

## Mapeamento da erosividade e erodibilidade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno como subsídio ao planejamento ambiental

### *Erosivity and erodibility mapping of the humid slope of the Uruburetama/CE Massif and surroundings as a subsidy for environmental planning*

Eduardo Viana Freires<sup>1</sup>, Cláudio Ângelo Silva Neto<sup>2</sup>, Cynthia Romariz Duarte<sup>3</sup>, César Ulisses Vieira Veríssimo<sup>4</sup>, Daniel Dantas Moreira Gomes<sup>5</sup>, Maykon Targino da Silva<sup>6</sup>, Débora Nogueira Lopes<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: eduardovgeo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7010-5260>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: claudioasn@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6749-9438>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: cynthia.duarte@ufc.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0255-4045>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: verissimo@ufc.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5055-9617>

<sup>5</sup> Universidade de Pernambuco, Departamento de Geografia, Recife/PE, Brasil. Email: daniel.gomes@upe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6868-040X>

<sup>6</sup> Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: maykonts2011@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9486-2714>

<sup>7</sup> Universidade Federal de Goiás, Departamento de Geologia, Goiânia/GO, Brasil. Email: deboranogueira@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-0011>

**Resumo:** Os processos erosivos são gerados por causas naturais e humanas. As atividades antrópicas potencializam a perda de solos a partir de manejos inadequados e comprometem a produtividade agrícola e a sustentabilidade. Esta pesquisa objetiva realizar o mapeamento de erosividade e erodibilidade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno com o intuito de subsidiar medidas de proteção e manejo dos solos contra a erosão hídrica. O Mapa de erosividade foi obtido pelo interpolador IDW através do cálculo de erosividade realizado com base em registros pluviométricos de 23 estações de monitoramento da FUNCEME num intervalo de 10 anos (2010-2019). As classes de erosividade estão associadas a atuação de sistemas geradores de chuvas locais, que perdem força em direção ao continente. Assim, observou-se a ocorrência das classes de erosividade Moderada a Forte (92,66%) e Forte (7,34%). A erodibilidade dos solos foi processada por Krigagem Ordinária a partir do fator K obtido das análises de 92 amostras de solos deformadas (granulometria, estrutura do solo, matéria orgânica) e 92 indeformadas (permeabilidade) coletadas na área de pesquisa. As classes de erodibilidade estão associadas à distribuição e as características dos solos locais. A classe Muito Baixa (8%) está associada ao Planossolo Háplico Eutrófico e ao Neossolo Quartzarênico Órtico. A classe Baixa (83%) relaciona-se à ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo e ao Neossolo Litólico, enquanto a classe Moderada (9%) associa-se ao Luvisolo Crômico.

**Palavras-chave:** Processos erosivos; Atividades antrópicas; Manejo.

**Abstract:** Erosive processes result from natural and human factors. Anthropogenic activities exacerbate soil loss due to inadequate management, compromising agricultural productivity and sustainability. This research aims to map the erosivity and erodibility of the Uruburetama/CE Massif's humid slope and surrounding area to support soil protection and management measures against water erosion. To generate the Erosivity Map, the IDW interpolator calculated erosivity based on rainfall records from 23 FUNCEME monitoring stations over ten years (2010-2019). The erosivity classes are associated with the behavior of local rainfall systems, which weaken as they move inland. As a result, we observed the occurrence of Moderate to Strong (92.66%) and Strong (7.34%) erosivity classes. We employed Ordinary Kriging for the soil erodibility analysis. We used the K-Factor derived from analyzing 92 soil samples (including granulometry, soil structure, and organic matter) and 92 undisturbed samples for permeability collected within the research area. The distribution and characteristics of local soils are the factors that establish the connection to the erodibility classes. The Planossolo Háplico Eutrófico and Neossolo Quartzarênico Órtico are associated with the Very Low class (8%). The Red-Yellow Argissolo and Neossolo Litólico are linked to the Low erosivity class (83%). On the other hand, the Moderate class (9%) is associated with Chromic Luvisol.

**Keywords:** Erosive processes; Anthropic activities; Handling.

## 1. Introdução

O solo é o recurso natural mais importante de um país, pois dele derivam os produtos para alimentar sua população. Nas regiões intertropicais, essa importância é maior ainda, por duas razões: primeiro, pelo fato dessa zona abrigar a maior parte dos países em desenvolvimento, cuja economia depende da exploração de seus recursos naturais, especialmente os agrícolas; segundo, porque os processos que levam à formação dos solos podem, na zona intertropical, levar também à formação de importantes recursos minerais. Os solos das regiões tropicais são geralmente intemperizados, frágeis, empobrecidos quimicamente e que se encontram em contínua evolução. De tal forma que existem em situação de equilíbrio precário, em que os impactos provocados por causas naturais ou antrópicas podem desestabilizar o sistema. Desmatamento, cultivo de terras, uso de agroquímicos e exploração mineral são atividades que, se não forem bem conduzidas, através de técnicas desenvolvidas com criteriosa base científica, podem levar à erosão e à contaminação dos solos (TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2003).

Os danos provocados pelo homem sobre os solos e a cobertura vegetal têm sido efetuados a nível mundial, porém são mais proeminentes nas regiões onde ocorrem ocupações desordenadas das terras e/ou onde a necessidade de sobrevivência predomina sobre os fatores econômicos, sociais e ambientais (PALMIERI; LARACH, 2004).

De acordo com Jorge e Guerra (2013, p.10), “[...] os solos se formam, em média, a uma taxa de 1t/ha/ano, e, na África, Ásia e América do Sul, as perdas chegam a 30t/ha/ano [...]”.

A erosão do solo geralmente é causada pela ação do vento (erosão eólica) e da água (erosão hídrica). No Brasil, em virtude de sua localização tropical e dos elevados índices pluviométricos, a erosão hídrica prevalece a partir do impacto das gotas de chuva e arraste de partículas do solo em terrenos sem a cobertura vegetal (PRUSKI, 2009).

Apesar de ocorrer naturalmente, esse processo geológico pode ser intensificado e acelerado pelas atividades antrópicas, sobretudo no que concerne às mudanças na cobertura e aos usos intensivos do solo (NASCIMENTO; ROMÃO; SALES, 2018).

Entre os principais fatores que condicionam a erosão estão a erosividade da chuva, a erodibilidade dos solos, as características do relevo e da cobertura vegetal (RANIERI et al. 1998; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003)

Assim, há necessidade de se compreender os processos erosivos associados as propriedades físicas do solo (erodibilidade) e a energia cinética das chuvas (erosividade) no intuito de orientar a ocupação e o uso do solo, respeitando sua vocação natural. O entendimento desses processos permitirá um planejamento que garanta a utilização racional do recurso solo, possibilitando uma adequação entre as potencialidades da terra às alternativas de uso, conservação e a exploração sustentável.

Para Ross (2004), é cada vez mais necessário que se faça inserções antrópicas absolutamente compatíveis com as potencialidades dos recursos naturais de um lado e com as fragilidades dos sistemas ambientais naturais de outro.

Nesse sentido esta pesquisa objetiva realizar o mapeamento de erodibilidade e erosividade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno, no intuito de identificar as áreas com maior susceptibilidade à erosão hídrica, para que possa subsidiar as medidas de proteção e manejo do solo perante aos processos erosivos.

## 2. Caracterização da área de estudo.

A área delimitada desta pesquisa (Figura 1) está localizada dentro dos limites administrativos de 9 municípios (Irauçuba, Itapajé, Itapipoca, Pentecoste, Tejuçuoca, Trairi, Tururu, Umirim e Uruburetama), que, conforme o IBGE (2023), apresentam em sua totalidade uma população estimada para o ano de 2021 de aproximadamente 383.621 habitantes. Esse fato não só remete a pressão exercida sobre a área como também reflete a dificuldade de implementar o planejamento ambiental no Maciço.

“A serra de Uruburetama, posicionada a aproximadamente 100 km a oeste de Fortaleza, consiste num maciço montanhoso de formato circular, sendo um pouco alongado na direção E-W” (BRANDÃO; FREITAS, 2014). “Mostra-se intensamente dissecada em colinas e cristas, com vales superimpostos, em forma de V, segundo uma disposição paralela e orientada a NW-SE” (BRANDÃO, 2003). Trata-se de um maciço residual com cerca de 1000 km<sup>2</sup> de área e sua porção úmida/subúmida corresponde às encostas norte-oriental e à superfície de cimeira (platô da serra). O maciço é fortemente tectonizado e intensamente fraturado, em que em muitos casos, a rede de drenagem se adapta a essas estruturas (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Morfologicamente a área estudada apresenta as seguintes unidades: Tabuleiro Pré-litorâneo, Superfície Pediplanada (Depressão Sertaneja), Maciço Residual, Cristas Residuais e Inselbergs, Planícies Fluviais e as Planícies Alveolares.

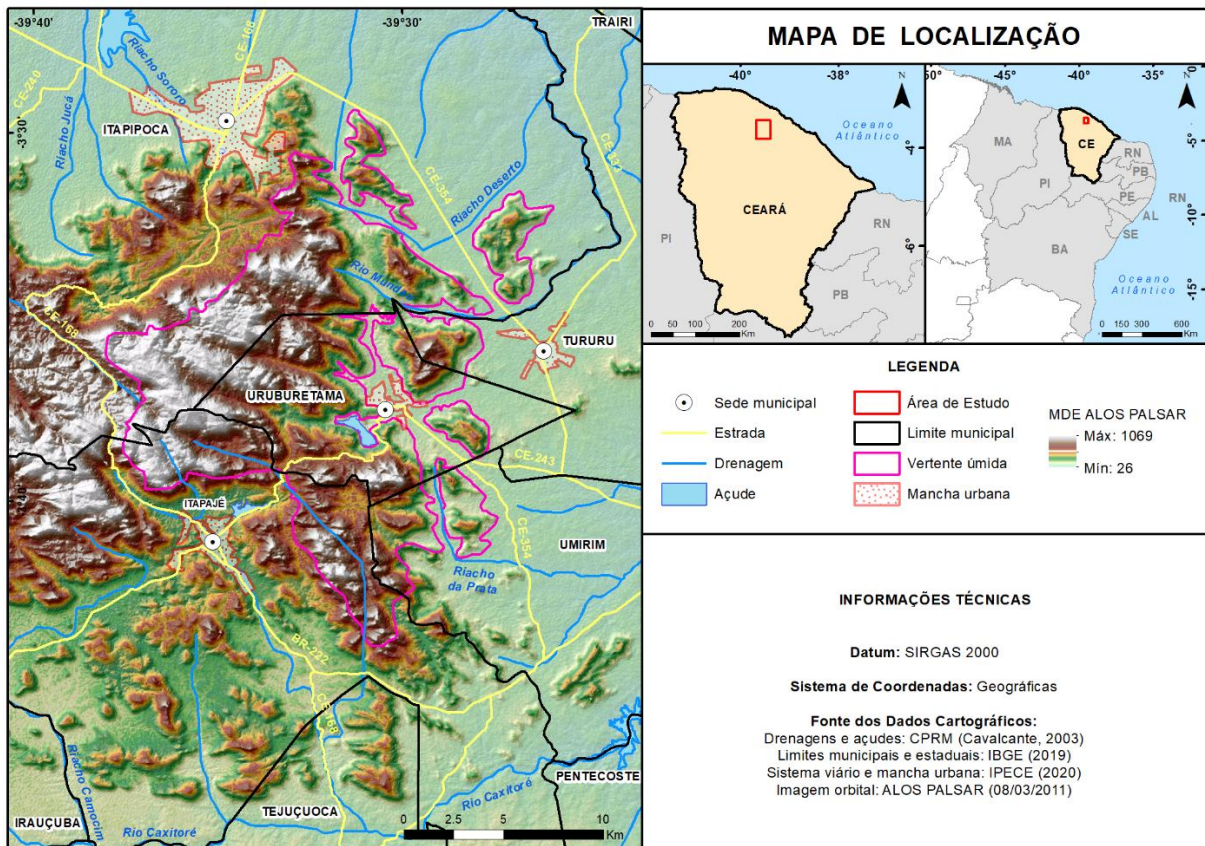


Figura 1 – Mapa de localização da vertente úmida do Maciço de Uruburetama.

Fonte: Os autores (2022).

A serra de Uruburetama está inserida numa área de Clima Tropical de Zona Equatorial. Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007), esse tipo climático se distribui por parte das regiões Norte e Nordeste e engloba todo estado do Ceará.

“Esse clima se caracterizo por uma considerável variabilidade pluviométrica e térmica. A temperatura apresenta expressiva variabilidade espacial e temporal, mesmo que toda área esteja enquadrada no âmbito dos climas quentes” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, P.90).

A precipitação na Serra de Uruburetama engloba características típicas de regime tropical com a máxima no outono e a mínima no inverno. No setor sul/oeste, a precipitação média anual é de 460 mm (sede municipal de Irauçuba). Apresenta geralmente três meses chuvosos concentrados no final do verão, começo do outono, entre os meses de fevereiro, março e abril. No setor norte/leste, a precipitação média anual é de 1.056 mm (sede de Uruburetama). Apresenta geralmente de seis a sete meses chuvosos, concentrados no primeiro semestre do ano (SILVA, 2007).

Podem ser identificados na área de estudo os seguintes tipos de solos: Argissolo Vermelho – Amarelo Eutrófico, Neossolo Litólico Eutrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Neossolos Regolítico Distrófico, Planossolo Háptico Eutrófico e Luvisolo Crômico Órtico (IBGE (2017).

Os solos são recobertos pelas seguintes formações vegetais: Complexo vegetacional da zona litorânea (Tabuleiro), Caatinga arbustiva densa, Caatinga arbustiva aberta (Depressão sertaneja); Floresta subcaducifólia tropical pluvial (mata seca) e Floresta subperenifólia tropical plúvionebulosa (mata úmida) (IPECE, 2007).

## 2. Metodologia

### 2.1 Erosividade da chuva (Fator R)

“A erosividade da chuva representa um índice numérico que expressa a sua capacidade, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Nesta pesquisa, a erosividade foi obtida a partir de registros de chuvas observados na área de pesquisa num período dez anos (2010 a 2019), através de 23 estações pluviométricas (Tabela 1) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Os dados foram aplicados na Equação (1), proposta por Carvalho (1994), gerando o valor da erosividade em M.J.mm/ha.h.ano.

*Tabela 1 – Distribuição das Estações de Monitoramento da FUNCEME por município e Erosividade obtida.*

Município	Estação	Erosividade (M.J.mm/ha.h.ano)
Amontada	Amontada	567,109
	Icarai de Amontada	1034,863
Apuiarés	Apuiarés	566,318
General Sampaio	General Sampaio	553,503
Irauçuba	Irauçuba	413,819
	Juá	424,011
Itapajé	Itapajé	592,038
	Santa Cruz	726,047
Itapipoca	Arapari	761,283
	Itapipoca	773,042
Miraíma	Miraíma	559,808
Paraipaba	Paraipaba	925,499
Pentecoste	Casa de Pedra	548,780
	Pentecoste	536,696
	Sebastiao de Abreu	551,542
São Gonçalo do Amarante	São Gonçalo	676,402
	Sede	815,620
	Siupe	987,263
São Luiz do Curu	São Luiz do Curu	602,088
Trairi	Fazenda Lages	777,646
	Trairi	881,699
Umirim	Umirim	605,908
Uruburetama	Uruburetama	667,216

$$Ecl = 6,866. (Pm^2/P)^{0,85} \quad (1)$$

onde:  $Ecl$  = Média mensal do índice de erosão;  $Pm$  = precipitação média mensal (mm);  $P$  = precipitação média anual (mm).  
*Fonte: Os autores (2022).*

Os valores correspondentes ao Fator R foram enquadrados nas classes de erosividade propostas por Carvalho (1994), como pode ser observado na Tabela 2.

Para avaliar a distribuição espacial da erosividade foi utilizado a Ponderação do Inverso das Distâncias ou IDW (*Inverse Distance Weighting*). De acordo com Jakob e Young (2006), trata-se de um interpolador que implementa o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Assim, no intuito de inferir um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores

mais distantes, ou melhor, cada ponto irá manter uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí deriva o seu nome.

*Tabela 2 – Taxas de erosividade das classes médias anuais.*

Classe de Erosividade	Valor de R
Fraca	R < 250
Moderada	250 < R < 500
Moderada a Forte	500 < R < 750
Forte	750 < R < 1000
Muito forte	R > 1000

*Fonte: Carvalho (1994).*

## 2.2 Determinação de erodibilidade dos solos (Fator K)

A erodibilidade, ou Fator K, representa a susceptibilidade ou predisposição de um solo a processos erosivos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Quanto menores a estabilidade dos agregados dos solos e a capacidade de infiltração de água nele, maior susceptibilidade ele terá aos processos erosivos. Os solos ricos em silte e areia e com material cimentante (matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio) são muito propensos a processos erosivos, em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante a precipitação (PRUSKI, 2009).

A erodibilidade dos solos foi determinada de forma indireta através do Nomograma (Figura 2) proposto por Wischmeier, Johnson e Cross (1971).

Para isso, foram realizadas coletas de 184 amostras de solos, sendo 92 deformadas e 92 indeformadas (Figura 3), em seis incursões a campo (17 dias). As amostras deformadas foram submetidas a ensaios laboratoriais para determinação de granulometria, teor de matéria orgânica e estrutura do solo. Enquanto as amostras indeformadas foram utilizadas para a determinação da permeabilidade dos solos.

A análise no nomograma se dá a partir da integração dos parâmetros de granulometria, teor de matéria orgânica, estrutura do solo e permeabilidade, obtidos através de ensaios realizados em laboratório, das amostras de solos deformadas e indeformada, conforme normas da ABNT Solos (Figura 4).

Para aplicação dos valores obtidos nas análises, e obtenção do fator de erodibilidade com maior precisão, foi utilizada a Equação (2), que representa uma aproximação algébrica do Nomograma (ARS/USDA, 1997).

$$K = \left\{ \frac{[2,1(10^{-4})(12 - MO)M^{1,14} + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3)]}{100} \right\} 0,1318 \quad (2)$$

onde:  $K$  = Erodibilidade ( $t.ha.h (ha.MJ.mm)^{-1}$ );  $MO$  = Conteúdo de matéria orgânica, %;  $M$  = Parâmetro que representa a textura do solo;  $s$  = Classe de estrutura do solo;  $p$  = permeabilidade.

Já o parâmetro  $M$  é calculado a partir da Equação (3):

$$M = (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina}). (100 - \% \text{ argila}) \quad (3)$$

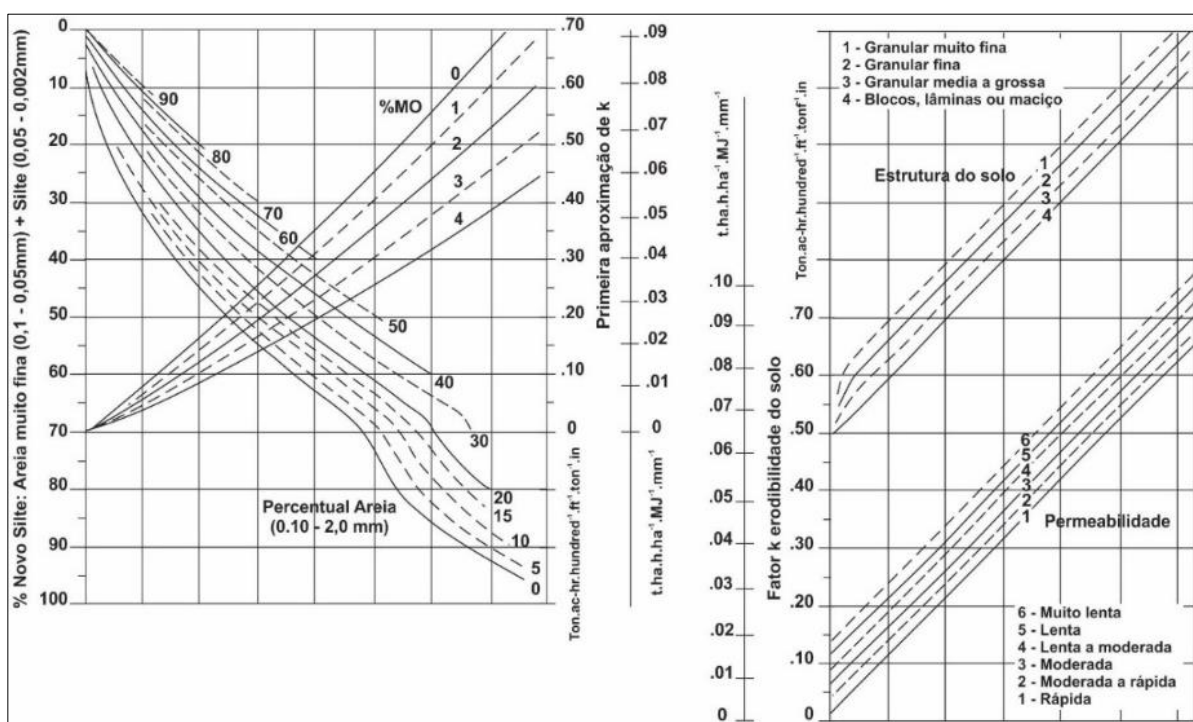


Figura 2 – Nomograma para determinação da erodibilidade dos solos.  
 Fonte: Wischmeier, Johnson e Cross (1971).

Para a análise granulométrica as 92 amostras deformadas de solos coletadas foram submetidas aos procedimentos estabelecidos pela NBR 7181 (ABNT, 1984), que prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento. Esse ensaio é utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio.

Para realização do ensaio foram utilizados de forma complementar a NBR 5734 (ABNT, 1989), que especifica as peneiras para ensaio, e a NBR 6457 (ABNT,1986), que trata da preparação de amostras de solos para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A estrutura reflete a resistência do solo à erosão através das propriedades físico-químicas da argila, que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água e de propriedades biológicas devido à presença de matéria orgânica humificada. Quanto maior a estabilidade dos agregados em água, maior a permeabilidade do solo e menor a desagregação, implicando no menor escoamento superficial e arraste das partículas individualizadas pela água (CORRECHEL, 2003).

Na Tabela 3 são apresentadas as classes dessas estruturas e as suas categorias correspondentes. Os valores de  $\underline{s}$  para os solos de estrutura granular muito fina, granular fina, granular média a grossa e em bloco, lâmina ou maciço são, respectivamente, 1, 2, 3 e 4 (WISCHMEIER; JOHNSON; CROSS, 1971).

Os valores de categoria da estrutura do solo da área de pesquisa foram definidos a partir dos resultados obtidos através da análise granulométrica das amostras, onde pode-se constatar o percentual de cada tamanho de sedimentos.

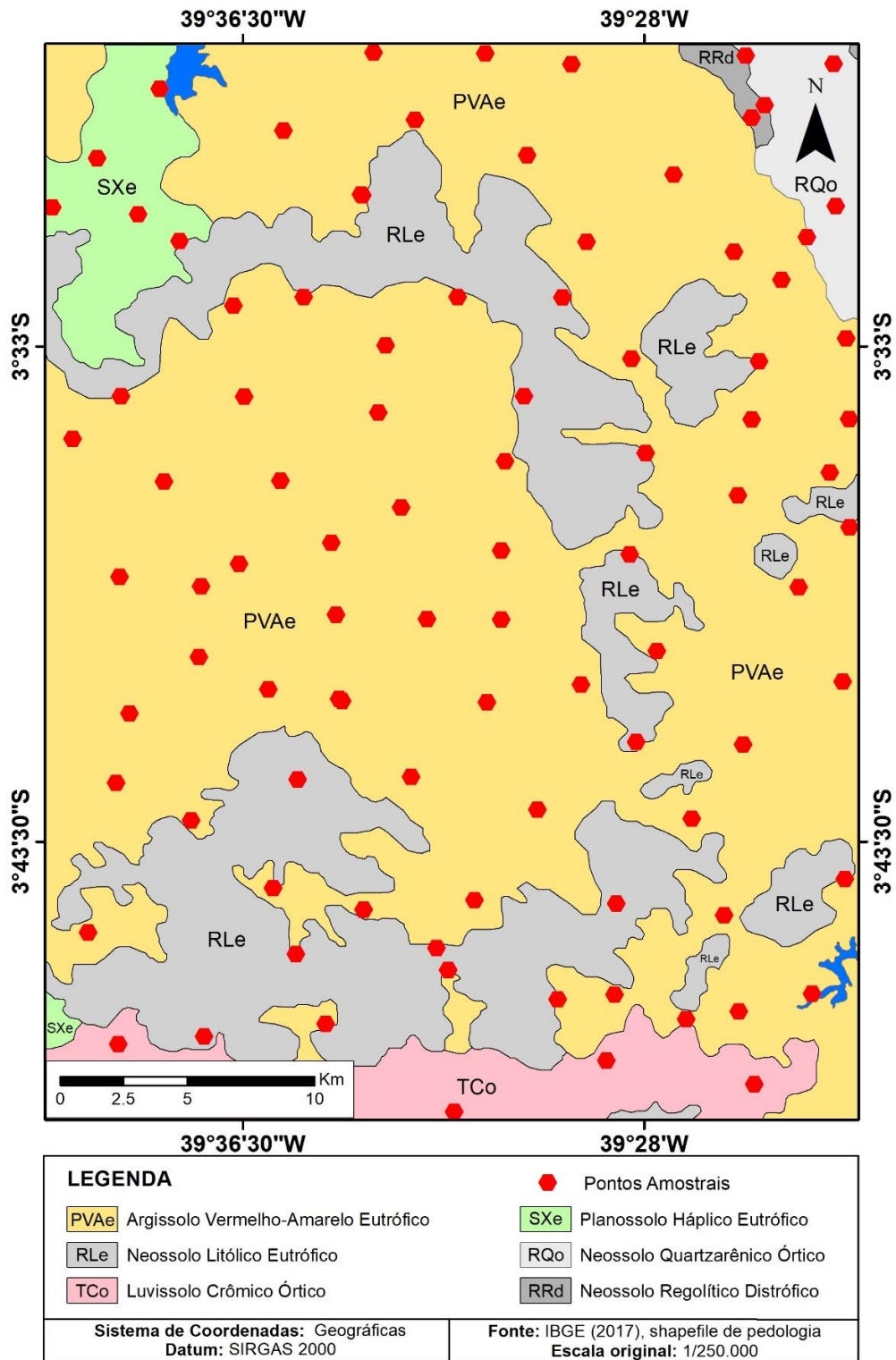


Figura 3 – Distribuição dos pontos de coletas das amostras de solos obtidas na área de pesquisa.  
Fonte: Os autores (2022).

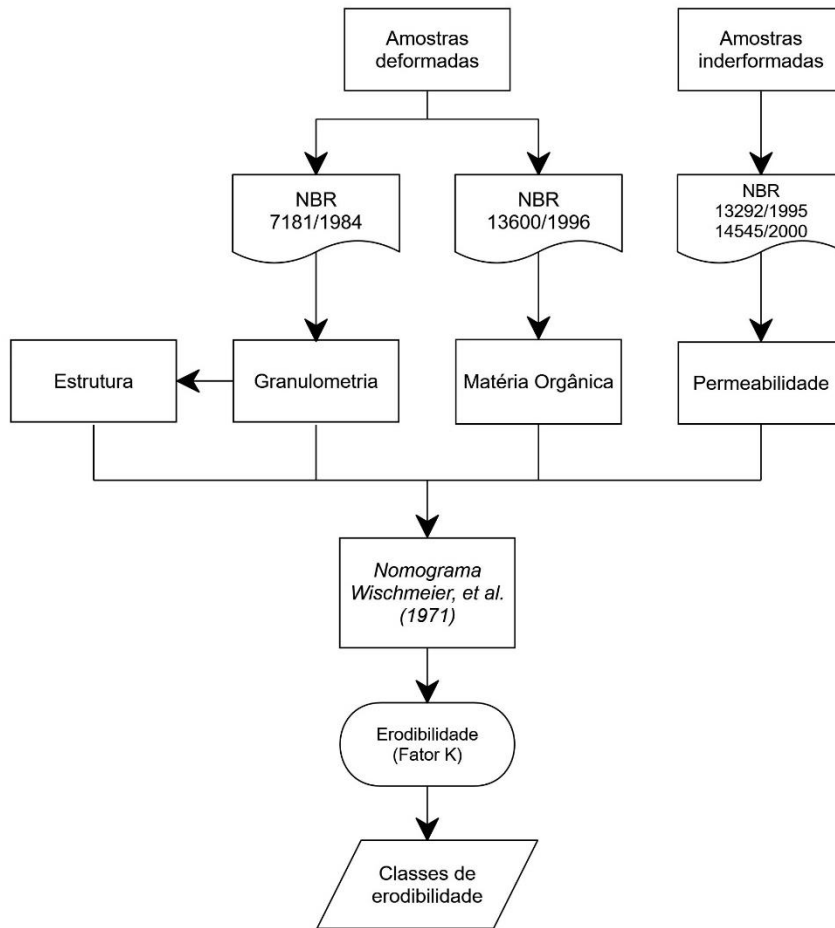


Figura 4 – Fluxograma para determinação da erodibilidade.  
Fonte: Os autores (2022).

Tabela 3 – Classes e categorias de estrutura do solo.

Categoria da estrutura	Classificação
1	Granular muito fina (> 50% finos)
2	Granular fina (> 50% areia)
3	Granular média a grossa (> 50% areia grossa)
4	Bloco, lâmina ou maciço (> 50% de pedregulho)

Fonte: Adaptado de Wischmeier Johnson; Cross (1971).

Para análise da matéria orgânica foi utilizado 0,5 kg da amostra deformada obtida em campo. Esse ensaio foi realizado conforme a NBR 13600 (ABNT, 1996), que descreve os procedimentos para determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C.

A Equação (4) foi utilizada nos cálculos para determinação do teor de matéria orgânica:

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \cdot 100 \quad (4)$$



onde:  $MO$  = teor de matéria orgânica, em %;  $A$  = massa da amostra seca em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, em g;  $B$  = massa da amostra queimada em mufla, à temperatura de (440 ± 5) °C, em g.

Os ensaios de permeabilidade das 92 amostras de solos indeformadas foram realizados conforme a NBR 13292 (ABNT,1995), norma que rege a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante, e NBR 14545 (ABNT, 2000), que trata da determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. O ensaio de permeabilidade tem como objetivo determinar o coeficiente de permeabilidade com a água percolando através do solo em regime de escoamento laminar. A permeabilidade do solo é um importante fator para análise de erodibilidade, pois quanto maior a infiltração, menor será o escoamento superficial e consequentemente menor o potencial erosivo.

O cálculo de permeabilidade por carga constante se deu a partir da Equação (5):

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \text{ (cm/s)} \quad (5)$$

onde:  $K$  = Coeficiente de permeabilidade por carga constante (cm/s);  $Q$  = Volume de água medida na proveta (cm<sup>3</sup>);  $L$  = Altura do corpo de prova (cm);  $A$  = Área do corpo de prova (cm<sup>2</sup>);  $H$  = Carga hidráulica (cm);  $t$  = Tempo decorrido do ensaio (s).

O cálculo do coeficiente de permeabilidade por carga variável se deu pela Equação (6):

$$K_{20} = 2,3 \cdot \frac{aL}{At} \cdot \log \frac{h_o}{h_f} \cdot Fc \quad (6)$$

Onde:  $K_{20}$  = Coeficiente de Permeabilidade por carga variável (cm/s);  $a$  = área da seção transversal da bureta (cm<sup>2</sup>);  $L$  = Diâmetro do corpo de prova (cm);  $A$  = Área da seção transversal do corpo de prova (cm<sup>2</sup>);  $t$  = Tempo decorrido do ensaio (s);  $H_o$  = Altura inicial do nível d'água (cm);  $H_f$  = Altura final do nível d'água (cm).

A Tabela 4 apresenta os valores e as classes de permeabilidade. Os valores de p para solos com permeabilidade rápida, moderada a rápida, moderada, lenta a moderada, lenta e muito lenta são de 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente (WISCHMEIER; JOHNSON; CROSS, 1971).

Tabela 4 – Classificação dos valores de permeabilidade do solo com carga variável e constante.

Código de permeabilidade	Classificação	Intervalos de permeabilidade (cm/s)
6	Muito lenta	< 2,8x10 <sup>-5</sup>
5	Lenta	2,8x10 <sup>-5</sup> - 5,6x10 <sup>-5</sup>
4	Lenta a moderada	5,6x10 <sup>-5</sup> – 1,46x10 <sup>-4</sup>
3	Moderada	1,46x10 <sup>-4</sup> – 5,6x10 <sup>-4</sup>
2	Moderada a rápida	5,6x10 <sup>-4</sup> – 1,7x10 <sup>-3</sup>
1	Rápida	> 1,7x10 <sup>-3</sup>

Fonte: Adaptado de Wischmeier, Johnson e Cross (1971).

### 2.2.1 Espacialização da erodibilidade (fator K) por Krigagem ordinária

Com o fator K obtido de todos os pontos amostrais conforme metodologia proposta, cada valor foi enquadrado dentro das classes de erodibilidade proposta por McKenzie, Coughbon e Cresswell (2002), observadas na Tabela 5.

Para espacialização do Fator K, e posteriormente das classes de erodibilidade, foi realizada uma interpolação pelo método de *Krigagem* ordinária.

A *krigagem* é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. A diferença fundamental em

relação as estimativas por médias ponderadas ou por médias móveis é que somente a Krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Tabela 5 – Classificação de erodibilidade.

Intensidade da erodibilidade	Intervalo do fator K (t.ha.h (ha.MJ.mm)-1)
Muito baixa	< 0,01
Baixa	0,01 – 0,02
Moderada	0,02 – 0,04
Alta	0,04 – 0,06
Muito Alta	> 0,06

Fonte: McKenzie, Coughbon, K. J e Cresswell (2002).

De acordo com Yamamoto e Landim (*op. cit.*), a *krigagem* ordinária é um método local de estimativa em que um ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima. O estimador da krigagem ordinária é baseado na fórmula da média ponderada, onde os ponderadores dependem da informação estrutural fornecida pelo variograma. O valor da variável de interesse em um ponto não amostrado ( $x_0$ ) é calculado como combinação linear dos pontos de dados vizinhos ( $Z(x_i)$ ,  $i=1, n$ ), conforme a Equação (7):

$$Z_{KO}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (7)$$

onde  $Z_{KO}^*$  = estimador de *krigagem* ordinária,  $x_0$  = local não amostrado,  $n$  = valores obtidos em pontos adjacentes,  $\lambda_i$  = pesos atribuídos a cada valor conhecido,  $Z(x_i)$  = valor estimado por *Krigagem*.

Para construção e modelagem do variograma foi utilizado o *software* GeoMS (CMRP-CERENA, 2001), onde foram definidos os parâmetros para tais procedimentos.

Como pode ser observado na Figura 5, foram identificadas a partir da distribuição e variância das amostras a direção principal (45°) e a direção ortogonal ou secundária (- 45°). Com base nessas direções foram definidos os azimutes transversais a esses eixos, ou seja 0° e 90°. Sob a possibilidade de as amostras apresentarem um comportamento semelhantes em todas as direções foi definido um azimute omnidirecional, representado por 1°.

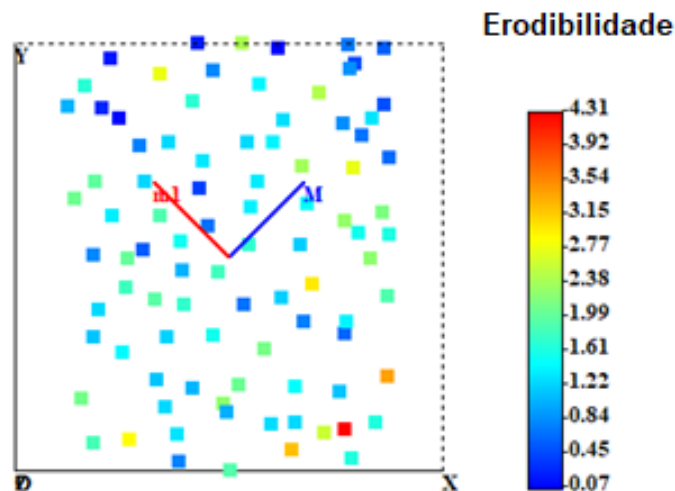


Figura 5 – Distribuição das amostras com direções principal (M) e secundária (m1).  
Fonte: Os autores (2022).

A partir dos azimutes identificados foram definidos os valores dos parâmetros para construção dos variogramas, que podem ser observados na Tabela 6.

Na etapa seguinte houve a modulação ou ajustamento dos variogramas visando inferir a distância ou amplitude representativa para área e pares de pontos conforme as direções estabelecidas. Com o ajustamento buscou-se também reduzir o efeito pepita.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados para construção do variograma.

Azimute	Parâmetros	Valores inseridos	Azimute	Parâmetros	Valores inseridos
45°; -45°, 0°; e 90°	Tolerância	12	Omnidirecional 1°	Tolerância	180
	Distância do Lag	3500		Distância do Lag	3500
	Distância de Corte	100000...		Distância de Corte	100000...

Fonte: Os autores (2022).

O efeito pepita mede a variabilidade correspondente a uma pequena escala não abrangida pela malha de amostragem e a variabilidade à escala da amostra induzida por erros não sistemáticos de amostragem e monitorização que acrescentam à estrutura do fenômeno um ruído aleatório (SOARES, 2006).

Todos os variogramas foram modulados a partir modelo esférico. Conforme Soares (2006), o modelo esférico é função de dois parâmetros: um patamar C, limite superior para o qual tendem os valores do variograma com o aumento do valores de h, e a amplitude h=a, a distância a partir da qual os valores de  $\gamma(h)$  param de crescer e são iguais a um patamar que é normalmente coincidente com a variância de Z(x). A amplitude mede a distância a partir da qual os valores de Z(x) deixam de estar correlacionados.

Após os ajustamentos de todos os variogramas foi o selecionado o que apresentava a maior amplitude, ou seja, o variograma representativo da direção 45°, e o variograma ortogonal a esta direção, no caso - 45°, conforme podem ser observados nas Figura 6.

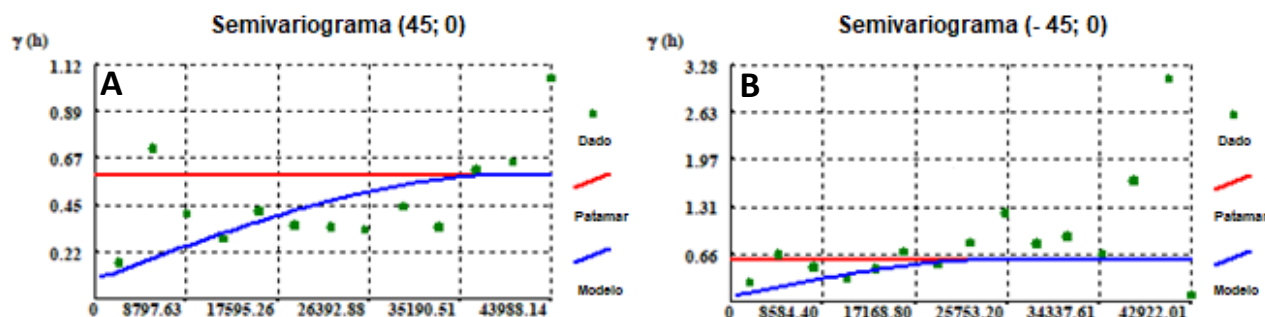


Figura 6 – (A) Variograma com direção 45°; (B) Variograma com direção - 45°.

Fonte: Os autores (2022).

Com base nos parâmetros de construção e modulação do variograma com direção 45° foi realizada a krigagem dos dados amostrais (fator K) no software ArcGIS® 10.5 (ESRI, 2017). Tais parâmetros podem ser observados na Tabela 7.

A partir do processo de krigagem foi gerado um mapa de distribuição das amostras interpoladas em 10 classes. Posteriormente as classes foram redefinidas conforme os intervalos de erodibilidade de Mackenzie et al. (2002), que resultou no mapa de erodibilidade com três classes (Muito Baixa, Baixa, Moderada).

*Tabela 7 – Parâmetros utilizados na Krigagem ordinária.*

<b>Direção principal</b>	45°
<b>Modelo do semivariograma</b>	Esférico
<b>Tamanho do lag</b>	3500
<b>Número de lags</b>	12
<b>Intervalo maior</b>	40469,089
<b>Intervalo menor</b>	25753,205
<b>Sill parcial</b>	0,5
<b>Efeito pepita</b>	0,092
<b>Vizinhos máximos</b>	15
<b>Vizinhos mínimos</b>	5

*Fonte: Os autores (2022).*

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Mapa de erosividade

A Figura 7 que apresenta distribuição da erosividade em contexto regional obtida a partir do interpolador IDW. É possível observar que os maiores registros de erosividade ocorrem nos municípios litorâneos em virtude das maiores taxas de precipitação, a exemplo de São Gonçalo do Amarante, Paraipaba, Trairi e Amontada. O volume de chuvas tende a diminuir em direção ao interior do continente à medida que ocorre a redução da atuação dos sistemas geradores de chuva. Por outro lado, a disposição do Maciço de Uruburetama favorece a ocorrência de chuvas orográficas, o que implica em maiores médias pluviométricas no setor norte/leste e consequentemente em índices de erosividade mais elevados na porção a barlavento da serra, como em setores dos municípios de Itapipoca e Uruburetama. Em contrapartida, os municípios situados a sotavento do maciço, como Irauçuba e Itapajé, apresentam menores médias pluviométricas, o que implica em menores taxas de erosividade.

Essa tendência é corroborada por Ribeiro Filho, *et. al.*, (2017), que evidenciaram a variabilidade pluviométrica no Estado do Ceará num período de 34 anos, ao espacializar o coeficiente de chuvas através do método *krigagem* e encontrar valores variando entre 1670 mm no litoral e 449 mm no sertão.

A Figura 8 apresenta a distribuição das classes de erosividade em contexto regional e local a partir da aplicação das classes Carvalho (1994) e interpolação pelo IDW. Como pode ser observado as classes de Erosividade Forte e Muito Forte estão distribuídas sobretudo nas porções norte e nordeste, onde os índices pluviométricos mais elevados estão associados a proximidade do litoral, área marcada pela influência de sistemas geradores de precipitação de menor escala, a exemplo das linhas de instabilidade formadas ao longo da costa e das brisas marítimas e terrestres.

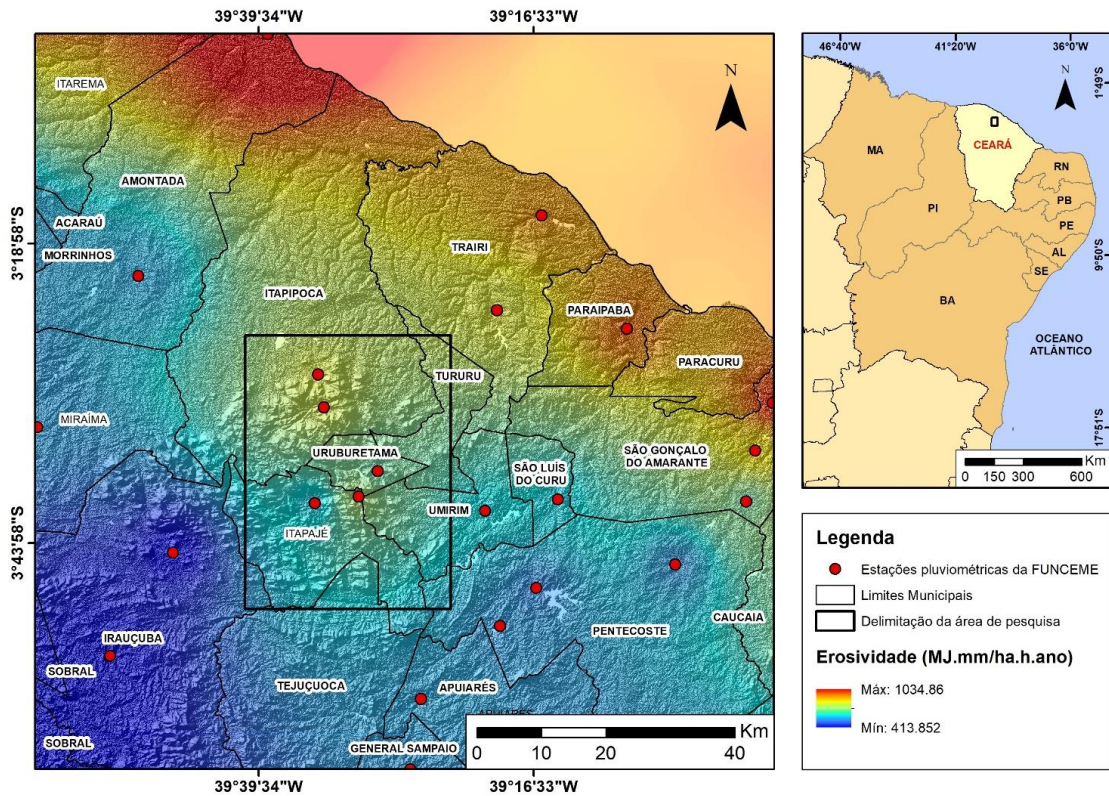


Figura 7 – Erosividade no contexto regional e na área de estudo.

Fonte: Os autores (2022).

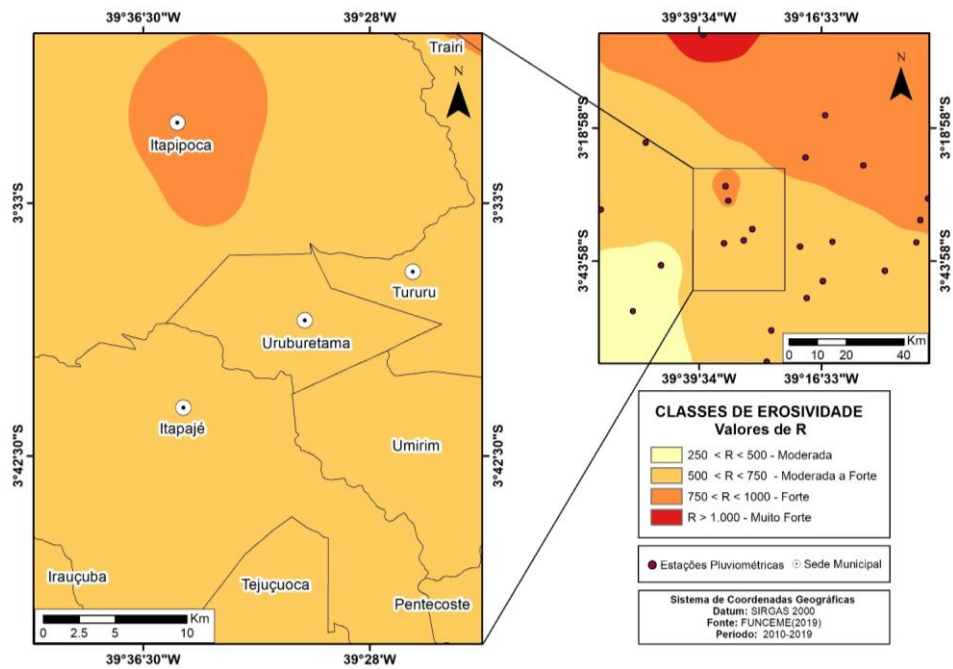


Figura 8 – Distribuição das classes de erosividade no contexto regional e na área de estudo.

Fonte: Os autores (2022).

Dentro dos limites da área de pesquisa ocorrem apenas duas classes de erosividade: Moderada a Forte, em quase sua totalidade, que representa 92,66%, e Erosividade Forte, restrita a porções dos municípios de Itapipoca e Trairi, que totaliza 7,34%, cujas estações pluviométricas ultrapassaram 761 MJ.mm/ha.h.ano.

Devido à grande extensão da área de erosividade Moderada a Forte não foi possível associar os índices obtidos com as classes de solo e de cobertura vegetal. Fato dado em decorrência da normalização do intervalo de classe para diferentes áreas de abrangência de manchas de solos e de cobertura vegetal.

Destaca-se que não necessariamente, a espacialização destes índices, signifique que quanto maior a erosividade das chuvas, maior será a perda de solo por erosão. Isto se deve ao fato de que esta perda está, também, intimamente associada ao manejo, ao tipo de solo e às práticas agrícolas (SANTA'ANNA NETO, 1995).

Compreende-se que é importante estudos com registros pluviométricos em séries históricas mais amplas (pelo menos 20 anos) e que possam garantir maior assertividade na análise de erosividade. Para o presente estudo foi considerado o intervalo de 10 anos por se tratar de dados mais regulares. Por haver algumas estações com registros pluviométricos ausentes ou incompletos em determinados meses ou anos, optou-se por uma série histórica menor.

### 3.2 Mapa de erodibilidade

A Figura 9 apresenta a espacialização da erodibilidade dos solos na vertente úmida do Maciço de Uruburetama e seu entorno, gerada a partir dos dados de granulometria, estrutura do solo, matéria orgânica e permeabilidade, obtidos das 184 amostras de solos coletadas na área de pesquisa.

Como pode ser observado, conforme a classificação de McKenzie, Coughbon e Cresswell (2002), foram encontradas três classes de erodibilidade: Erodibilidade Muito Baixa, Erodibilidade Baixa e Erodibilidade Moderada.

A classe de erodibilidade Muito Baixa representa 8% da área mapeada e ocorre em setores restritos da porção norte da área de pesquisa. Nesses setores são observados sobretudo solos que apresentam altos percentuais de areia em sua composição, a exemplo do Planossolo Háplico Eutrófico, à noroeste, e do Neossolo Quartzarênico Órtico, à nordeste. Estes solos por apresentarem alta permeabilidade favorecem a infiltração das águas pluviais, reduzindo assim a capacidade da erosão laminar.

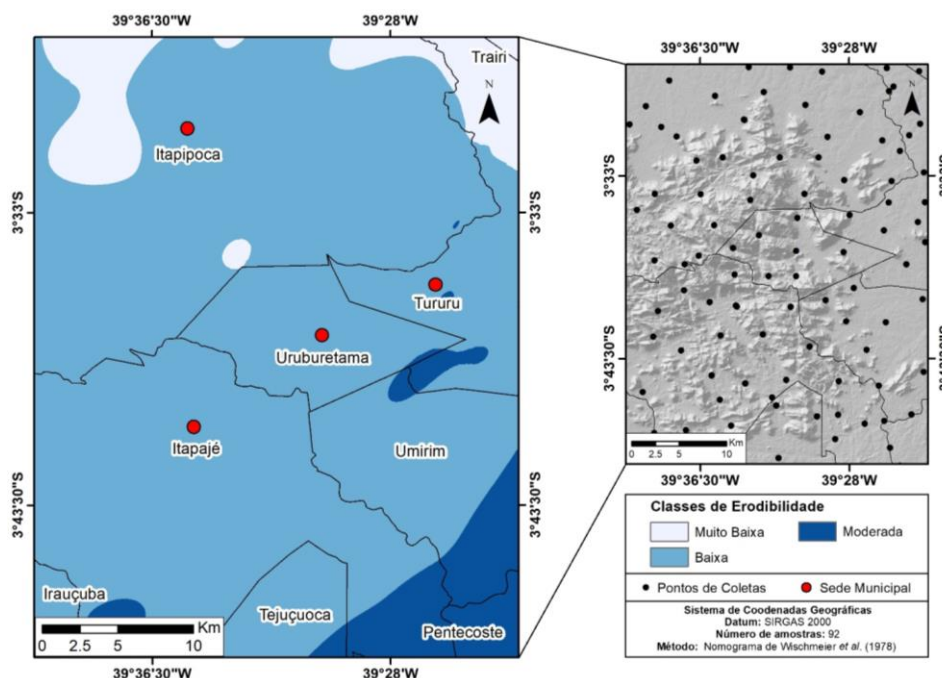


Figura 9 – Distribuição de pontos de coletas e mapa de erodibilidade de solos da vertente úmida do Maciço de Uruburetama e entorno.

Fonte: Os autores (2022).

A classe Erodibilidade Baixa abrange 83% da área de pesquisa e corresponde sobretudo a ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo e ao Neossolo Litólico. O primeiro é caracterizado por apresentar maiores teores de argila, que por sua vez reduz a permeabilidade dos solos e favorece o escoamento superficial. Por outro lado, o maior teor de matéria orgânica favorece a estabilidade e a infiltração. Com grande dispersão nas encostas e platô do Maciço de Uruburetama, sua estabilidade depende do percentual de declividade, da proteção da cobertura vegetal e do tipo de manejo ao qual está submetido.

O milho e a banana são as culturas mais difundidas no Maciço de Uruburetama. A degradação desses tipos de solos está diretamente associada a atividade agrícola.

Na porção úmida do Maciço de Uruburetama, onde predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo, destaca-se a bananicultura (Figura 10). Essa cultura é completamente inadequada às características ambientais da área. Ao substituir a vegetação natural pela bananeira grandes extensões de solos são expostas aos agentes erosivos. Associa-se a isso o fato dessa planta apresentar raízes rasas que não garantem a estabilidade dos solos e quando cultivada em áreas íngremes, com grandes pluviometrias ou com um sistema de irrigação inadequado, tendem a desencadear movimentos de massa, que podem ser observadas com bastante frequência na vertente úmida do maciço (FREIRES *et al.*, 2021).



*Figura 10 – Cultivo de banana em Argissolos Vermelho-Amarelo, em encostas no município de Uruburetama/CE.*

*Fonte: Os autores (2019).*

O Neossolo Litólico, por sua vez, por ser um solo raso e pedregoso, apresenta permeabilidade muito lenta, o que também favorece o escoamento superficial. O cultivo de culturas temporárias, como o milho, sem aplicação de técnicas adequadas potencializa os processos erosivos (Figura 11). É comum no maciço o chamado cultivo morro abaixo, no qual o plantio é realizado no sentido do fluxo, potencializando as enxurradas e intensificando os processos erosivos e a degradação dos solos. Soma-se a isso a prática da queimada, que antecede a semeadura e contribui para redução da fertilidade dos solos no decorrer dos anos. O resultado desse tipo de cultivo é a perda gradual da produtividade do solo até a sua completa degradação a partir da formação de ravinas, que por sua vez podem evoluir para voçorocas.



*Figura 11 – Cultivos de milho em Neossolo Litólico, no sistema morro a baixo, em encostas no município de Itapajé/CE.*

*Fonte: Os autores (2018).*

Em setores ao sul da área de pesquisa, marcados pela ocorrência do Luvissoilo Crômico, que bordeja o Rio Caxitoré, e também no entorno do Açude Caxitoré, pode ser observada a classe de Erodibilidade Moderada, que corresponde 9% da área de estudo. O Luvissoilo Crômico é caracterizado por apresentar alto teor de argila e pouca profundidade, muitas vezes são pedregosos (EMBRAPA. 2009). Além disso, na área de entorno, e sobretudo nas várzeas, do Rio e do Açude Caxitoré observa-se um maior aporte de sedimentos finos e de matéria orgânica. Essa condição favorece a atividade agrícola (figura 11), no entanto o uso prologando, sem práticas de manejo adequadas, tornam o solo mais erodível à medida que ocorre a perda da matéria orgânica, responsável por aumentar a resistência dos agregados. A ocorrência de secas nos últimos anos expôs essas áreas durante longo período a intervenção agrícola, favorecendo a redução da matéria orgânica e, por sua vez, a resistência do solo a erosão laminar. Conseqüentemente, esses setores demonstram maior potencial a erosão laminar que os demais mencionados.



*Figura 11 – Cultivos de algodão e capim as margens do leito seco do Rio Caxitoré.*

*Fonte: Os autores (2017).*

Faz-se necessário estudos complementares que envolvam outras variáveis, como o proposto por Salomão (2015) e aplicado por Silva e Mendes (2019), no alto curso do Rio Banabuiú no Estado do Ceará, que integraram dados de erodibilidade com declividade do terreno e elaboraram o Mapa de Susceptibilidade à Erosão Laminar. Assim como, estudos



que façam estimativas de perda de solo a partir *Universal Soil Loss Equation* (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1978), e que integram dados com maior grau de complexidade, como: erosividade, erodibilidade, comprimento e declividade da vertente, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas. A exemplo do que foi realizado por Barbosa *et. al.*, (2015) que aplicaram essa metodologia no município de Paraíso da Águas, em Mato Grosso do Sul, a partir de *softwares* livres e gratuitos.

#### 4. Considerações finais

O mapa de distribuição de erosividade obtido a partir dos registros pluviométricos das 23 estações de monitoramento da FUNCEME mostra que as classes diminuem de intensidade em direção ao interior. Esse quadro está relacionado ao decaimento do volume de chuvas que ocorre em direção ao continente em função da redução da atuação dos sistemas geradores de chuvas de menor escala, e que apresentam maior energia sobre o litoral, como as brisas marítimas e terrestres. Em consequência desse fato, observa-se na área de pesquisa apenas duas classes de erosividade: Moderada a Forte, que representa 92,66% da área, e Erosividade Forte, que totaliza 7,34%. É importante compreender que a erosividade é uma variável que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em solos sem proteção. Sua influência é maior em setores desmatados, abandonados pela agricultura itinerante e em áreas de plantio de culturas temporárias, que expõem os solos durante meses. Por outro lado, sua atuação fica limitada em áreas com ocorrência de cobertura vegetal, sobretudo em setores cobertos por vegetação primária.

Com relação a distribuição das classes de erodibilidade obtidas das 184 amostras de solos obtidas em campo, observou-se que 8% da área mapeada corresponde a classe de Erodibilidade Muito Baixa. Sua ocorrência está associada ao Planossolo Háptico Eutrófico e ao Neossolo Quartzarênico Órtico. A classe de Erodibilidade Baixa representa 83% da área e está relacionada à ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo e ao Neossolo Litólico. A classe de Erodibilidade Moderada se distribui por 9% da área de pesquisa e está associada principalmente a ocorrência do Luvisolo Crômico, que bordejia o Rio Caxitoré, e também a área de várzea no entorno do Açude Caxitoré. As classes de erodibilidade indicam a suscetibilidade dos solos aos processos erosivos, porém se faz necessário analisar outras variáveis em conjunto, como estado de conservação da cobertura vegetal, índices pluviométricos, gradiente topográfico, disposição do relevo e manejo do solo.

Os mapas de erodibilidade e erosividade indicam as áreas com menor e maior potencial aos processos erosivos, considerando as propriedades do solo e a energia das chuvas, respectivamente. Essas informações são de grande relevância, pois permitem estabelecer medidas preventivas para reduzir a perda de solos, que na maioria das vezes são derivadas das intervenções não planejadas e que não leva em consideração fatores como: tipo de solo, cultura adotada, sistemática de plantio, declividade do terreno, volume de chuvas e sistema de irrigação empregado. Reconhecer a susceptibilidade dos solos aos processos erosivos é suma importância para que medidas mitigadoras sejam adotadas visando garantir a sustentabilidade agrícola.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido; e ao Programa de Pós-graduação em Geologia da UFC pelo incentivo a esta pesquisa.

#### Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 14545: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro, julho de 2000.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13292: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante*. Rio de Janeiro, abril de 1995.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13600: Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C*. Rio de Janeiro, maio de 1996.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5734: Peneiras para ensaios com telas de tecido de metálico*. Rio de Janeiro, dezembro de 1989.

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6457: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, agosto de 1986.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181: Solos - análise granulométrica.*, dezembro de 1984,
- ARS-USDA, Agricultural Research Service. *Predicting soil*, 1994.
- Barbosa, A. F.; Oliveira, E. F.; Miotto, C. L.; Paranhos Filho, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências*. v.38, n.1, 170-179, 2015.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. 8ª ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.
- Brandão, R.L. Zoneamento Geoambiental da região de Irauçuba/CE. Texto explicativo. Carta Geoambiental. Fortaleza: CPRM, 2003. 67 p.
- Brandão, R.L.; Freitas, L.C.B. *Geodiversidade do estado do Ceará*. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p.
- Carvalho, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.
- CMRP-CERENA, Centro de Recursos Naturais e Ambiente. *Geostatistical Modeling Software (GeoMS version 2001)*, Lisboa, Portugal.
- CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS M. F.; PAIVA I. G. *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. 1ª edição. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.
- CORRECHEL, V. *Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "Fallout" do <sup>137</sup>Cs*. 2003. Piracicaba, 2003. 79f. Tese. (Doutorado em ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 367 p.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. *Software ArcGis Desktop (version 10.5)*. Redlands, Estados Unidos, 2017.
- Freires, E. V.; Silva Neto, C. A.; Duarte, C. R.; Verissimo, C. U. V.; Gomes, D. D. M.; Maia, A. O. Diagnóstico da degradação ambiental na Vertente Úmida do Maciço de Uruburetama/CE e seu entorno. *Ciência e Natura*, v. 43, e18, 1-55, 2021.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Portal das cidades: panorama/ população*. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br> . Acesso em: 15/09/2023.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa temático de Pedologia em escala de 1:250.000*. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/recorte\\_milionesimo/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/recorte_milionesimo/) .Acesso em: 10/01/2017.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malhas territoriais: vetores de municípios do Ceará e de Unidades Federativas do Brasil em escala de 1:250.000*. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 05/12/2019.
- IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Ceará em Mapas: arquivos georreferenciados. Dados vetoriais: sistema viário e mancha urbana*. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php> . Acesso em: 10/05/2020.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Mapa das unidades fitoecológicas do Estado do Ceará em*

- Escala 1:250.000. Fortaleza: IPECE, 2007. Disponível em: [http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/images3x/Unidades\\_Fitoecologicas.jpg](http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/images3x/Unidades_Fitoecologicas.jpg). Acesso em: 26/03/2016.
- JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso dos métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 15., 2006, Caxambu. *Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais*. Caxambu-MG: ABEP, 2006, p.1-22. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/MétodosInterpolação>. Acesso em: 23/03/2020.
- JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa: recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O (Org.). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7-30.
- Mckenzie, N. J.; Coughbon, K. J.; Cresswell, H. P. *Soil Physical Measurements and Interpretation for Land Evaluation*. Melbourne: CSIRO Publishing, 2002. 392p.
- Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.
- Nascimento, D. T. F.; Romão, P. A.; Sales, M. M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. *Atêlie Geográfico*, v. 12, n. 1, 97-117, 2018.
- PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B (Org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 59–122.
- PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. *Conservação de água e solo: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. 2ª ed. Viçosa: editora UFV, 2009. p. 40-73.
- Ranieri S. B. L; Sparovek G.; Souza M. P; Dourado Neto D. Aplicação de Índice Comparativo na Avaliação do Risco de degradação das Terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 4, 751-760, 1998.
- Ribeiro Filho, J. C.; Santos, J. C. N; Araújo Neto, J. R.; Lemos Filho, L. C. A. Estimativa das erosividades anuais e mapeamento para o Estado do Ceará. *Revista Geonorte*. v.8, n.30, 01-15, 2017.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMA. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 291 - 335.
- SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e conservação dos solos*. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 229 - 267.
- Santa'anna Neto, J.L. A erosividade da chuva no Estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*. v.9, 35-49, 1995.
- Silva, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: Rima, 2003. 140p.
- Silva, I. B.; Mendes, L.M. S. Mapeamento de áreas susceptíveis à erosão laminar no Alto Curso do Rio Banabuiú-CE. *Revista Geoaraguaia*. v.9, n.2, 48-64, 2019.
- SILVA, M. V. C. *Análise Geoambiental: subsídios ao planejamento agrícola da Serra de Uruburetama – Ce*. Fortaleza, 2007. 191f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-CE, 2007.
- Soares, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST Press, 2006. 214p.
- Souza, M.J.N; Oliveira, V.P.V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 5, n. 09, 85-102, 2006.

---

TOLEDO, M. C.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. *In*: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M; FAIRCHILD, T. R; TAIOLI, F. (Org.). *Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2003. p. 139-166.

Yamamoto, J. K.; Landim, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

Wischmeier, W. H.; Johnson, C. B.; Cross, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Journal of Soil and Water Conservation*, v. 26, n.5, 189-193, 1971.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Agriculture handbook. Washington. D.C: US. Departamente of Agriculture, 1978. 60p.