para sobrevivência, além de minimizar os índices erosivos em conformidade com Calasans, Levy & Moreau, (2008).

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

Em conformidade com Bertoni & Lombardi, (1990; 2008; 2012) e como diversos estudos que abordam a erosividade da chuva, como: Carvalho, Cruz, Pinto, Silva & Avanzi, 2010; Aquino, Silva, Freitas, Curi, Mello e Avanzi, 2012; Waltrick, 2010; Bazzano, Eltz & Cassol, 2007; Cassol, Eltz, Martins, Lemos, Lima e Bueno, 2008; Dias & Silva, 2003; Colodro, Roque & Prado, 2002; Hickmann, Eltz, Cassol & Cogo, 2008, a condição seria trabalhar com uma série de dados pluvial de pelos menos 30 anos de dados observados e registrados, embora seja possível estimar a erosividade com séries de dados mais curtas, conforme afirmam os autores Bertoni & Lombardi, 1990; Mannaerts & Gabriels, 2000.

Registrou-se coeficiente de chuva (Rc) médio mensal para os 25 municípios da área da bacia hidrográfica do rio Ipojuca - PE, (Figura 12). Verificou-se que as maiores médias de coeficiente de chuva foram observadas nos meses de março a agosto fluindo entre 100 mm a 120 mm e as menores médias de RC registrou-se nos meses de setembro a fevereiro com oscilações entre 25 mm a 63 mm, respectivamente. Estas flutuabilidades estão em concordância com as atividades dos fatores meteorológicos provocadores e/ou inibidores das chuvas e das variabilidades dos sistemas sinóticos de meso e micro escala na área de estudo.

Figura 12. Coeficiente de chuvas Rc (mm) médio mensal e curva de ajuste linear entre o índice EI₃₀ mensal para os 25 municípios da área da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE.



Fonte: Medeiros (2020).

Com uma classificação dos índices erosivos anuais para a bacia hidrográfica do rio Ipojuca considerando as três classes: alto, médio e baixo Ipojuca, registrou-se e/ou classificou-se a bacia como muito forte índice erosivos para os 25 municípios em estudo.

Tabela 3. Divisão da bacia hidrográfica do rio Ipojuca em três categorias: alto, médio e baixo Ipojuca, seguidamente dos seus municípios e das suas coordenadas geográficas, assim como as suas classificações dos índices erosivos anuais.

Baixo Ipojuca				
Municípios	Latitude (° ')S	Longitude (° ')W	Altitude (metros)	Classificação dos índices erosivos anuais
Amaraji	-8,38	-35,45	386	Muito Forte
Chã Grande	-7,72	-39,24	466	Muito Forte
Escada	-8,37	-35,23	145	Muito Forte
Gravatá	-8,20	-35,54	460	Muito Forte
Ipojuca	-8,51	-35,01	062	Muito Forte
Pombos	-8,14	-35,40	341	Muito Forte
Primavera	-8,35	-35,35	367	Muito Forte
Vitória de Santo Aní	-8,84	-35,63	253	Muito Forte

Médio Ipojuca				
Agrestina	-8,4578	-35,954	458	Muito Forte
Altinho	-8,4906	-36,06	530	Muito Forte
Bezerros	-8,2433	-35,753	553	Muito Forte
Caruaru	-8,2383	-35,916	539	Muito Forte
Camocim de São Fe	-35,742	-8,3175	672	Muito Forte
Riacho das Almas	-8,1381	-35,859	443	Muito Forte
Sairé	-8,3267	-35,709	628	Muito Forte
Alto Ipojuca				
Alagoinha	-8,4661	-36,774	717	Muito Forte
Arcoverde	-8,4336	-37,056	794	Muito Forte
Belo Jardim	-8,3333	-36,421	727	Muito Forte
Cachoeirinha	-8,4839	-36,238	572	Muito Forte
Capoéiras	-36,63	-8,7300	834	Muito Forte
Pesqueira	-8,3531	-36,697	791	Muito Forte
Porção	-8,1836	-36,705	904	Muito Forte
Sanharó	-8,3639	-36,566	726	Muito Forte
São Caitano	-8,3283	-36,138	639	Muito Forte
Tacaimbó	-9,1089	-38,153	621	Muito Forte
Venturosa	-7,9286	-38,969	638	Muito Forte

Fonte: Medeiros (2020).

Na Tabela 4 têm-se os parâmetros estatísticos (média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, erro padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose) dos coeficientes de chuvas para a área da bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos dos coeficientes de chuvas para a área da bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

Mês	Média	Mediana	Desvio padrão	Máximo	Mínimo	Erro padrão	Cv%	Cas	Ck
jan	2,30	3,54	0,57	3,57	1,53	0,11	24,8	264,9	0,87
fev	4,81	5,54	1,57	8,45	2,84	0,31	32,7	295,1	1,02
mar	16,44	16,07	3,78	26,69	10,43	0,76	23,0	138,2	0,29
abr	19,28	26,13	2,15	26,13	16,01	0,43	11,1	-0,92	-0,12
mai	14,90	43,30	9,54	43,30	7,13	1,91	64,0	-11,9	-0,10
jun	16,77	52,68	13,40	52,68	5,32	2,68	79,9	-9,45	-0,11
jul	18,16	42,25	14,33	51,82	3,67	2,87	78,9	-17,8	-0,09
ago	4,49	18,66	5,22	18,66	0,39	1,04	116,1	-5,41	-0,11
set	1,83	6,39	1,58	6,39	0,32	0,32	86,5	-20,9	-0,09
out	0,42	1,36	0,30	1,36	0,14	0,06	71,6	-16,1	-0,10
nov	0,46	0,97	0,27	1,10	0,06	0,05	58,9	13,4	-0,10
dez	1,41	2,03	0,60	2,71	0,71	0,12	42,4	-21,3	-0,09
anual	101,26	218,92	43,69	218,92	66,20	8,74	43,1	-4,3	-0,12

Legenda: Cv = Coeficiente de variação; Cas = coeficiente de assimetria; Ck = Coeficiente de curtose. Unidade utilizadas para o estudo do parâmetro(mm)

Fonte: Medeiros (2020).

A mediana é o valor menos provável de ocorrência. O desvio padrão poderá interferir com contribuições positiva e/ou negativa em relação aos valores da média e/ou mediana. O Coeficiente de variância com nível de significância baixa a forte demonstram suas flutuabilidades mensais de possíveis ocorrências. Os valores máximos e mínimos absolutos erosivos estão interligados aos eventos pluviais e dos efeitos locais e regionais. No erro padrão destacam-se os meses de maio a agosto com seus maiores valores. Nos coeficientes de assimetria destacamos os meses de janeiro a março pelos seus valores elevados e no mês de novembro pelo valor positivo. Nos coeficientes de

curtose têm-se valores positivos entre os meses de janeiro a março, os demais meses registrou-se a variabilidade negativa.

Foi demonstrado por Katz, 1991; Katz & Brown (1992) que a frequência relativa de eventos extremos depende das mudanças no desvio padrão e não apenas da média. Katz, (1991) supõe que uma mudança em uma variável climática que possua distribuição de probabilidade poderá resultar em uma mudança na forma de sua distribuição.

4. Considerações Finais

O processo intensivo de assoreamento nos leitos da bacia será uma consequência direta do aumento da erosão nas encostas, o que acabará por reduzir a profundidade da bacia e de seus leitos, reduzindo a sua própria vida útil.

Obteve-se alta correlação do índice erosividade (EI_{30}) com o coeficiente de chuva R_c , os quais podem ser utilizados nas equações obtidas para estimar o fator R da equação universal de perda de solo.

O fator “R” da Equação Universal de Perdas de Solo pode ser utilizado com segurança para localidades no entorno da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, com características climáticas semelhantes, ampliando as possibilidades de utilização deste fator no planejamento conservacionista da atividade agrícola.

O aumento no desmatamento e as altas incidências de focos de fogo na vegetação nativa da bacia tornam-se preocupantes visto que poderá expor os frágeis solos aos regimes pluviais ocorridos, o que poderá elevar as taxas de perdas de solos para altos patamares.

É necessária a intervenção do poder público para que se possa recuperar alguns trechos erosivos da BHRI e a colaboração da população no sentido de ser um agente fiscalizador.

Referências

APAC. (2017). Agência Pernambucana de água e clima. <http://www.apac.gov.br>.

Aquino R, Silva MLN, Freitas DAF, Curi N, Mello CR & Avanzi JC (2012). Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia* 36(1): 533-42.

Bazzano, MGP, Eltz, FLF, Cassol, EA, (2007). Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. R. Bras. Ci. Solo. v. 31, p. 1205-1217.

Bertoni, J, Lombardi Neto, F, (2012). Conservação do solo. 2. E.São Paulo: Ícone, 355p.

Bertoni, J, Lombardi Neto, F, (2008). Conservação do Solo, 6 ed. Ícone, São Paulo. 382p.

Bertoni, J, Lombardi Neto, F, (1999). Conservação do solo. São Paulo: Ícone; 380p.

Bertoni, J, Lombardi Neto, F, (1990). Conservação do solo. 2. E. São Paulo: Ícone, 385p.

Brito, TT ,Oliveira Júnior, J,F, Lyra, GB, Gois, G, Zeri, M. (2016). Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics (Print)*, v. 1, 1-10.

Calasans, NAR, Levy, MCT, Moreau, M, (2008). Interrelações entre clima e vazão. In: Schiavetti, A, Camargo, AFM, *Conceitos de bacia hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus: Editus, p. 67-90.

Cassol, EA, Eltz, FLF, Martins, D, Lemos, AM, Lima, VS, Bueno, AC, (2008). Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.3, p.1239-1251.

Carvalho, DF, Cruz, ES, Pinto, MF, Silva, LDB, Guerra, JGM, (2010). Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. v. 13, n. 1, p. 3-9,

Cavalcante, AA, Cunha, SB, (2012). Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do Rio Jaguaribe, CE, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 13, n.1, p.39-49.

Colodro, G, Carvalho, MP, Roque, CG, Prado, RM, (2002). Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). *Revista Bras. Ci. Solo*. v. 26, p. 809-818.

Dias, AS, Silva, JRC, (2003). A Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – primeira aproximação. *Revista Brasileira Ci. Solo*. v. 27, p. 335-345.

- Ferreira, MA, Urbano, AS, (2013). Novas tecnologias para alimentação de bovinos leiteiros na seca. *Revista Científica de Produção Animal, Areia*, v. 15, n. 1, p. 42-52.
- Hickmann, C, Eltz, FLF, Cassol, EA, Cogo, CM, (2008). Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo Índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. *R. Bras. Ci. Solo*. v. 32, p. 825-831.
- Jardim, AMRF, Araújo Júnior, GN, Silva, MJ, Morais, JEF, Silva, TGF, (2017). Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress* V.02. N. 03. P.186-193.
- Katz, R.W. (1991). Towards a statistical paradigm for climate change. Preprints, 7TH Conference on Applied climatology, American Meteorological Society, Boston.
- Katz, RW, Brown, BG, (1992). Extreme Events in a Changing Climate: Variability is more important than averages. *Climate Change*. v.21, n.3. p.289-302.
- Lacerda, MAD, Lacerda, RD, (2004). Planos de combate à desertificação no nordeste brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.1.
- Liu, F. et al., (2016). Semi-natural areas of Tarim Basin in northwest China: Linkage to desertification, *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.573, p.178-188.
- Lombardi Neto, F, (1977). Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil. 1977. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomy) - Purdue University, West Lafayette.
- Mannaerts, CM, Gabriels, D, (2000). Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil Tillage Res.* v. 55, p. 207-212.
- Matos, RM, Silva, PF, Medeiros, RM, Saboya, LMF, Borges, VE, Galvao ST, (2017). Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha – CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.10, p.641 – 649.

Medeiros, RM (2016). Estudo Agrometeorológico do Estado de Pernambuco. p.123. 2016.

Medeiros, RM, Matos, RM, Silva, PF, Saboya, LMF, (2015). Cálculo do balanço hídrico e da erosividade para o município de Cabaceiras-PB. Revista Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p.2894.

Medeiros, RM, Vieira, LJS, (2012). Avaliação do índice da erosividade da chuva no município de Areia - PB no período de 1910 – 2010. INOVAGRI International Meeting. IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. 28 a 31 de maio de 2012. Fortaleza-Ceara-Brasil.

Marengo, JA, Nobre, CA, Chou, SC Tomasella; J, Sampaio, G, Alves LM, Obregon, GO, Soares, WR, Betts. R, Gillin, K, (2011). Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil Análise conjunta Brasil-Reino Unidos sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. 56p.

Marengo, JA, (2008). Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (org.). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>.

Mazurana, J, Cassol, EA, Santos, LC, Eltz, FLF, Bueno, AC, (2009). Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, Suplemento, p.975-983.

Menezes, MD, Leite, FP, (2011). Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1029-1039,

Moreti, D, Mannigel, AR, Carvalho, MP, (2003). Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. Acta Scientiarum: Agronomy, v.25, p.137-145,

Oliveira JR, RC, (1996). Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará. Belém: EMBRAPA-CPATU; Boletim de Pesquisa N° 165. 20 p

Peñalva-Bazzano, MG, Eltz, FLF, Cassol, EA, (2010). Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.1, p.235-244.

Perez-Marin, A, (2012). Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v.17, n.34, p.87-106,

Pires, FR, Souza, CM, (2013). *Práticas mecânicas de conservação do solo e da água*, 3 ed. Editora UFV, Viçosa.

Rosa, AG, Sousa, AML, Costa, JA, Souza, EB (2016). Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. *Rev. Ambient. Água*. v. 11, n. 4, p. 1006-1021,

Reboita, M.S, Gan, M.A, Rocha, RP, Ambrizzi, T, (2010). Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, p. 185-204.

Santos, T.E.M.; Montenegro, A.A.A. (2012). Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande v.16, n.8, p.871–880.

Santos, JCN, Andrade, EM, Medeiros, PHA, Araújo Neto, JR, Palácio, HAQ, Rodrigues, RN, (2014). Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.18, n.11, p.1157–1164.

Santos, JA, (2007). *Análise dos riscos ambientais relacionados às enchentes e deslizamentos na favela São José, João Pessoa – PB*. 122p. Dissertação (Mestrado em Geografia). PPGG, Universidade Federal da Paraíba.

Silva, VMA, Medeiros, RM, Patrício, MCM (2011). Degradação e Desertificação, evolução dos estudos da Paraíba com uso de Geotecnologias. In: *II Congresso Nordestino de Biogeografia – CNEA e IV Encontro Nordestino de Biogeografia*.

Silva, VPR, Pereira, ERR, Azevedo, PV, Sousa, FAS, Sousa, IF, (2010). 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.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Dados pluviométricos mensais do nordeste – Série pluviometria 5. Estado do Pernambuco. Recife, 239p. 1990.

Xavier, RA, Dornellas, PC, Maciel, JS, Cícero do Bú, J, (2012). Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba-PB. Revistas Tamoios, São Gonçalo (RJ), ano 08, n. 2, p. 15-28, jul/dez. 2012.

Zanin, PR, Bonumá, NB, Minella, JPG, (2017). Determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.18, n.1, p.19-36.

Waltrick, PC, (2010). Erosividade de Chuvas do Paraná: atualização, influência do “El Niño” e “La Niña” e estimativa para cenários climáticos futuros. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 107 p.

Wischmeier, WH, Johnson, CB, Cross, BV, (1971). A soil erodibility nomograph for farmaland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, n.26, p.189-193.

Wischmeier, WH, Smith, DD, (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, v.39, n.2, p.285-291.

Wischmeier, WH, Smith, DD, (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Manoel Vieira de França – 33,34

Raimundo Mainar de Medeiros – 33,33%

Wagner Rodolfo de Araújo – 33,33%