

Análise da vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos na vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE

Environmental vulnerability analysis of soil degradation in the humid hillside of Uruburetama massif/CE

Eduardo Viana Freires^{ac} , Cláudio Ângelo da Silva Neto^{ad} , Cynthia Romariz Duarte^{ae} , César Ulisses Vieira Veríssimo^{af} , Daniel Dantas Moreira Gomes^{bg} , Maykon Targino da Silva^{ah} , Tomaz Alexandre da Silva Neto^{ai} 

^aLaboratório de Geoprocessamento do Ceará, Universidade Federal do Ceará, ^bUniversidade de Pernambuco

^ceduardovgeo@gmail.com, ^dclaudioasn@gmail.com, ^ecynthia.duarte@ufc.br, ^fverissimo@ufc.br, ^gdaniel.gomes@upe.br,

^hmaykontargino@hotmail.com, ⁱtomazneto@oi.com.br



© 2024 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.

Resumo

As características físicas observadas no Maciço de Uruburetama/CE impõem certos limites ao uso e ocupação do espaço, e sinalizam para a necessidade de se implementar medidas orientadas a reduzir os impactos ambientais e econômicos. A expansão urbana e das atividades primárias promovem intervenções que comprometem os recursos naturais e a sustentabilidade agrícola no maciço. Nesse sentido, essa pesquisa objetivou analisar a vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos a partir de uma análise multicritério e álgebra de mapas envolvendo as seguintes variáveis: cobertura e uso da terra, vulnerabilidade natural à perda de solos, erosividade, erodibilidade e densidade de lineamentos. A integração das variáveis em ambiente SIG permitiu constatar que as classes de vulnerabilidade Alta e Muito Alta se distribuem principalmente nas encostas do maciço, estando associadas às características físicas dominantes e ao grau de alteração antrópica. As áreas de menor vulnerabilidade ocorrem no domínio da Depressão Sertaneja e nos setores mais elevados do maciço, de difícil acesso, e com cotas altimétricas entre 600 e 1.000 m. O mapa de vulnerabilidade ambiental à perda de solos se constitui como instrumento de suporte à gestão e ao planejamento ambiental para orientar o uso e ocupação na vertente úmida do Maciço de Uruburetama e entorno.

Palavras-chave: Análise Multicritério; SIG; Planejamento.

Abstract

The physical characteristics observed in the Massif of Uruburetama / CE impose certain limits on the use and occupation of space, and signal the need to implement measures aimed at reducing environmental and economic impacts. Urban expansion and primary activities promote interventions that compromise natural resources and agricultural sustainability in the massif. In this sense, this research aimed to analyze the environmental vulnerability to soil degradation from a multicriteria analysis and map algebra involving the following variables: coverage and land use, natural vulnerability to soil loss, erosivity, erodibility and lineament density. The integration of variables in a GIS environment showed that the classes of vulnerability High and Very High are distributed mainly on the slopes of the massif, being associated with the dominant physical characteristics and the degree of human alteration. The areas of least vulnerability occur in the area of Sertaneja depression and in the higher sectors of the massif, which are difficult to access, and with altimetric levels between 600 and 1000m. The map of environmental vulnerability to soil loss is a tool to support environmental management and planning

Keywords: Multicriteria Analysis; GIS; Planning.

1. Introdução

A intervenção humana sobre o relevo terrestre — seja em áreas urbanas ou rurais — acarreta ocupação e transformação da superfície. Dependendo do tamanho dessa intervenção, das práticas conservacionistas e dos riscos geomorfológicos envolvidos, os impactos ambientais associados podem causar grandes prejuízos ao meio físico e aos seres humanos (Guerra 2011).

No foco dessa dinâmica, os solos apresentam impactos imediatos — seja pela ampliação das fronteiras agrícolas ou o uso intensivo aos quais são

submetidos — levando-os à exaustão e/ou à redução gradativa da sua produtividade (Filizola et al. 2011). Aliada a esta problemática, observa-se que a expansão urbana desordenada tem afetado esse recurso em diferentes intensidades. Pode-se inferir o seu grau de impacto a partir do desmatamento indiscriminado, que reduz a qualidade dos solos, causando estresse à microbiota (Lopes et al. 2021) levando-os à exaustão e/ou à redução gradativa da sua produtividade a partir do desmatamento indiscriminado, pela exploração mineral, pelo avanço dos prédios sem qualquer monitoramento, ou ainda pela expansão de comunidade

em áreas inadequadas, até mesmo protegidas pela legislação ambiental.

Os danos provocados pelo homem sobre os solos e a cobertura vegetal ocorrem mundialmente, 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). Nessa perspectiva, torna-se urgente a elaboração de estudos que identifiquem mudanças na paisagem, permitindo um planejamento que garanta a utilização racional dos solos em função da velocidade de ocupação do espaço físico e promova uma adequação de uso desse recurso respeitando a sua vocação natural.

A realização destes estudos requer o levantamento de variáveis ambientais que servem como base para a elaboração de planos de ação. O conhecimento e a análise dos atributos ambientais de uma determinada área fornece subsídios técnicos necessários para avaliar uma adequação entre as potencialidades da terra às possibilidades de uso, conservação e a exploração sustentável (Brandão & Freitas 2014). Neste contexto, Ross (2004) indica que é cada vez mais necessário que se façam inserções antrópicas absolutamente compatíveis com as potencialidades dos recursos naturais de um lado e com as fragilidades dos sistemas ambientais naturais de outro.

Através do diagnóstico sobre as condições ambientais do solo que envolvam informações como declividade do terreno, cobertura vegetal, escoamento superficial, entre outras variáveis, é possível estimar respostas aos impactos antrópicos. Essas informações permitem elaborar um planejamento que adeque as atividades humanas às características do solo e, consequentemente, reduzir os conflitos de uso. Esse planejamento racional do uso da terra é essencial para a conservação dos solos, garantindo o controle da erosão, das atividades antrópicas e a proteção da biodiversidade (Campos et al. 2010).

Localizado na região norte do estado do Ceará, o Maciço de Uruburetama é um exemplo de espaço físico marcado por forte intervenção antrópica. Apoiada sobretudo nas atividades do setor primário, a população local tem contribuído para um contexto de degradação dos solos que pode se tornar irreversível. Em decorrência de tais intervenções, sobretudo a partir das atividades agrícolas e aberturas de estradas, podem ser observados graves problemas de erosão e movimentos de massa na área. Silva & Brito (2008) reforçam que o Maciço de Uruburetama é o mais desconfigurado ambientalmente do estado do Ceará, principalmente quando comparado com as Serras do Machado, Meruoca, das Matas e de Baturité.

A área delimitada desta pesquisa (Fig. 1) está localizada nos limites administrativos de nove municípios (Irauçuba, Itapajé, Itapipoca, Pentecoste, Tejuçuoca, Trairi, Tururu, Umirim e Uruburetama) que,

conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2023), apresentam na sua totalidade uma população estimada para o ano de 2021 de 382.621 habitantes. Este quadro não só remete à pressão exercida sobre a área como também reflete a dificuldade de implementar o planejamento ambiental no Maciço em face da influência de tantos municípios.

Diante da problemática apresentada, este trabalho objetiva analisar a vulnerabilidade à degradação dos solos na vertente úmida do Maciço de Uruburetama e o seu entorno, a partir da integração de variáveis ambientais — naturais e antrópicas — com o intuito de subsidiar a gestão e o planejamento ambiental. Nessa perspectiva, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e geotecnia, além de observações em campo.

2. Caracterização da área de estudo

A serra de Uruburetama se caracteriza como um maciço montanhoso de formato circular, sendo um pouco alongado na direção E-W e intensamente dissecado em colinas e cristas, com vales superimpostos, em forma de V, segundo uma disposição paralela e orientada a NW-SE (Brandão 2003; Brandão & Freitas, 2014).

A porção úmida/subúmida da serra corresponde às encostas norte-oriental e à superfície de cimeira (platô da serra). O maciço é fortemente tectonizado e intensamente fraturado, com a rede de drenagens frequentemente adaptada a essas estruturas (Souza & Oliveira 2006).

A serra é constituída por um batólito neoproterozoico, localizado na porção setentrional da Província Borborema (Lima et al. 2015). Destacam-se nessa província extensas exposições de embasamento pré-cambriano caracterizada por dobramentos e intenso plutonismo granítico (Fetter et al. 2000).

O quadro litoestrutural da área de estudo é composto pela Suíte Intrusiva Tamboril-Santa Quitéria e pelo Complexo Ceará - Unidade Canindé e Unidade Independência. As unidades de menor abrangência são as litologias cenozoicas da Formação Barreiras, encontrada a nordeste do maciço, e os depósitos quaternários de origem aluvial e colúvio-aluvial, que se encontram distribuídos em diferentes setores da área de pesquisa, onde predominam processos de sedimentação.

A Suíte Intrusiva Tamboril-Santa Quitéria é a unidade litoestratigráfica mais representativa da área de estudo. Conforme Schobbenhaus & Neves (2003), essa unidade, formada na Era Neoproterozóica (1,0 Ga – 540 Ma), é composta por rochas plutônicas félsicas a intermediárias.

Conforme Cavalcante (2003), a Suíte Intrusiva é formada pela associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfíricos,

gnaisificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfíbolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas.

As unidades Canindé e Independência do Complexo Ceará, datam do Paleoproterozóico (2,5 - 1,6 Ga), sendo formadas por rochas para e/ou ortoderivadas de grau médio a alto (Schobbenhaus & Neves 2003).

A Unidade Canindé ocorre ao sul da área de estudo. É formada por paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos e rochas metabásicas: metagabros, anfíbolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos; metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos, metacalcários, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas; granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; anfíbolio gnaisses e/ou anfíbolitos. (Cavalcante et al. 2003).

A Unidade Independência, ocorre em porções bem restritas, podendo ser observado no extremo Sudeste e Sudoeste da área de estudo. Segundo Cavalcante (2003), sua litologia é formada por paragnaisses e micaxistos aluminosos (em parte migmatíticos), incluindo quartzitos, metacalcários, rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfíbolitos.

São observados na área seis tipos de solos: Argissolo Vermelho – Amarelo Eutrófico (63,98%), Neossolo Litólico Eutrófico (23,26%), Neossolo Quartzarênico Órtico (2,26%), Neossolos Regolítico Distrófico (0,39%), Planossolo Háptico Eutrófico (3,66%) e Luvisolo Crômico Órtico (6,44%) (IBGE, 2017).

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

O período chuvoso inicia em janeiro e se estende até junho-julho. O trimestre mais chuvoso corresponde a março-abril-maio e equivale a quase 2/3 dos valores médios anuais de chuvas. Esses valores alcançam em Uruburetama 1.274 mm e em Itapipoca 1.130 mm. O trimestre menos chuvoso corresponde ao período de setembro a novembro (Souza & Oliveira 2006).

Na serra de Uruburetama a distribuição espacial das chuvas possui estreita relação com suas características

altimétricas e com a disposição do relevo frentes aos sistemas atmosféricos, com destaque para a vertente oriental (encosta de barlavento). Essas condições favorecem a ascensão das massas de ar, influenciando na nebulosidade e nas melhores condições de umidade na área em estudo (Lima et al. 2015). Em contrapartida, os municípios situados a sotavento do maciço, como Irauçuba e Itapajé, apresentam menores médias pluviométricas.

Em relação ao aspecto hidrológico, o Maciço compõe o mais importante centro dispersor de drenagem da área centro-norte do Ceará. Três sistemas fluviais de caráter exorreico têm origem na área serrana: os sistemas dos rios Curu, Aracatiaçu e Mundaú (Souza & Oliveira 2006).

Os rios locais apresentam regimes sazonais e têm dependência direta da distribuição pluviométrica. Exceção aos rios cujas nascentes encontram-se na vertente úmida do maciço, que dispõe de maiores médias pluviométricas e, consequentemente, apresentam o regime perene, com redução do volume de água nos períodos de estiagem.

A distribuição das formações vegetais se dá em decorrência das variações locais de solo, litologia, relevo e pluviometria. Conforme o mapa fitoecológico do IPECE (2007), ocorrem as seguintes formações vegetais na área de pesquisa: Complexo vegetacional da zona litorânea (Tabuleiro), Caatinga arbustiva densa, Caatinga arbustiva aberta; Floresta subperenifolia tropical pluvionebulosa (matas úmidas, serranas) e Floresta subcaducifolia tropical pluvial (mata seca).

3. Materiais e Métodos

A metodologia da pesquisa (Fig. 2) está apoiada em resultados prévios publicados em periódicos. Houve a integração dos Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Freires et al. (2019), o Mapa de Vulnerabilidade Natural de Freires et al. (2019), Os Mapas de Erodibilidade e Erosividade de Freires et al. (2023) e o Mapa de lineamentos estruturais de Freires et al. (2020).

A elaboração do mapeamento temático teve como suporte as imagens MSI/Sentinel-2, obtidas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS 2018), e a ALOS PALSAR, disponível no site do Alaska Satellite Facility; bem como, amostras de solos deformadas e indeformadas, obtidas em atividades de campo, e dados pluviométricos, gerados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) através dos seus postos de monitoramento.

A obtenção do mapa de cobertura e uso da Terra se deu a partir do processo de segmentação e classificação supervisionada da imagem MSI/Sentinel no software SPRING 5.5.3.

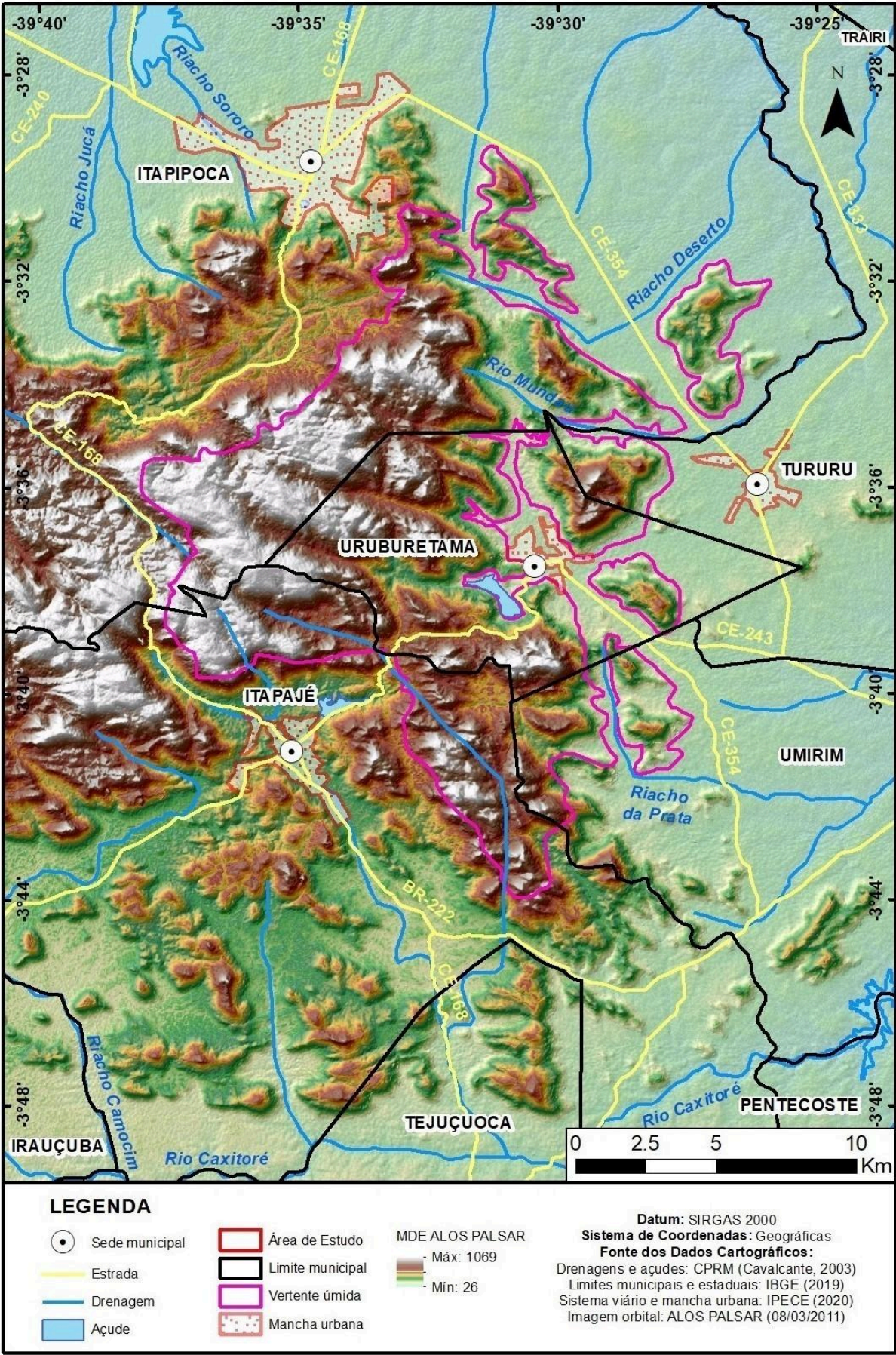


Figura 1: Mapa de localização da vertente úmida do Maciço de Uruburetama.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da imagem ALOS PALSAR foi utilizado para extração das variáveis geomorfométricas (declividade, curvatura horizontal, curvatura vertical e orientação das vertentes) no software ArcGIS® 10.5, em conformidade com a metodologia de Valeriano (2008). Em seguida as variáveis obtidas foram submetidas a uma análise multicritério e álgebra de mapas que permitiram gerar o mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo na área de pesquisa. O MDE também foi utilizado para extração automática de lineamentos no software PCI Geomatica 2018, por meio do algoritmo LINE. Posteriormente foi gerado o mapa de densidade de lineamentos no software ArcGIS®10.5.

As amostras de solos coletadas em campo (92 amostras deformadas e 92 indeformadas) foram submetidas a análise laboratorial conforme as normas da ABNT Solos (NBR 5734/1989, NBR 645/1986, NBR 7181/1984, NBR 13292/1995, NBR 13600/1996, NBR 14545/2000). As amostras deformadas foram utilizadas para análise de granulometria, estrutura e matéria orgânica, enquanto que as amostras indeformadas foram submetidas ao cálculo de permeabilidade. Os quatro parâmetros analisados subsidiaram a determinação do fator K, ou a erodibilidade dos solos, em conformidade com a metodologia de Wischmeier et al. (1971, 1978). Num segundo momento, os valores obtidos a partir da determinação do fator K foram enquadrados nas classes de McKenzie et al. (2002) e posteriormente submetidos a uma análise Geoestatística no software GeoMS (2001), onde foi possível gerar e identificar o variograma que melhor representasse a natureza dos dados, e, que por sua vez, permitiu inferir os parâmetros que seriam utilizados na interpolação por Krigagem ordinária e consequentemente na geração do mapa de erodibilidade.

Os dados pluviométricos utilizados, correspondentes a um período de 10 anos (2010-2019), subsidiaram a determinação do fator R, ou erosividade da chuva. Com base na metodologia de Carvalho (1994), foi calculada a erosividade a partir dos dados dos postos de monitoramento selecionados. Posteriormente os resultados obtidos foram submetidos a uma interpolação pela Ponderação do Inverso da distância (IDW), no software ArcGIS® 10.5., que resultou no mapa de erosividade.

A obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos se deu a partir da integração das variáveis espacializadas, por meio de uma análise multicritério e álgebra de mapas através da ferramenta Weighted Overlay do software ArcGIS® 10.5 (ESRI 2017).

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi obtido por meio de média ponderada, conforme Eq. (1). Foram estabelecidos pesos em percentuais conforme o grau de importância da variável para o fenômeno analisado (erosão e movimento de massa), totalizando 100%.

Adaptando a metodologia de Crepani et al. (1996) e Crepani et al. (2008), foram adotados valores inteiros de 1 a 10 para cada classe, de acordo com a relevância apresentada no desencadeamento dos processos dentro de cada variável, em conformidade com as pesquisas de Brandão (2003) e Carmo et al. (2015), (Tabela 1).

$$V=(ct*0,30+vn*0,25+r*0,20+k*0,15+dl*0,10)/5 \quad (1)$$

Em que: V corresponde à vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos; ct à cobertura e uso da terra; vn à vulnerabilidade natural à perda de solos; r à erosividade; k à erodibilidade e dl à densidade de lineamentos.

Tabela 1. Variáveis utilizadas na análise multicritério.

Cobertura e Uso da Terra	
Peso (30%)	Notas
Corpos d'água	0
Mata Úmida	1
Mata Seca	3
Caatinga Arbustiva Densa	5
Caatinga Arbustiva Aberta	6
Urbano/Solo Exposto	8
Cultivos	10
Vulnerabilidade Natural	
Peso (25%)	Notas
Muito baixa	2
Baixa	4
Média	6
Alta	8
Muito alta	10
Erosividade (Fator R)	
Peso (20%)	Notas
Fraca	2
Moderada	4
Moderada a Forte	6
Forte	8
Muito Forte	10
Erodibilidade (Fator K)	
Peso (15%)	Notas
Muito Baixa	2
Baixa	4
Moderada	6
Alta	8
Muito Alta	10
Densidade de Lineamentos	
Peso (10%)	Notas
Muito baixa	2
Baixa	4
Média	6
Alta	8
Muito Alta	10

Para validação do mapa de vulnerabilidade ambiental foi realizado um levantamento de campo voltado ao registro de ocorrências de movimentos de massa e de erosão acelerada. Ao todo foram

identificadas 101 ocorrências no Maciço de Uruburetama, que foram geopositcionadas e comparadas às classes de vulnerabilidade observadas no mapa. As correspondências dos registros com as

classes de maior vulnerabilidade puderam atestar a qualidade do produto cartográfico obtido.

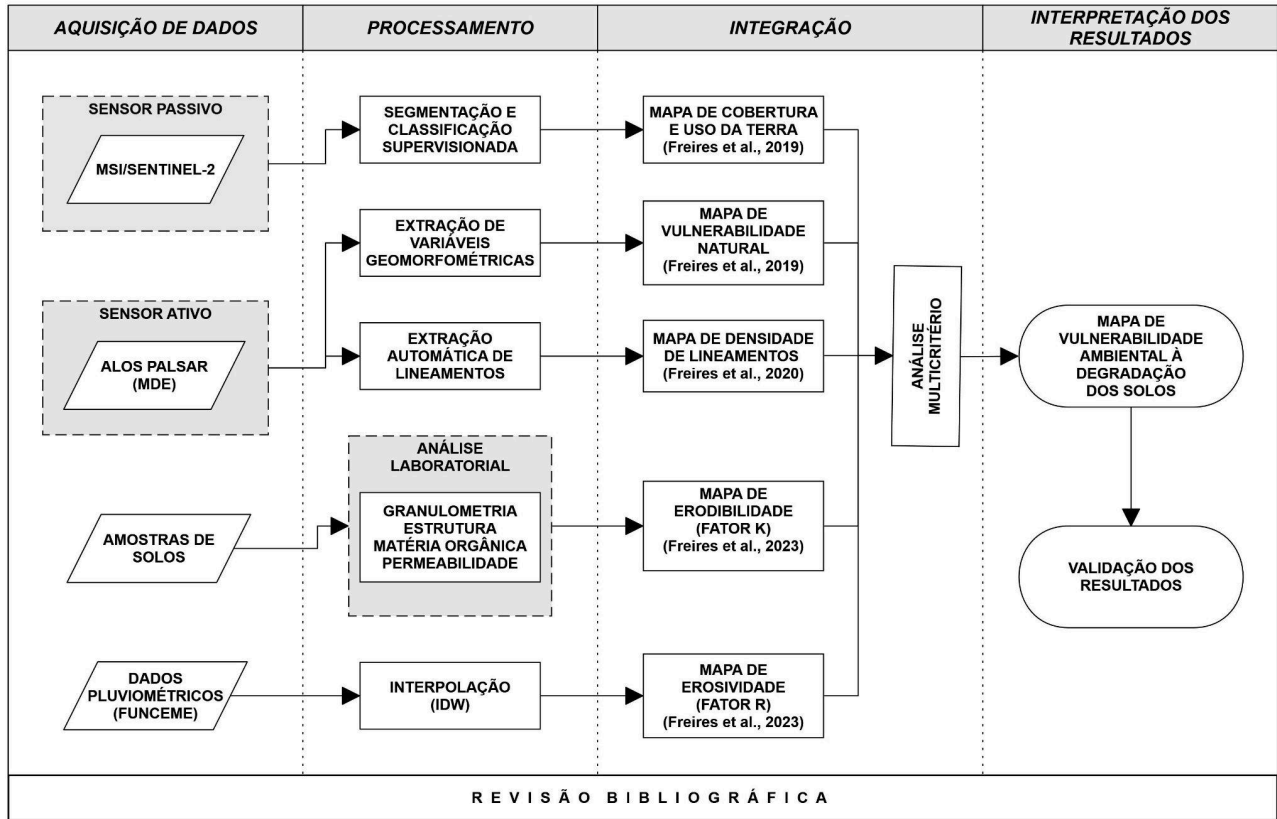


Figura 2: Fluxograma da metodologia.

4. Resultados e Discussão

A partir da análise multicritério e álgebra de mapas envolvendo as variáveis Cobertura e Uso da Terra, Vulnerabilidade Natural à perda de Solos, Erosividade, Erodibilidade e Densidade de Lineamentos, foi obtido o mapa de Vulnerabilidade Ambiental à Degradação dos solos (Fig. 3), onde foram definidas as seguintes classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta (Tabela 2).

Tabela 2: Intervalos das classes de vulnerabilidade ambiental e abrangência em percentuais.

Classes	Intervalos	%
Muito Baixa	1 - 3	19,9
Baixa	3 - 4	31,0
Média	4 - 5	27,5
Alta	5 - 6	16,8
Muito Alta	6 - 10	4,8

Os resultados mostram que as classes de Vulnerabilidade Muito Baixa (19,9%) e Baixa (31%), que juntas totalizam 50,9%, correspondem, sobretudo, a setores da Depressão Sertaneja, marcados pelo predomínio de um relevo plano e suave ondulado, com baixos percentuais de declividade, e onde os recursos encontram-se em estágio de conservação e/ou

preservação; e aos espaços com altitudes mais elevadas do maciço, que impõem limites ao acesso e onde possível observar remanescentes da vegetação primária.

Ao se analisar o mapa de vulnerabilidade (Fig. 3) em conjunto com os perfis topográficos na Figura 4, verifica-se que as áreas da vertente úmida com menor vulnerabilidade correspondem aos setores mais elevados, com cotas altimétricas superiores a 600 m. Essas áreas sofrem menor pressão por estarem mais afastadas dos núcleos urbanos e apresentarem acessos difíceis, com estradas não pavimentadas, com declividades acentuadas, e que não recebem a manutenção devida por parte do poder público, se tornando quase impossível o tráfego na estação chuvosa, agravado ainda mais por quedas de blocos nas estradas.

As intervenções no Maciço de Uruburetama ocorrem em grande escala, atingindo encostas com diferentes percentuais de declividade e com altitudes variadas, contrariando inclusive as prescrições legais observadas no Código Florestal (Lei 12.651/2012). É notório o desenvolvimento do chamado efeito borda, onde gradativamente se observa o avanço das ações antrópicas em direção às áreas mais elevadas e a região central do maciço (Fig. 5).

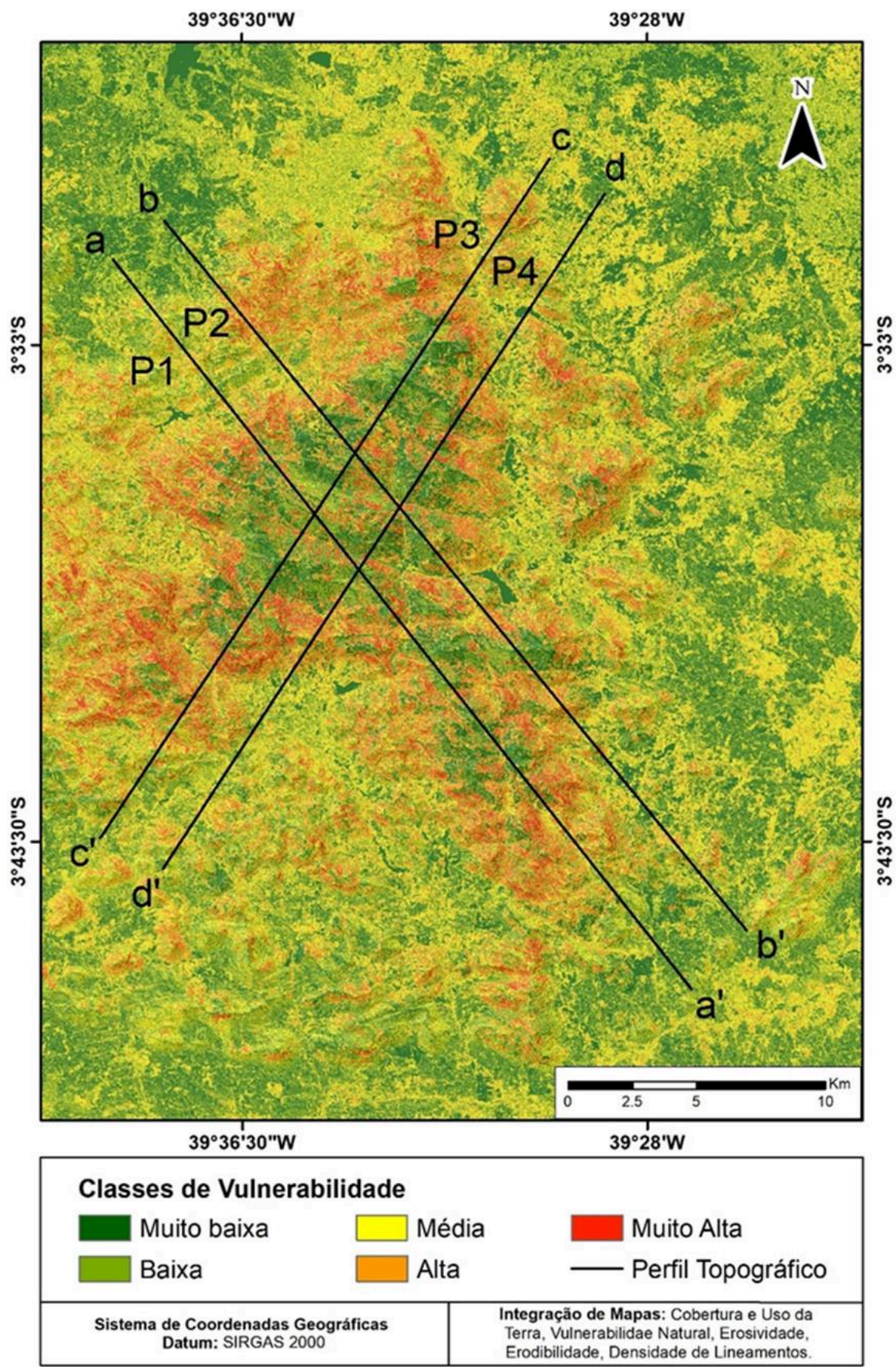


Figura 3: Mapa de vulnerabilidade ambiental da vertente úmida do Maciço de Uruburetama e o seu entorno.

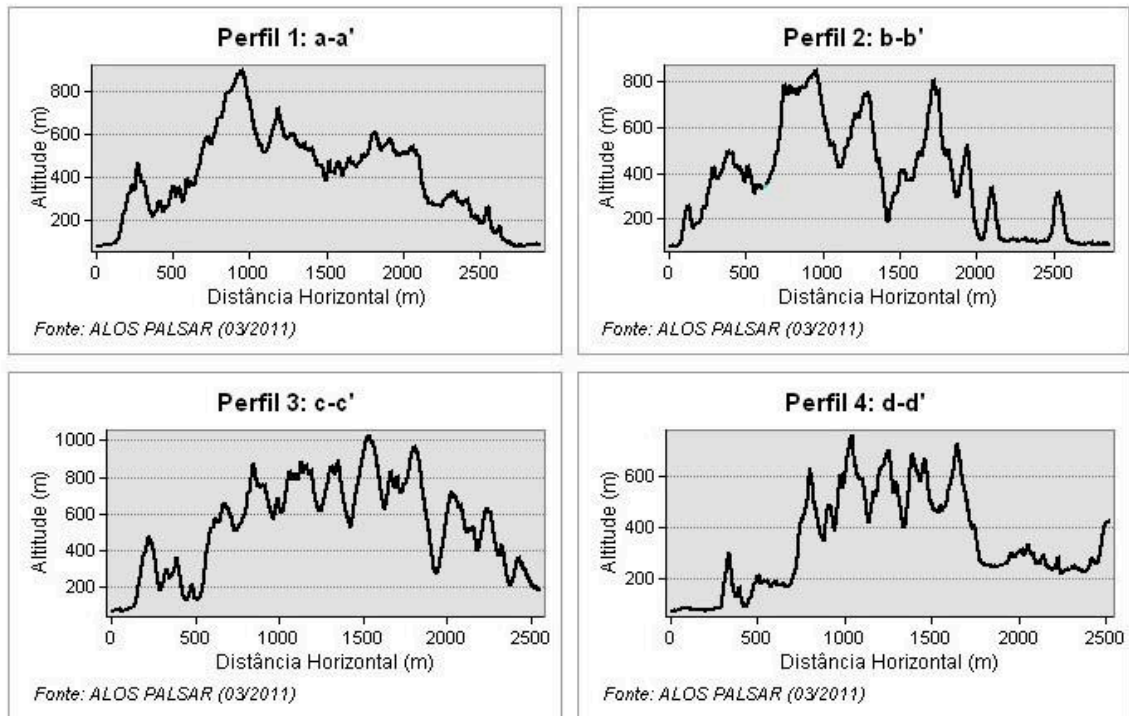


Figura 4: Perfis topográficos do Maciço de Uruburetama.

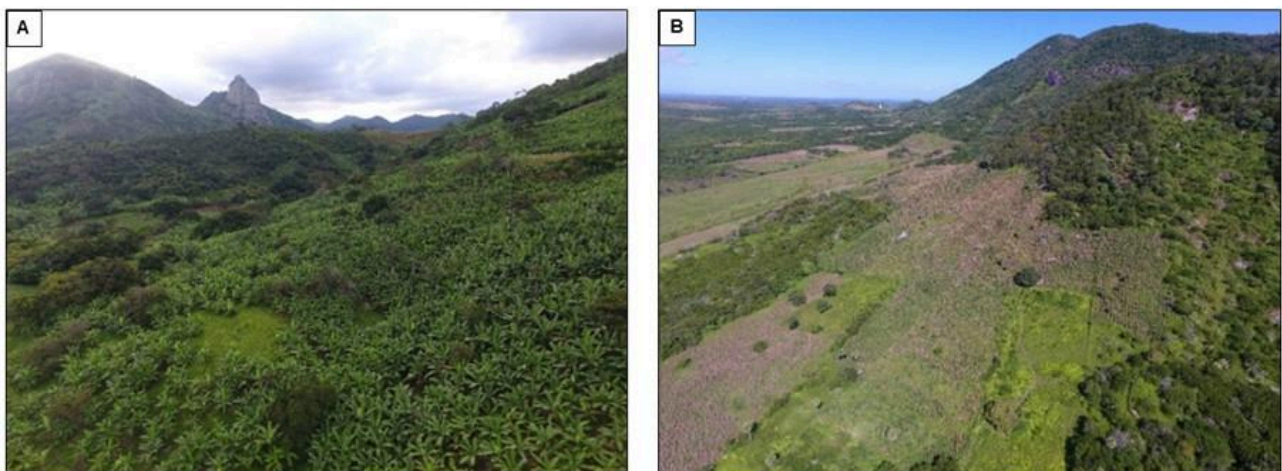


Figura 5: (A) encosta completamente alterada pela bananicultura em Uruburetama/CE, (B) avanço do plantio em encosta no município de Itapipoca (CE). Fotos: Autores (obtidas por ARP, 22/05/2017).

Na vertente úmida podem ser observados movimentos gravitacionais e erosão acelerada com maior frequência em virtude das características físicas que propiciam o desenvolvimento da atividade agrícola (Fig. 6). A ocorrência de solos profundos e maiores índices pluviométricos favorecem a agricultura, porém as intervenções promovidas a partir dessa atividade funcionam como gatilhos que induzem a perda de solos a partir de movimentos de massa e ravinamento nas encostas, intensificados muitas vezes a partir de abertura de estradas.

Os movimentos de massa induzidos são aqueles deflagrados pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação etc. (Riffel et al. 2016).

Em áreas de colúvios ou em depósitos de tálus o material movimentado pode conter seixos, calhaus e matacões. Essas formações podem ser facilmente instabilizadas, acarretando em movimentos de massa. Um grande volume de água precipitada pode aumentar o peso na encosta favorecendo a movimentação. Por outro lado, as intervenções provocadas nessas áreas potencializam as ocorrências já que a instabilidade mecânica é alta. Esta observação fica mais evidente no período chuvoso, quando as ocorrências aumentam.

Os movimentos gravitacionais mais comuns na vertente úmida são os escorregamentos do tipo rotacional, sendo possível algumas vezes observar o tipo translacional.

Os sistemas de irrigação também comprometem os solos, seja pelo excesso de água utilizado ou pelo

rompimento das tubulações (Fig. 6A). O encharcamento do solo provocado por grande volume de água reduz a estabilidade da encosta, ao aumentar a carga, e contribui para o desencadeamento de movimentos gravitacionais (Freires et al. 2021).

Por outro lado, nos setores secos da serra onde as condições do meio físico são mais limitantes, com solos rasos e menores índices pluviométricos, as atividades agrícolas influenciam na aceleração do processo erosivo, que por sua vez podem favorecer a movimentação de blocos estabilizados pelos sedimentos. O intemperismo físico é mais atuante na vertente seca, onde podem ser observados paredões e blocos rochosos, com morfologias diversas, expostos nas vertentes a partir da erosão diferencial. Este contexto implica numa dinâmica distinta, tendo a mecânica de rochas maior atuação nos movimentos gravitacionais nessa área, sendo predominante a ocorrência de queda de blocos e detritos.

A existência de topografias elevadas no embasamento resulta da menor erosão em núcleos de maior resistência mecânica aos processos

denudacionais, onde a dificuldade se deve, principalmente, às características litológicas, faciológicas, petrográficas e estruturais que se somam a fim de aumentar ou diminuir a coesão físico-química da rocha frente à meteorização (Maia & Castro, 2017).

Em áreas com deficiência hídrica há o predomínio do intemperismo mecânico, pois falta água e ácidos (provenientes de organismos) para que ocorra reações químicas mais rápidas. A desagregação das rochas ocorre por meio da intensidade da insolação e suas consequentes variações diurnas e noturnas de temperatura sobre os afloramentos rochosos. Dependendo da natureza das rochas e de suas estruturas e texturas, os afloramentos rochosos intemperizados fornecem proporções variadas de detritos. (Ribeiro et al. 2010; Cordeiro et al. 2019).

A Figura 7 apresenta a aceleração dos processos erosivos a partir da supressão da vegetação nativa para o plantio de culturas temporárias como o milho e o feijão, que na maioria das vezes ocorre a semeadura morro abaixo, que potencializa o fluxo superficial e o transporte dos elementos constituintes do solo.



Figura 6: Movimento de massa associado a cultivos e cortes de estradas na Localidade de Itacolomy em Uruburetama.



Figura 7: Cultivo de milho associado ao feijão no município de Itapajé no Maciço de Uruburetama (CE). Fotos: Autores (20/02/2018).

A alteração na dinâmica ambiental da Serra de Uruburetama é intensificada diante do contexto

agrícola local, pautado nas práticas inadequadas de manejo e cultivo do milho nas áreas de topo, vertentes

e vales, uma vez que o processo de sedimentação e controle de erosão necessita ser abordado de uma forma sistêmica em áreas de maciço úmido (Nascimento Neto et. al. 2020).

Conforme Souza e Oliveira (2006), o avançado estado de degradação de certas áreas presume a necessidade de regeneração através do reflorestamento.

O avanço urbano também compromete a estabilidade das vertentes, sobretudo a partir dos cortes para abertura de estradas. As diversas estradas, que conectam as sedes municipais às pequenas localidades, intensificam os processos erosivos e os movimentos gravitacionais (Fig. 8) a partir da exposição das vertentes aos agentes intempéricos. Essas estradas também estimulam as ocupações, que por sua vez suprimem a vegetação estabilizadora das encostas. Em outros casos é possível verificar cortes de vertentes para ampliar a área edificável de algumas habitações.

O fato do relevo do maciço ser fortemente fraturado implica na maior exposição de vertentes aos agentes intempéricos e aos processos erosivos, da mesma forma que os vales em V funcionam como caminhos preferenciais para disseminação das intervenções. Nessa perspectiva ocorre uma combinação que potencializa a perda de solo a partir de movimentos de

massa: o cultivo praticado nas encostas no regime morro abaixo, sobretudo a bananeira, e o corte da vertente para abertura de estradas com a consequente formação do talude artificial. Tais condições contribuem para a deflagração de escorregamentos rotacionais e translacionais no maciço, como os verificados na Figura 9.

A Figura 10 apresenta o mapa de vulnerabilidade com os registros de ocorrências de movimentos de massa e erosão acelerada no Maciço de Uruburetama. Esses registros, que totalizam 101 ocorrências, compõem um inventário voltado à validação do mapa de vulnerabilidade ambiental obtido.

Os registros de ocorrências de movimento de massa e erosão acelerada (Tabela 3 e Fig. 11) estão concentrados sobretudo nas classes de vulnerabilidade Média (34,7%), Alta (47,5%) e Muito Alta (10,9%). O inventário desses registros mostra que essas classes juntas representam 93,1% do total. Ao analisarmos as classes de vulnerabilidade Alta e Muito Alta, que indicam maior tendência à deflagração dos eventos analisados, observamos que as duas concentram 58,4% das ocorrências. Por outro lado, as classes Muito Baixa (1%) e Baixa (5,9%) representam apenas 6,9% do total dos registros.



Figura 8: Bloqueio de estrada por queda de bloco na localidade de São Jerônimo, em Itapipoca (CE). Fotos: Autores (21/02/2018).



Figura 9: Escorregamentos associados a cortes de encostas. (A) Escorregamento translacional na localidade de Água Fria. (B) Escorregamento rotacional na localidade de Itacolomy. Fotos: Autores (A — 17/03/2018, B — 25/07/2018).

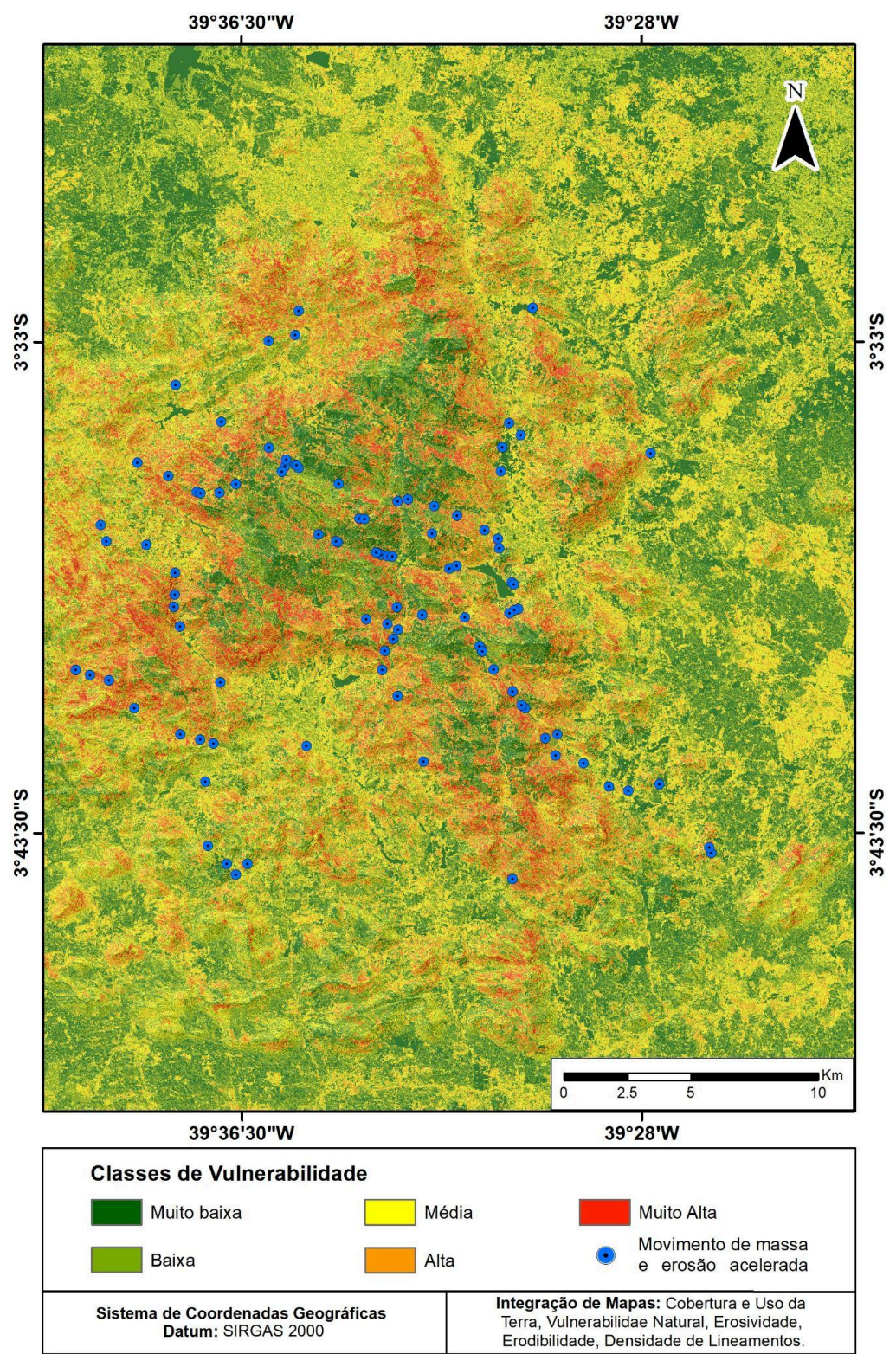


Figura 10: Validação do mapa de vulnerabilidade ambiental a partir de Inventário com registros de movimentos de massa e erosão acelerada.

Tabela 3: Registros de ocorrências de movimentos de massa e erosão acelerada por classes de vulnerabilidade ambiental.

Classe de Vulnerabilidade	Nº de Ocorrências	% de Ocorrências	Área (km²)	Área (%)	Ocorrências/km²
Muito Baixa	1	1	266.93	19.88	0.00
Baixa	6	5.9	416.12	30.99	0.01
Média	35	34.7	369.80	27.54	0.09
Alta	48	47.5	226.10	16.84	0.21
Muito Alta	11	10.9	64.00	4.77	0.17
Total	101	100	1342.95	100	0.08

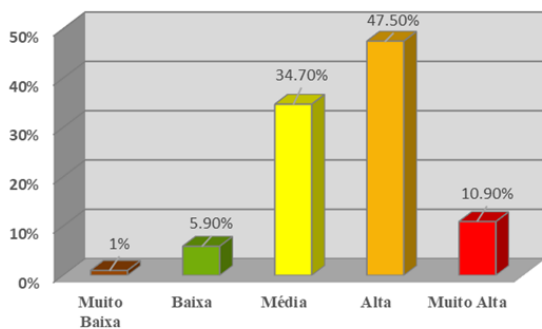


Figura 11: Distribuição dos registros de ocorrências de movimentos de massa e erosão acelerada por classe de vulnerabilidade ambiental em percentual

Ao normalizarmos a quantidade de ocorrências de movimentos de massa e erosão acelerada registrada em cada classe de vulnerabilidade em função de suas respectivas áreas, percebemos que, apesar das classes de vulnerabilidade Muito Baixa, Baixa e Média ocuparem quase 80% da área em estudo, elas registram valores muito baixos de ocorrências proporcionalmente às suas áreas, inferiores a 0,1 ocorrências/km² (Tabela 2). Já as classes com Alta e Muito Alta, mesmo tendo a menor cobertura em área, registraram uma densidade de ocorrências bem mais expressiva por km². Ou seja, tratam-se de porções mais restritas territorialmente no maciço e que necessitam de metodologias apropriadas para sua identificação, subsidiando tomada de decisões mais assertivas por parte do poder público, que pode concentrar suas ações nestas áreas.

Os dados apresentados atestam a qualidade do mapa gerado e indicam que a integração das variáveis analisadas (Cobertura e uso do solo, Vulnerabilidade natural à perda de solos, Densidade de Lineamentos, Erosividade e Erodibilidade) compõe um excelente recurso para estudos dessa natureza.

5. Conclusões

O mapa de vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos da vertente úmida da Serra de Uruburetama evidencia os limites impostos ao uso e ocupação e aponta para a necessidade de planejamento que oriente as atividades econômicas e a expansão urbana.

Como pode ser verificado, a partir da espacialização da vulnerabilidade, às classes Muito Baixa e Baixa, que representam 50,9% da área de estudo, ocorrem sobretudo em setores do domínio da Depressão Sertaneja, onde são observadas baixas declividades e as intervenções não alteraram de forma severa esse ambiente; e também nas áreas mais elevadas do maciço, com cotas altimétricas superiores a 600 m, e que impõem dificuldade ao acesso e onde é possível encontrar os remanescentes da vegetação nativa.

As classes de vulnerabilidade Alta e Muito Alta, que totalizam 21,6% da área de pesquisa, apresentam ampla disseminação nas encostas da serra. A ocorrência de tais classes decorre da pressão exercida

pela expansão urbana e sobretudo da forte intervenção promovida pela atividade agrícola no maciço, que se processa sem considerar as limitações impostas pelo ambiente, sem respeitar as determinações estabelecidas na legislação e sem os cuidados técnicos voltados para o uso eficiente e sustentável do solo.

É comum o cultivo nas encostas no regime de semeadura morro abaixo, que potencializam o fluxo superficial e consequentemente a perda dos solos. Além disso, a predominância da bananicultura na vertente úmida da serra agrava ainda mais o quadro por reduzir drasticamente a estabilidade dos solos.

A expansão urbana ocorre em áreas com altos percentuais de declividade, sem considerar os riscos associados, e sem que haja o monitoramento por parte dos órgãos públicos. É comum o corte de encostas visando ampliar o espaço edificável, todavia não são adotadas medidas ou técnicas estabilizadoras do talude artificial. Da mesma forma, as estradas abertas nas encostas voltadas para interligar as diferentes localidades, ou as sedes municipais, se configuram como um dos principais fatores que induzem aos processos erosivos e aos movimentos de massa. O corte de estradas quando associadas aos cultivos nas encostas potencializam os movimentos gravitacionais, sendo responsáveis por inúmeros movimentos de massa registrados nos municípios inseridos na área de pesquisa.

Adicionalmente às condições humanas, existem fatores de ordem natural que contribuem para esse quadro. Por se configurar num relevo fortemente fraturado, com vales superimpostos em forma de V, há um número expressivo de encostas submetidas a ação dos agentes intempéricos e consequentemente do transporte sedimentar, que favorece a esculturação do relevo e reflete a susceptibilidade desses ambientes aos processos morfogenéticos.

A densidade de lineamentos reflete a ocorrência de estruturas geológicas como cristas, colinas e vales que indicam a partir de suas distribuições o maior ou menor potencial a eventos morfodinâmicos. Os setores onde os lineamentos estão mais adensados pode ser um indicativo da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa. Entretanto, as classes de maior vulnerabilidade não necessariamente estarão associadas às de maior densidade, pois outros fatores devem ser considerados, como: ocorrência e preservação da cobertura vegetal, declividade, volume de chuvas, entre outros.

O inventário com o registro de 101 ocorrências de movimento de massa e erosão acelerada no Maciço de Uruburetama atesta a qualidade do mapa de vulnerabilidade ambiental. Ao integrar os registros com o mapa de vulnerabilidade, observa-se que mais de 93% das ocorrências estão posicionadas nas classes de vulnerabilidade Média, Alta e Muito Alta. As classes Alta e Muito Alta, que indicam maior tendência à degradação dos solos, totalizam 58,4% dos registros.

A integração das variáveis propostas demonstrou grande potencial para análise de vulnerabilidade ambiental à degradação de solos. Os resultados apresentados atestam a importância e a eficiência das ferramentas do geoprocessamento em estudos dessa natureza e indicam o atual cenário no Maciço de Uruburetama a partir de variáveis físicas e antrópicas. A distribuição das classes de vulnerabilidade ambiental revela as limitações ao uso e ocupação do solo, servindo de suporte para prognósticos de possíveis quadros gerados a partir de intervenções não planejadas ou que não considerem as restrições impostas pelos condicionantes físicos locais. Adicionalmente, o mapa de vulnerabilidade ambiental à perda de solos pode subsidiar a gestão e o planejamento ambiental no maciço, servindo como instrumento de orientação para uso e ocupação de áreas preferenciais, bem como, sendo indicativo de medidas que deverão ser tomadas no intuito de evitar perdas econômicas, ambientais e humanas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à 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.

Declaração de autoria

E.V.F.: Conceptualization, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Validation, Writing – original draft, Writing – review & editing

C.A.S.N.: Methodology, Visualization, Writing – original draft

C.R.D.: Conceptualization, Methodology, Supervision

C.U.V.V.: Methodology, Supervision, Validation

D.D.M.G.: Formal Analysis, Supervision

M.T.S.: Investigation, Methodology, Writing – review & editing

T.A.S.N.: Methodology, Writing – original draft

Referências

- ABNT. 1989. Normas técnicas que fixa as características técnicas e os métodos para a verificação e a calibração de peneiras para ensaio, constituídas de telas de fios metálicos tecidos. NBR 5734: peneiras para ensaios com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro.
- ABNT. 1986. Normas técnicas para ensaios em solos. NBR 6457: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- ABNT. 1984. Normas técnicas para ensaios em solos. NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT. 1995. Normas técnicas para ensaios em solos. NBR 13292: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro.
- ABNT. 1996. Normas técnicas para ensaios em solos. NBR 13600: Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. Rio de Janeiro.
- ABNT. 2000. Normas técnicas para ensaios em solos. NBR 14545: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro.
- BRANDÃO, R.L. 2003. Zoneamento Geoambiental da região de Irauçuba/CE. Texto explicativo. Carta Geoambiental. Fortaleza: CPRM. 67 p.
- BRANDÃO, R.L., FREITAS, L.C.B. Geodiversidade do estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p.
- CARMO, A.M., SOUTO, M.V.S., DUARTE, C.R., MESQUITA, A.F. Análise de Risco Ambiental a Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5927-5934. ISBN 978-85-17-0076-8.
- CMRP-CERENA, Centro de Recursos Naturais e Ambiente. Geostatistical Modeling Software (GeoMS version 2001), Lisboa, Portugal.
- CARVALHO, N.O. 1994. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 372 p.
- CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., MEDEIROS, M.F., PAIVA, I.G. 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará. 1 ed. Escala 1:500.000. CPRM, Fortaleza.
- CORDEIRO, A.M.N., CARVALHO, I.P., BASTOS, F.H. LIMA, D. L.S. 2019. O papel das estruturas litológicas na dinâmica e evolução do Maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. Revista da Casa da Geografia de Sobral (Online) 21, 81-93.
- CREPANI, E., MEDEIROS, J.S., AZEVEDO, L.G., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T.G., DUARTE, V. 1996. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico e capacitar os técnicos dos Estados da Amazônia Legal (Convenio SAE/INPE). São José dos Campos: INPE, 18 p.
- CREPANI, E., MEDEIROS, J.S., PALMEIRA, A.F., SILVA, E.F. 2008. Zoneamento ecológico-econômico. In: FLORENZANO, T.G. (Ed.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de textos, p. 285-317.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. 2017. Software ArcGis Desktop (version 10.5). Redlands, Estados Unidos.
- FETTER, A.H., VAN SCHMUS, W. R., SANTOS, T. J. S., NOGUEIRA NETO, J. A., HENRIARTHAUD, M. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implication for the existence of the Paleoproterozoic Supercontinent “Atlantica”. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 102-106. DOI: 10.25249/0375-7536.2000301102106
- FILIZOLA, H.F., ALMEIDA FILHO, G. S., CANIL, K., SOUZA, M.D., GOMES, M.A.F. 2011. Controle dos processos erosivos lineares, ravina e voçorocas, em áreas de solos arenosos. Jaguaruina: EMBRAPA Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_22.pdf> Acesso em: 23 mai. 2021.
- FREIRES, E.V. SILVA NETO, C. A., DUARTE, C. R., VERÍSSIMO, C.U.V., GOMES, D. D. M., MAIA, A.O. 2021 Diagnóstico da degradação ambiental na Vertente Úmida do Maciço de Uruburetama/CE e seu entorno. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 43, e18, p. 1-55. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X40521>. Acesso em: 02, mês abr., 2024.
- FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., CUNHA, D.S.R., DUARTE, C.R., VERÍSSIMO, C.U.V., GOMES, D.D.M. 2019. Comparação de Imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no Mapeamento de Cobertura e Uso da Terra no Maciço de Uruburetama, Ceará. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 4, p. 427-442.
- FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., DUARTE, C.R., VERÍSSIMO, C.U.V., GOMES, D.D.M., SILVA, M.T., LOPES, D.N. 2023. Mapeamento da erosividade e erodibilidade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno como subsídio ao planejamento ambiental. Revista de Geociências do Nordeste, v. 9 n. 2, p. 21-40.
- FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., DUARTE, C.R., VERÍSSIMO, C.U.V., GOMES, D.D.M., SOUZA, A.E.P., SILVA, M.T. 2020. Influência de lineamentos estruturais no desencadeamento dos

- movimentos de massa no Maciço de Uruburetama, Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n. 3, p.1294-1308.
- FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., SILVA, M.T., DUARTE, C.R., VERÍSSIMO, C.U.V., GOMES, D.D.M. 2019. Analysis of the natural vulnerability of soil loss in the Uruburetama Massif/CE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 9, n. 3, p. 116-130.
- GUERRA, A.J.T. 2011. Encostas urbanas. In: GUERRA, A.J.T (Ed.). *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 13 - 42.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Portal das cidades: panorama/ população. Brasília. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 set. 2023.
- IBGE. Diretoria de Geodésia e Cartografia. Mapa temático de Pedologia. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 1 mapa em Formato vetorial. Disponível em: ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/recorte_milionesimo/. Acesso em: 15 fev. 2018.
- INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. SPRING. Versão 5.5.3. São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/SPRING/portugues/download.php>. Acesso: 01 jul. 2018.
- IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2007. Secretária do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará. Mapa das unidades fitoecológicas do Estado do Ceará. Fortaleza: IPECE. Escala 1:250.000
- LIMA, D.L.S., CORDEIRO, A.M.N., BASTOS, F.H. 2015. Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1142-1157.
- LOPES, M.J.S., DIAS FILHO, M.B., GURGEL, E.S.C. 2021. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation Methods and Abiotic Factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, n. 606454, p. 1-13
- MAIA, R.P., CASTRO, H.S. 2017. Erosão Diferencial e Propriedades Geomorfológicas das Rochas- Exemplos do NE Brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste (Online)* 3, 1-15.
- MCKENZIE, N.J., COUGHON, K.J., CRESSWELL, H.P. 2002. *Soil Physical Measurements and Interpretation for Land Evaluation*. Melbourne: CSIRO Publishing, 392p.
- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I.M. 2007. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 206p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal) - Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília (Brasil): Ministério do Meio Ambiente; 2012.
- NASCIMENTO NETO, J.N., FALCÃO SOBRINHO, J., FALCÃO, C.L.C. 2020. Agricultura na Serra de Uruburetama, Ceará. *Geopauta*, v. 4, n. 1, p. 49-68.
- PALMIERI, F., LARACH, J.O.I. 2004. Pedologia e geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B (Ed.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 5ª ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, p. 59 – 122.
- PCI GEOMATICS. Software PCI Geomática (version 2018). Markham, Canadá, 2018
- RIFFEL, E.S., GUASSELLI, L.A., BRESSANI, L.A. 2016. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. *Boletim Goiano de Geografia (Online)* 36, 285-101, DOI: 10.5216/bgg.v36i2.42796.
- RIBEIRO, S.C., MARÇAL, M.S., CORRÊA, ANTÔNIO C.B. 2010. Geomorfologia de Áreas Semiáridas: Uma Contribuição ao Estudo dos Sertões Nordestinos. *Revista de Geografia (Online)* 27, 120-137.
- ROSS, J.L.S. 2004. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMA. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Ed.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 291 - 335.
- SCHOBENHAUS, C., NEVES, B. B. B. 2003, A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES, J. H. (Org.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 692 p.
- SILVA, M. V. C., BRITO, E. G. 2008. Análise Geoambiental da Serra de Uruburetama - Ceará. *Geografia. Ensino & Pesquisa (UFSM)*, v. 12, p. 1440-1454.
- SOUZA, M.J.N., OLIVEIRA, V.P.V. 2006. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 5, n. 09, p. 85-102.
- USGS. United States Geological Survey. Imagem MSI/Sentinel-2. Departamento do Interior Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 5 mai. 2018.
- VALERIANO, M.M. 2008. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE. 72p.
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C.B., CROSS, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Journal of Soil and Water Conservation*, v. 26, n.5, p. 189-193.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture handbook*. Washington. D.C: US. Department of Agriculture, 60p.

¹Recebido 19 de novembro de 2023
Aceito 14 de maio de 2024