



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Riscos geomorfológicos no triângulo crajubar, estado do Ceará

Anderson da Silva Santos¹, Saulo Roberto de Oliveira Vital², Sara Fernandes Flor de Souza³

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia - Centro de Ensino Superior do Seridó - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59.300-000, Rua Joaquim Gregório S/N, Bairro Penedo, Caicó-RN. santos.anderson1998@hotmail.com (autor correspondente). ²Professor Adjunto, Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba - Campus I, CEP 58051-900, Cidade Universitária, João Pessoa - PB, saulo.vital@academico.ufpb.br. ³Professora Associada - Departamento de Geografia - Centro de Ensino Superior do Seridó - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59.300-000, Rua Joaquim Gregório S/N, Bairro Penedo, Caicó-RN. sara.flor@ufrrn.br.

Artigo recebido em 09/11/2022 e aceito em 10/01/2023

RESUMO

Os municípios do triângulo Crajubar, situados na região metropolitana do Cariri-CE apresentam a ocorrência de eventos extremos. Destarte, o presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um mapa que indique as áreas suscetíveis aos riscos geomorfológicos. Para identificar essas áreas propensas a riscos, foram extraídas e utilizadas características geomorfológicas de imagens de radar, além de dados do Censo de 2010 provenientes do IBGE, onde foram calculados índices, aplicados pesos e, posteriormente, realizado um cálculo de análise multivariada para a aquisição do produto. Como resultado da pesquisa, observou-se que áreas de vulnerabilidade alta e muito alta se localizam no entorno da mancha urbana de Juazeiro do Norte, nos limites da conurbação do triângulo Crajubar, e em áreas rurais com a presença de moradias nas encostas da chapada do Araripe. Conclui-se que devido à presença de muitas áreas com alto e muito alto risco geomorfológico, faz-se necessária a ação dos agentes que apliquem medidas que visem a prevenção e remediação de desastres. Dito isto, torna-se possível afirmar que a metodologia utilizada trouxe resultados consistentes.

Palavras-chave: Risco; Vulnerabilidade; Risco geomorfológico; Triângulo Crajubar.

Geomorphological risks in the crajubar triangle, state of Ceará

ABSTRACT

The municipalities of the Crajubar triangle, located in the metropolitan region of Cariri-CE, present the occurrence of extreme events. Thus, the present work has the objective of elaborating a map that indicates the areas susceptible to geomorphological risks. To identify these risk areas, geomorphological characteristics of radar images were extracted and used, in addition to data from the IBGE's 2010 Census, where indices were calculated, weights were applied and later a multivariate analysis was performed to acquire the final product. As a result of the research, it was observed that areas of high and very high vulnerability are located around the urban area of Juazeiro do Norte, on the limits of the conurbation of the Crajubar triangle, and in rural areas with the presence of houses on the slopes of the Araripe's Plateau. It is concluded that, due to the presence of many areas with high and very high geomorphological risk, the action of agents that apply measures aimed at the prevention and remediation of disasters are necessary. That said, it is possible to say that the methodology used brought consistent results.

Keywords: Risk; Vulnerability; Geomorphological risk; Crajubar triangle.

Introdução

Os desastres naturais são ocasionados pela ocorrência das dinâmicas interna e externa da Terra. Dentre estes eventos, aqueles que mais se destacam no Brasil são os movimentos de massa, os alagamentos e as inundações, associados a eventos climáticos extremos, advindos de chuvas prolongadas e intensas. As alterações antrópicas, por sua vez, são consideradas como agentes que intensificam a ocorrência destes (Servidoni *et al.*, 2019; Ranieri *et al.*, 2022).

O movimento de massa se define como o deslocamento de materiais (solos, fragmentos de rochas, e outros), podendo ser ocasionados por eventos extremos, como as chuvas intensas, que resultam na saturação do solo. Nesse ínterim, há uma maior probabilidade de ocorrência desse fenômeno através da ação humana, como as alterações das vertentes, impermeabilização do solo, remoção de vegetação e outros (Quevedo *et*

al., 2019a; Quevedo *et al.*, 2019b; Gameiro *et al.*, 2019; Silva, Reis e Santana, 2019).

Para Servidoni *et al.* (2019) e Siqueira *et al.* (2022), as enchentes se definem pela elevação temporária da lâmina d'água de um determinado canal de drenagem ocasionado por chuvas prolongadas. As inundações, por sua vez, correspondem ao transbordo da água do canal de drenagem para seu leito maior. Ao atingir áreas ocupadas pelo homem, estes eventos causam diversos transtornos como danos e perda de bens materiais, patrimoniais e até a perda de vidas (Valdivino *et al.*, 2022).

O crescimento acelerado das cidades de Crato e Barbalha em direção à escarpa da Chapada do Araripe, impulsionou o surgimento de problemas ambientais, no tocante aos impactos (desmatamento, exploração desordenada dos recursos hídricos, poluição, ocupação incontrolada do espaço, impermeabilização dos solos), e os riscos (numerosas construções situadas em áreas de maior declividade (Magalhães, Peulvast e Bétard, 2010; NAscimento, 2020; Leite *et al.*, 2020; Silva, 2022).

É abordado por Silva *et al.* (2017) que no município de Barbalha, devido à falta de políticas públicas habitacionais, ocorre a ocupação de áreas consideradas impróprias acarretando a intensificação dos processos de erosão e deslizamentos do solo. Moura-Fé *et al.* (2019) identificaram que no município do Crato, da mesma forma que os demais municípios que margeiam a chapada do Araripe, há uma forte tendência à ocupação de áreas elevadas em decorrência do clima mais ameno, constituindo este, um forte atrativo para o setor imobiliário, mesmo sendo áreas localizadas em forte declividade e sujeitas a movimentos de massa.

A esse respeito, foram encontrados na literatura alguns trabalhos sobre cheias e movimentos de massa de pequena escala que ocorreram nos pedimentos dissecados, onde se encontra a sede do município do Crato (Guerra e Sampaio, 1996; Lima; Pinheiro e Silva, 2016). Outros trabalhos mais recentes que tratam dos riscos ambientais na área estudada, abordam a questão da suscetibilidade a alagamentos (Palácio *et al.*, 2021), condições ambientais em áreas de vulnerabilidade social (Feitosa, 2019; Gil; Brito, NuneS, 2020), sustentabilidade ambiental em propriedades rurais (Feitosa; OLIVEIRA, 2021), riscos epidemiológicos (Silva; Pereira; Ribeiro, 2022).

Em alguns trabalhos, são evidenciados apenas quedas de blocos na alta escarpa, que

formam a margem do planalto, não havendo registro de movimento de massa de grande escala. No que tange aos processos naturais, apenas as cheias que mais impactam os municípios de Crato e Barbalha periodicamente foram levadas em consideração no planejamento urbano, através da construção de canais de concreto (Ribeiro & Guerra, 2003; Soares, 2006; Carvalho & Ribeiro, 2007; Sousa *et al.*, 2006).

Diante do exposto, o conceito de risco é sistematizado através de diversas abordagens, como risco social ou natural, de forma que o primeiro se refere aos problemas de ordem social, enquanto o segundo aborda a participação dos elementos naturais na deflagração dos desastres naturais, sejam eles geomorfológicos, geológicos e climáticos, acarretados pelos agentes externos e/ou internos do planeta. Dentre eles, destacam-se os mais comuns: movimentos de massa, inundações e processos erosivos (Oliveira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2020).

Para Veyret (2019) o risco é o representante de um perigo real ou hipotético que venha a atingir a população alvo que compõem os indicadores de vulnerabilidade. O risco surge a partir da percepção de um perigo ou potencial ameaça, o qual possui várias origens, sendo sentido pelos indivíduos e está propício a causar prejuízo às pessoas, aos bens, além da organização do território.

O estudo do risco, aliado à geomorfologia segundo Héty (2003) se mostra como uma importante ferramenta para a sua prevenção, uma vez que esse ramo do conhecimento científico é definido por Guerra (1993) e Araújo (2018) como a ciência que estuda as formas do relevo com base em sua origem, estrutura, natureza das suas rochas, clima regional e as diversas formas endógenas e exógenas, que está em constante evolução ao longo do tempo geológico, entendido como um estudo sistemático das formas do relevo.

Filho (2011) e Silva *et al.* (2017) definem o risco geomorfológico como os riscos que se relacionam à forma de ocupação do homem sobre o terreno, seja em encostas, ou em planícies de inundação e as situações que indicam risco são na primeira a presença de cortes verticais, executados em rochas ou no solo com alturas variadas, na segunda se apresentam ocupações dentro da planície de inundação.

Com vistas na espacialização das informações coletadas e interpretadas, o mapa de risco geomorfológico se mostra um importante instrumento para o planejamento municipal, possuindo várias utilidades como o planejamento

urbano, definição de áreas prioritárias para intervenções em base técnica em função dos fatores de risco (Silva, Reis e Santana, 2019; Vital, 2020; Araújo, 2018; Vital, 2020). Este possui como aspecto de grande importância as áreas consideradas como de alto risco, pois estão sempre sujeitas a novas invasões por não haver uma ocupação planejada nas mesmas (Silva et al., 2017).

A partir da contextualização realizada sobre a definição de risco, geomorfologia e riscos geomorfológicos, a área de estudo, a Chapada do Araripe se caracteriza pela ocorrência de um mesoclima subúmido, devido à sua disposição orográfica, que de acordo com Lima et al (2015), possui precipitação média anual de 1.033mm, de acordo com os dados dos postos pluviométricos situados em Barbalha, Crato, Missão Velha, e Juazeiro do Norte, pelo período de 74 anos, municípios estes localizados a barlavento da chapada.

Devido sua posição topográfica e microclima local, há formação de solos pedogeneticamente bem desenvolvidos, onde são identificados Latossolos e Argissolos, ocorrendo também solos pouco desenvolvidos como os Neossolos. Com base nos trabalhos de Salgado, Jordy Filho e Gonçalves (1981), Andrade-Lima (1966), MMA (1999), FUNCEME (2006) e Fernandes (2006), foram identificados 6 tipos de fisionomias vegetais: Caatinga Arbórea-arbustiva, Caatinga Arbustiva-arbórea, Mata úmida, Mata seca, Cerrado/Cerradão, Carrasco (vegetação típica do sul da Chapada do Araripe, que possui arbustos de caules finos e, tortuosos e emaranhados que são difíceis de adentrar) e Mata ciliar.

Frente a esse quadro, propõe-se verificar que, conforme apresentam os pesquisadores antepostos a esta pesquisa (Palácio *et al.*, 2021; Feitosa, 2019; Gil; Brito, Nunes, 2020; Sousa *et al.*, 2020), a área do Triângulo Crajubar apresenta um grande potencial para riscos, frente suas características físico-naturais, sobretudo relativas à geologia e ao relevo, assim como pela ocupação que se desenvolve sobre essas unidades de relevo. Caso os resultados apresentados por essas e posteriores pesquisas não sejam incorporados aos planos diretores dessas cidades, pode-se desenvolver desastres com grande potencial de perdas e danos.

Diante o exposto, a respectiva pesquisa tem como objetivo produzir um mapa de riscos geomorfológicos a partir de técnicas de geoprocessamento, buscando identificar as áreas susceptíveis aos riscos geomorfológicos na região do triângulo Crajubar no Cariri do Ceará.

Material e métodos

O triângulo Crajubar é um aglomerado urbano que está situado na região metropolitana do Cariri- CE, fruto da interação territorial dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha (Figura 1).

Visando identificar os riscos, foram elaborados a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), parâmetros geomorfológicos como a declividade, e hipsometria. O MDE utilizado como base foi o do radar Alos Palsar, que possui resolução espacial de 12,5 metros. Também, foram coletados dados socioeconômicos referentes ao Censo (2010). Todos os dados aqui trabalhados foram elaborados no software de licença livre Qgis v. 3.16.

As características geomorfológicas como declividade e hipsometria, foram elaboradas através de um TIN (Triangulated Irregular Network), este foi criado, com base na criação de estruturas de dados e superfícies de ajuste para se obter uma representação contínua do relevo, conforme explicita Câmara (2005). As características geomorfológicas foram identificadas através das ferramentas *r.recode* e *r.report*. A primeira ferramenta é utilizada para a criação de classes através de intervalos, já a segunda tem a função de calcular a área (km²) das classes já criadas.

Foram utilizados também dados referentes aos aspectos socioeconômicos do censo Demográfico por setores censitários do IBGE (2010) para elaborar o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), além da base de dados dos setores de risco dos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), (SGB, 2013; SGB, 2014).

As classes de declividade foram elaboradas de acordo com Filho e Beek (1995), que as definiram com valores de 0 a 45% para a ocorrência de eventos erosivos e impedimentos à mecanização, considerando para este trabalho apenas a ocorrência de eventos erosivos. Os valores são classificados como: 0 a 3% de declividade - **nulo** não susceptíveis à erosão e se classificam como relevos planos ou quase planos, 3 a 8% - **ligeiro** possuindo pouca susceptibilidade à erosão em relevos ligeiramente ondulados, 8 a 13% - **moderado** com moderada suscetibilidade à erosão em relevo ondulado, 13 a 20% - **forte** que apresenta forte susceptibilidade à erosão e ocorrem em relevo ondulado, 20 a 45% - **muito forte** com alto grau de susceptibilidade à erosão, ocorrendo em relevo forte ondulado e os superiores a 45% - **extremamente forte**, situando-se em relevos

escarpados, apresentando severa suscetibilidade à erosão, esta variável foi extraída a partir da

ferramenta *declividade* e posteriormente classificada na ferramenta *r.report*.

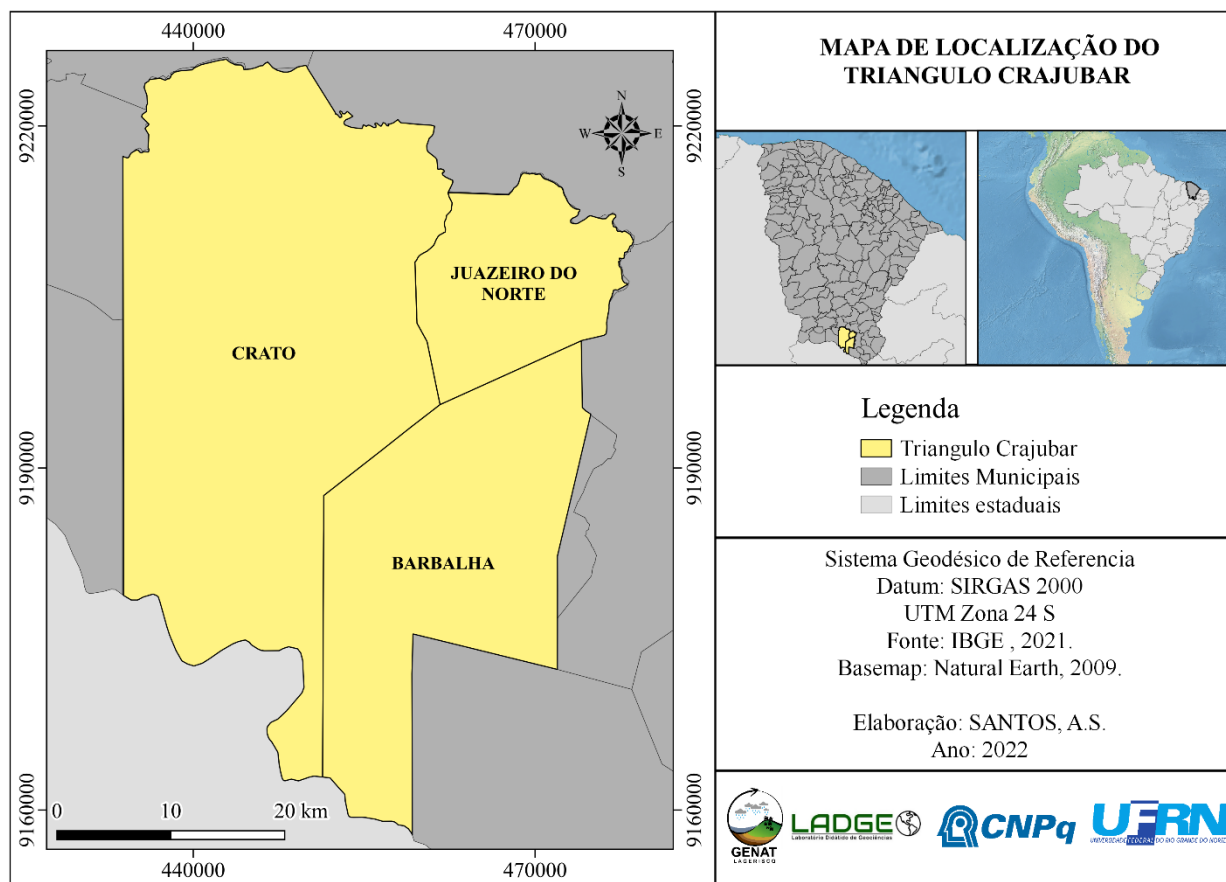


Figura 1. Mapa de localização do triângulo Crajubar - CE. Fonte - Própria autoria (2021).

A hipsometria presente no mapa é representada por uma rampa de cores que varia do verde (valores mais baixos) ao vermelho (valores mais altos), os intervalos dos seus valores foram obtidos a partir do que foi definido nas opções de simbologia, sendo ela configurada para expressar os valores de altimetria a partir do método discreto, com intervalo igual e dividida em 10 classes.

O Índice de Dissecação do Relevo (IDR) foi elaborado de acordo com Guimarães et al

(2017), e adaptado para elaboração no software Qgis v. 3.16, sendo calculado através da obtenção da soma dos valores resultantes do cálculo e mapeamento da *dimensão interfluvial média* (Dissecação horizontal) e do cálculo e mapeamento do *grau de entalhamento dos vales* (Dissecação vertical). Com os valores do IDR obtidos foi realizada a classificação de acordo com a proposta alternativa 3 (Figura 2), presente na obra do mesmo autor.

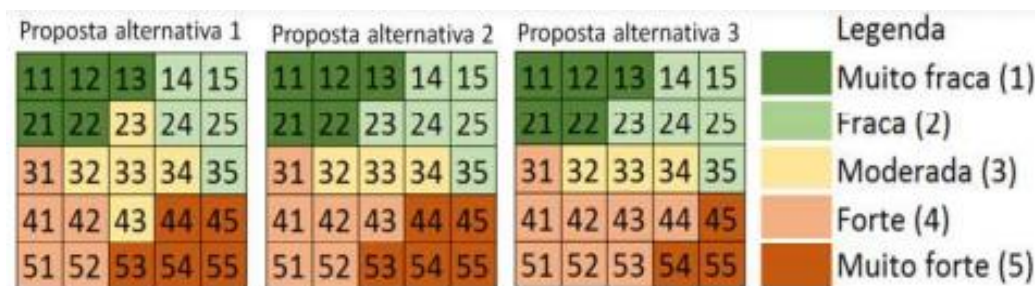


Figura 2. Propostas alternativas para classificar a dissecação da matriz de Ross. Fonte - Guimarães et. al. (2017).

Os aspectos socioeconômicos extraídos do censo demográfico de 2010 por setores censitários, tendo como variáveis analisadas: densidade populacional, renda e infraestrutura, obtidos através das planilhas: Basico_CE e Domicilio01_UF. A partir destes dados foi calculado o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) de acordo com a proposta de Nunes e Aquino (2019) que posteriormente foram espacializados em ambiente SIG através da função *Union*, com posterior Análise multivariada.

As variáveis utilizadas foram V1- Total por setor censitário; V2 - Média de moradores por domicílio; V3 - Densidade demográfica em Ha; V4 - Soma da porcentagem da população acima de 65 e abaixo de 12 anos; V5 - Domicílios particulares improvisados ocupados; V6 - Soma das porcentagens dos domicílios sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo; V7 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), todas elas aplicadas por setores censitários. Calculadas a partir da Equação 1:

$$IVS = \frac{V1+V2+V3+V4+V5+V6}{V7} \quad (1)$$

As informações referentes às áreas de risco foram obtidas a partir do trabalho de Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e

Muito Alto Risco a Inundações e Movimentos de Massa para os municípios de Crato e Juazeiro do Norte, elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), (SGB, 2013; SGB, 2014).

Pretende-se aqui identificar os riscos geomorfológicos a partir da correlação dos dados obtidos através da álgebra de mapas. Tal procedimento foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), por meio do software QGIS, v. 3.16, com base nas propostas de Santos e Vital (2020) e Mendes (2020), com adaptações para se calcular os riscos geomorfológicos, através de uma análise multicritério, a qual visa implantar pesos para os parâmetros de diferentes variáveis como, Declividade, Relevo, Índice de Dissecção do Relevo, IVS, e áreas de risco de inundação e deslizamento de massa. Como visto na equação 2:

$$Riscos_{geom} = \frac{Declive + Relevo + IDR + IVS + \text{Áreas de risco}}{5} \quad (2)$$

Nesses pesos são atribuídos valores numéricos para que possam ser calculados dentro do programa e em seguida seus resultados são transformados em variáveis qualitativas, indicando o grau de risco geomorfológico como visto na Tabela 1.

Tabela 1. variáveis utilizadas e pesos atribuídos para suas respectivas classes. Fonte. Própria autoria (2022).

Variável	Classe	Peso
Declividade	0-3 Plano	1
	3-8 Suave Ondulado	2
	8-13 Moderadamente Ondulado	3
	13-20 Ondulado	4
	20-45 Forte Ondulado	5
	>45 Escarpado	5
Relevo	Platô	2
	Maciços residuais	4
	Encosta sem cobertura coluvial	5
	Encosta com cobertura coluvial	5
	Pedimentos a 510 m	4
	Pedimentos a 450 m	4
	Pedimentos a 390 m	2
	Plano Aluvial	2
IDR	Fraca	2
	Moderada	3
	Forte	4
	Muito forte	5
IVS	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Moderada	3
	Forte	4
	Muito forte	5
Áreas de risco (grau de risco)	Alto	4
	Muito alto	5

Resultados e discussão

A área que compreende o Triângulo Crajubar foi classificada em 6 classes de declividade, tendo como classes que mais se destacam: *suave* (0 a 3%) com 52%, *suave-ondulado* (3 a 8%) ocupando 27% e *ondulado* (8 a 13%) com 13% da área total (Tabela 1). Segundo os dados adquiridos no mapeamento, a área estudada pode ser caracterizada como uma área

predominantemente suave devido ao relevo majoritariamente plano, que domina o topo da Chapada do Araripe. Embora a área urbana dos três municípios se distribua no sopé da chapada, possuem predominância de uma declividade suave a suave-ondulada (Figura 3). Essa característica atribui a essa área uma especificidade no tocante aos riscos geomorfológicos.

Tabela 2: Classes de declividade do Triangulo Crajubar - CE.

Classes *	Área (km ²)	Área (%)
Suave (0 a 3)	121.788	61,34%
Suave-Ondulado (3 a 8)	42.837	21,58%
Ondulado (8 a 13)	19.905	10,03%
Forte-Ondulado (13 a 25)	11.162	5,62%
Escarpado (25 a 45)	2.632	1,33%
Forte-Escarpado (>45)	0.215	0,11%
Total	198.539	100,00%

*Estatística Descritiva: Valor mínimo: 0; Valor máximo: 330.8077697753906; Intervalo: 330.8077697753906; Soma: 117999439.8895321; Valor médio: 5.920881587803937; Desvio padrão: 8.185663340810157; Soma dos quadrados: 1335369050.470418

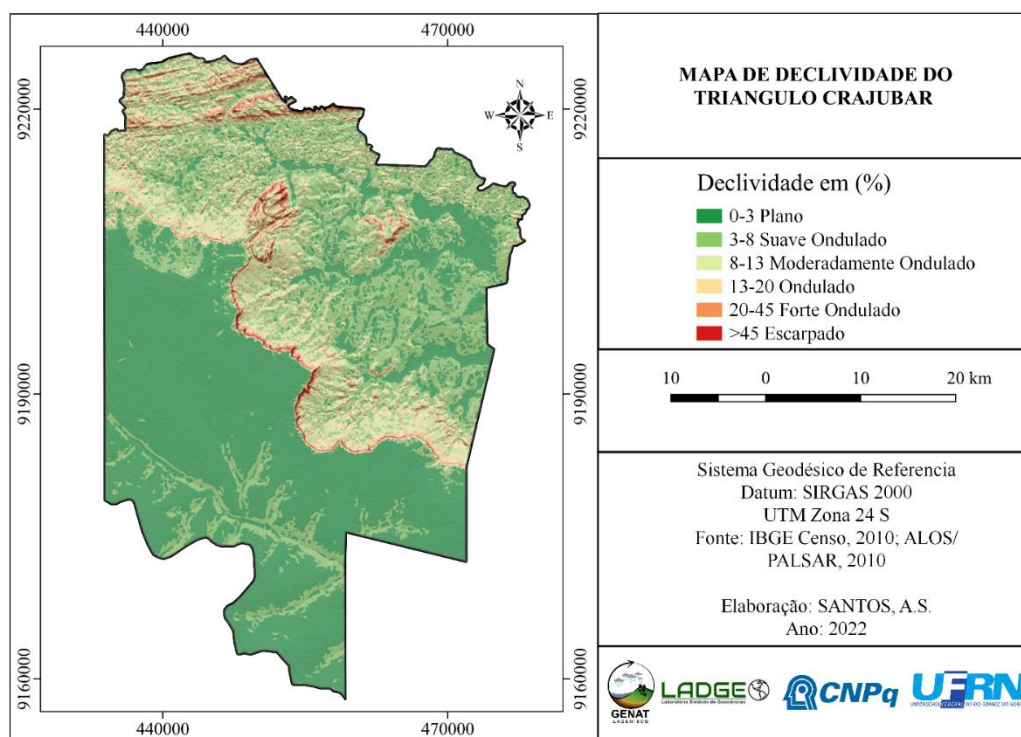


Figura 3. Mapa de declividade do triangulo Crajubar – CE. Fonte. Própria autoria (2022).

O crescimento urbano das cidades que compõem o triângulo CRAJUBAR, atrelado às características físico-naturais, sobretudo aquelas

relacionadas à geologia e ao relevo, atribuem a essa área uma forte propensão a processos erosivos e de movimentos de massa, uma vez que a Chapada do

Araripe apresenta escarpas de alta declividade, marcada, em sua origem, por soerguimentos do pacote sedimentar da Bacia do Araripe. Ademais, vale ressaltar que a expansão da malha urbana, sobretudo das cidades do Crato e Barbalha, está adentrando cada vez mais por essas áreas, proporcionando situações de elevado risco, principalmente de zonas periféricas. Embora grande parte da chapada seja suavemente plana, a maior ocupação, de fato, se dá nas escarpas, onde a existência de nascentes propiciou historicamente esta ocupação. Atrelado a esse fator, também se têm o forte risco a inundações e alagamentos, que,

também, é muito presente na Cidade de Juazeiro do Norte.

A referida área se encontra entre as altitudes de 340 e 960 m, porém, as áreas urbanas dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha se situam entre as altitudes de 401 e 460 m. As classes hipsométricas que predominam na área são as classes de 900 a 960 m com 25% da área, 836 a 900 m com 21% e posteriormente a classe 401 a 460 m com 21%, com vertentes que se encontram em sua maioria, nas direções Nordeste com 11% da área e Leste com 10%, além de 19% das vertentes (Tabela 3), sendo compreendidas como planas (Figura 4).

Tabela 3: Dados do Mapa Hipsométrico do Triângulo Crajubar – CE.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
340 - 400	25.217	12,65%
401 - 460	41.792	20,97%
461 - 525	16.166	8,11%
526 - 590	7.803	3,92%
590 - 650	5.194	2,61%
651 - 710	4.596	2,31%
711 - 770	3.103	1,56%
771 - 835	2.955	1,48%
836 - 900	42.257	21,20%
900 - 960	50.205	25,19%
Total	199.286	100,00%

*Estatística Descritiva: Valor mínimo: 326; Valor máximo: 964; Intervalo: 638; Soma: 8583077294; Valor médio: 672.8215311298463; Desvio padrão: 229.3406190340581; Soma dos quadrados: 670973038418.9398

Em suma, a área de estudos possui altitudes que variam de 340 a 960 m, tendo, assim, uma amplitude altimétrica de 620 m, isto se dá devido à disparidade de elevação entre duas unidades morfoesculturais: a Chapada do Araripe (com altitudes que variam entre 836 e 960 m em seu platô) e a Depressão do Cariri (cuja altitude varia entre 340 e 590 m).

O mapa de IVS aponta valores de 0 a 0,79 (Muito baixa); 0,80 a 1,67 (Baixa); 1,68 a 2,42 (Moderada); 2,43 a 4,16 (Alta); 4,17 a 8,03 (Muito alta), como mostrado na figura 5 e tabela 4. Foi possível perceber que os setores que possuem maior vulnerabilidade estão situados ao redor da mancha urbana de Juazeiro do Norte e na área que sofreu um processo de conurbação entre o referido município e Crato. As classes Moderada e Alta são

encontradas não só na zona urbana, mas também na vertente da Chapada do Araripe, sendo possível observar a presença de casas de veraneio e moradias aos arredores. Estas por sua vez, são descritas por Nunes e Aquino (2019) como áreas as quais possuem características como número considerável de pessoas vulneráveis (em relação à faixa etária), número considerável de pessoas com moderado poder econômico, considerável número de moradores por domicílio, há poucos ou moderados equipamentos de saneamento urbano (Figura 6 e tabela 5). Outros autores também trataram desta temática na área em análise, tais como Feitosa (2019), Gil, Brito, Nunes (2020), Nascimento, 2020; Leite *et al.*, (2020); Silva (2022).

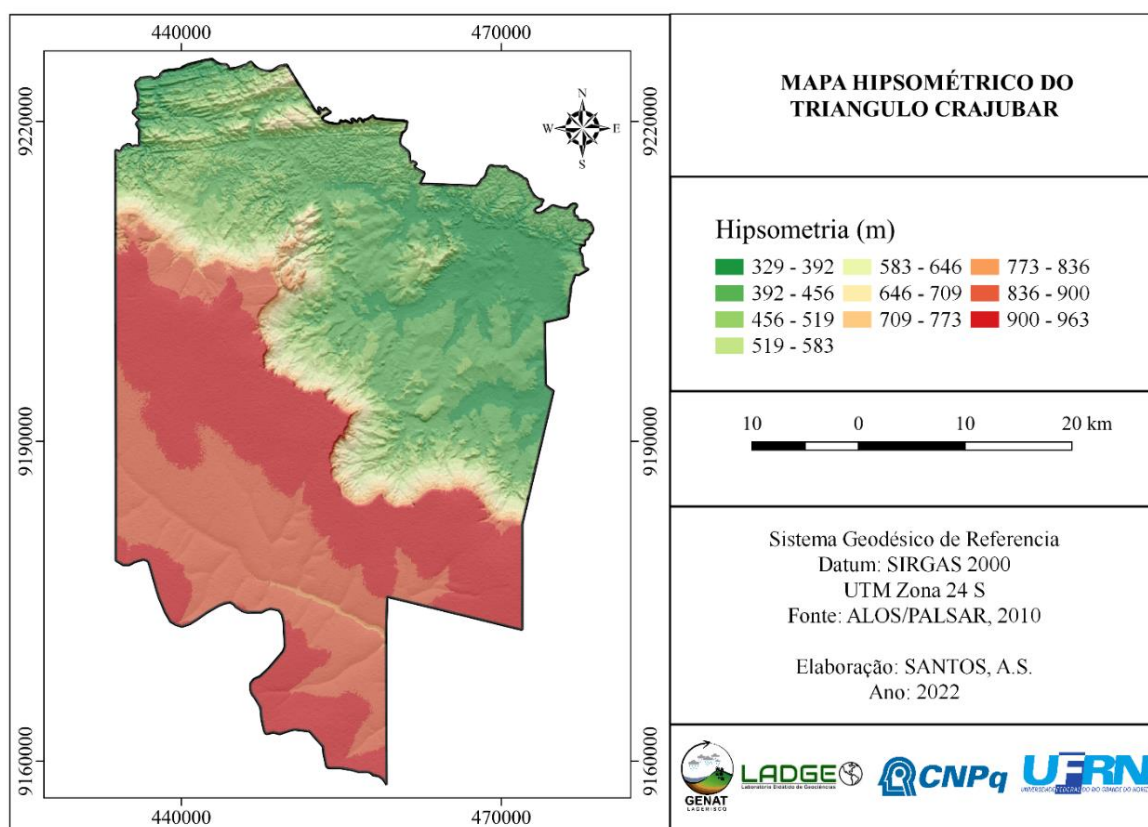


Figura 4. Mapa Hipsométrico do Triângulo Crajubar – CE. Fonte autoria própria (2022)

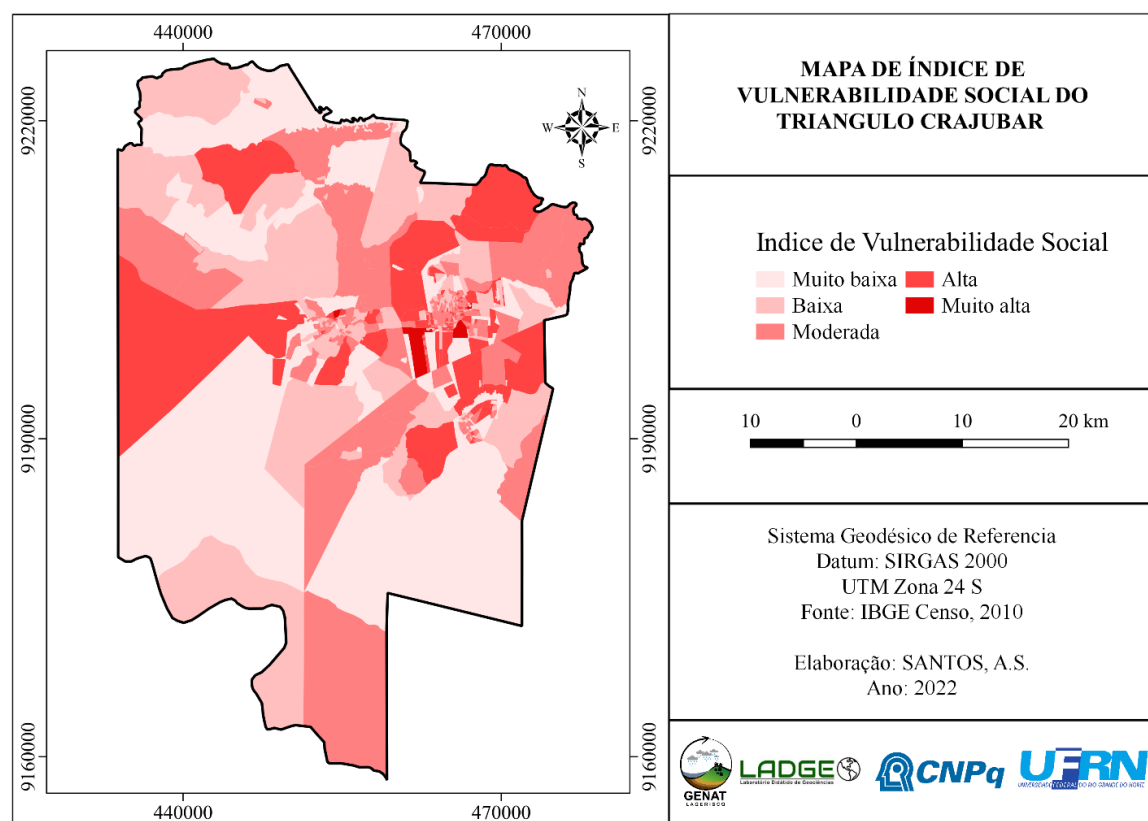


Figura 5. Mapa de IVS do triângulo Crajubar - CE. Fonte autoria própria (2022)

Tabela 4: Dados do Mapa Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) do Triângulo Crajubar - CE.

Classes*	IVS	Área (km²)	Área (%)
Muito baixa	0 a 0,79	8.567	0,43%
Baixa	0,80 a 1,67	341.067	17,11%
Moderada	1,68 a 2,42	452.460	22,70%
Alta	2,43 a 4,16	486.621	24,42%
Muito alta	4,17 a 8,03	704.264	35,34%
Total	-	1.992,979	100,00%

*Estatística Descritiva: valor mínimo: 0; Valor máximo: 8.029725074768066; Intervalo: 8.029725074768066; Soma: 118405572.8196128; Valor médio: 1.485031670818449; Desvio padrão: 1.076978837155688; Soma dos quadrados: 92480625.97853506

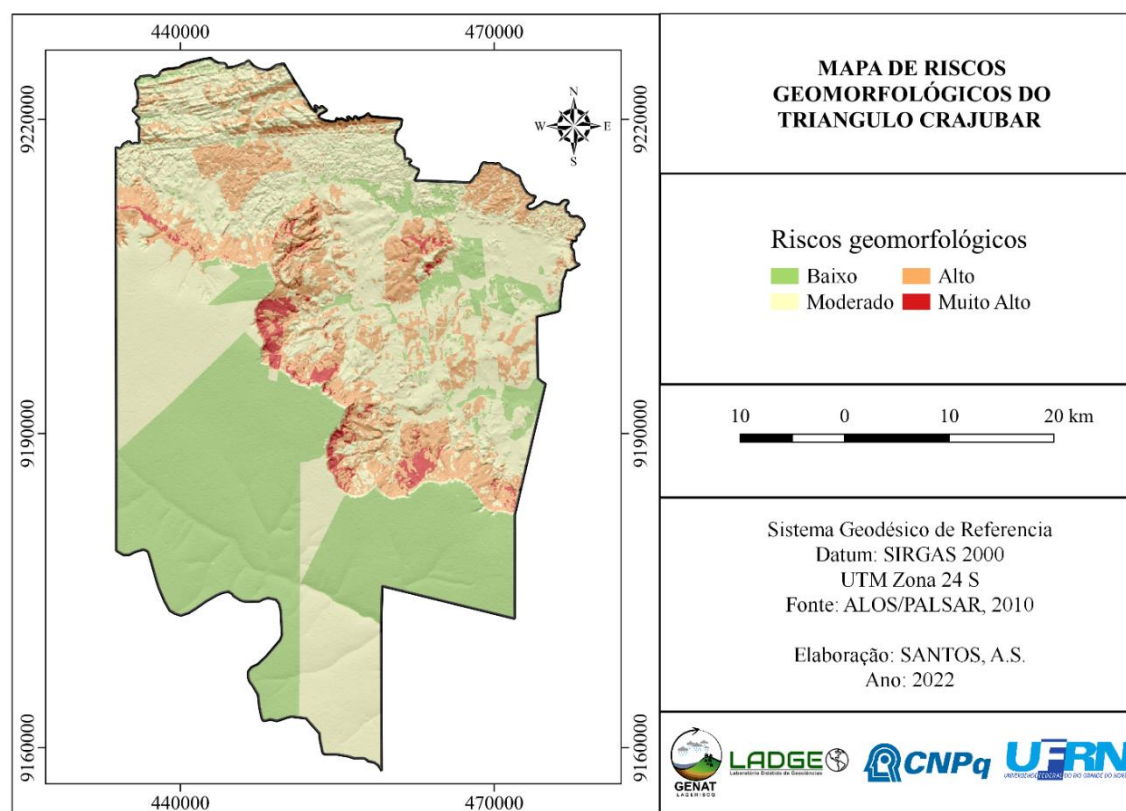


Figura 6. Mapa de Riscos Geomorfológicos do Triângulo Crajubar - CE. Fonte autoria própria (2022)

Tabela 5: Classes do mapa de Riscos Geomorfológicos do Triângulo Crajubar - CE.

Classes *	Área (km²)	Área (%)
Baixo	2.432	0,12%
Moderado	75.527	3,79%
Alto	643.757	32,27%
Muito alto	1.273,406	63,83%
Total	1.995,123	100,00%

*Estatística Descritiva: Valor mínimo: 0.2000000029802322; Valor máximo: 4; Intervalo: 3.799999997019768; Soma: 9721899.426057935; Valor médio: 1.949132650265996; Desvio padrão: 0.6044590450970173; Soma dos quadrados: 1822398.720599315

As áreas que apresentam maior risco estão situadas nas encostas da Chapada do Araripe, ela possui cicatrizes de movimentos de massa, em áreas de maior declividade, conforme também descreve Sousa *et al.* (2020). É observada através de imagens de satélite (Figura 7) a presença de imóveis e loteamentos nessas áreas, podendo,

assim, perceber que há um processo de crescimento urbano, aumentando o risco. Há, também, a presença de áreas propensas à inundação, originadas a partir do assoreamento do rio, proveniente do acúmulo de sedimentos que resultaram dos movimentos de massa ocorridos nas encostas da chapada.



Figura 7. Imóveis identificados em áreas de risco no município de Crato - CE. Fonte. Própria autoria (2021).

As defesas civis aliadas à CPRM (Serviço Geológico do Brasil) realizaram mapeamentos de setorização de áreas de risco geológico, ao qual foram identificadas áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e inundações nos relatórios técnicos feitos por Freitas (2013) e Freitas *et al.* (2014), em parceria com as Defesas Civis locais. Foi constatado que no município do Crato há nove áreas consideradas de alto risco devido o tipo de ocupação e ocorrência dos fenômenos naturais, sendo representada pela ocupação inadequada nas encostas, onde pode ocorrer o movimento de massa e próximo às margens de rios, onde pode ocorrer enchentes e inundações. No município de Juazeiro do Norte foram identificadas três áreas de risco alto, decorrente dos fatores presentes no município do Crato, as áreas se encontram às margens de rios e lagoas, que podem sofrer com enchentes e inundações, e atingindo as moradias presentes (Freitas *et al.*, 2014; Freitas, 2013).

Lima e Ribeiro (2012), citam a ocorrência de bloco com o desprendimento de matacões na colina do Horto, presente no município de Juazeiro do Norte, é falado também que o tipo de cobertura do solo presente no município é responsável pelo aumento do escoamento superficial devido a impermeabilização do solo, resultando em erosões próximas ao leito do rio, que recebe todo o fluxo e detritos vindos das encostas.

Conclusões

A partir dos dados coletados foi possível construir um produto cartográfico com tema relacionado aos riscos geomorfológicos, este por sua vez se mostrou consistente ao delimitar as áreas de Alto e Muito alto risco nas altas encostas, onde o Índice de Vulnerabilidade Social varia de média e alta em alguns trechos, mostrando assim que a população afetada possui maior dificuldade para se

reestruturar e reparar os danos estruturais causados por um movimento de massa ou enxurrada.

Deste modo, propõe-se aqui trazer como forma de mitigação destes desastres, um conjunto de medidas estruturais e não estruturais instauradas pelos órgãos responsáveis para a criação de estruturas que possam estabilizar o relevo das encostas e criar abrigos em locais aptos para realocar as famílias atingidas por eventos extremos, além de ações que levem a essa parcela da população a noção de risco.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ao primeiro autor.

Referências

- Andrade-lima, D., 1966. Vegetação. In: IBGE. Atlas nacional do brasil. Rio de janeiro: conselho nacional de geografia, pp. 1-121.
- Araújo, p. C., 2018. Geomorfologia. Editora e distribuidora educacional s.a. Londrina, 184.
- Carvalho, S.M., & Ribeiro, S.C., 2007. Identificação das áreas de riscos de deslizamentos urbanos e periurbanos da cidade do Crato/CE. Cadernos de cultura e ciência, 12.
- Feitosa, A.K., Oliveira, C.W., 2021. Análise da situação ambiental de propriedades rurais no cariri cearense. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável 11, 336-348.
- Feitosa, A.L.C., 2019. O bairro como projeto e processo: a inscrição do bairro Frei Damião na cidade de Juazeiro do Norte-CE. Argumentos 16, 101-132.
- Fernandes, A. 2006., Fitogeografia brasileira. Províncias Florísticas 3.
- Filho, A.R., Beek, K.J. 1995. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 65.
- Filho, R.D.S. 2011. Antropogeomorfologia urbana. In guerra, a.j.t. (org). 2011. Geomorfologia urbana. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 280.
- Freitas, L.C.B., 2013. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Juazeiro do Norte, CE. CPRM.
- Freitas, L.C.B., Rodrigues, J.G., Cajazeiras, C., Camacho, C.R., Modesto, F., 2014. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Crato, Ceará. CPRM.
- Gameiro, S., Quevedo, R.P., Oliveira, G.G, Ruiz, L.F.C., Guasselli, L.A., 2019. Análise e correlação de atributos morfométricos e sua influência nos movimentos de massa ocorridos na bacia do rio rolante, rs. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, Brasil. 14-17.
- Gameiro, S., 2022. Análise e correlação de atributos morfométricos e sua influência nos movimentos de massa ocorridos na bacia do rio Rolante, RS. Trabalho apresentado em anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.
- Guerra, A.T., 1993. Dicionário geológico-geomorfológico. Bertrand Brasil 8. 446.
- Guimarães, F.S., Cordeiro, C.M., Bueno, G.T., Carvalho, V.L.M., Nero, M.A., 2017. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. Revista Brasileira de Geomorfologia 18, 155-167.
- IBGE, Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/currais-novos/panorama>. Acesso: 13 fev, 2022.
- Leite, M.D.M.S., Cardoso, I.V.S., Faustino, F.W., Cordeiro, R.M., Santos, S.P., & Rocha, B. A.P., 2020. Região metropolitana do Cariri: uma análise socioeconômica e ambiental / Metropolitan region of Cariri: a socioeconomic and environmental analysis. Brazilian Journal of Development 6, 35906-35919.
- Lima, F.J., Lima, G.G., Corrêa, A.C.B., Marçal, M.S., 2015. Mapeamento geomorfológico em escala de semi-detalle e a flexibilização de manuais de mapeamento: breves considerações a partir de um estudo de caso - setor subúmido do planalto sedimentar do Araripe/CE/Brasil Ensaios de Geografia 3, 61-78. Recuperado de: https://periodicos.uff.br/ensaios_posgeo/article/view/36277.
- Lima, G.G., Ribeiro, S.C., 2012. Geomorfologia e paisagem do município de Juazeiro do Norte/CE: relações entre a natureza semi-árida e os impactos antrópicos. Revista Geonorte 3, 520-530.
- Lima, M.T.B., Pinheiro, M.A., Silva, J.M.O., 2016. Análise dos condicionantes geomorfológicos relacionado a declividade e altitude no risco à inundação na microbacia do rio Granjeiro, Crato/CE. 11º SINAGEO, Maringá, PR. 1-7.
- Magalhães, A.O., Peulvast, J.P., Bétard, F., 2010. Geodinâmica, perigos e riscos ambientais nas margens úmidas de planaltos tropicais: levantamento preliminar na região do Cariri

- oriental (Ceará, Brasil). In: IV Seminário Latino-Americano de Geografia Física. 1-15.
- Mendes, Y.S., Ribeiro, V.O., Filho, A.C.P., Galbetti, T.A.S., 2020. Álgebra de mapas na elaboração de carta de risco à inundação. Anuário do Instituto de Geociências 43, 349-362.
- MMA/FUNDETEC/URCA. 1999. Relatório do projeto Araripe de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável da APA Chapada do Araripe e da Biorregião do Araripe. Convênio MMA n. 97 CV 0026 zoneamento ambiental, plano de gestão da área de proteção ambiental da Chapada do Araripe – CE/PE/PI. Crato-Ceará. 88-103.
- Moura-Fé, M.M., Pinheiro, M.V.A. Silva, J.H.M., Rodrigues, R.M., 2019. Ocupação de encostas: riscos erosivos e extinção de nascentes no município do Crato, Ceará. XVIII SBGFA, Simpósio Brasileiro de Geografia Física. UFCE, Fortaleza, CE. 1-5.
- Nascimento, D.C., 2020. Cidades sustentáveis e políticas ambientais: um resgate da percepção dos gestores municipais da região metropolitana do Cariri, Ceará, Brasil. Geotemas 10, 106-124.
- Palácio, O.D., Oliveira, C.W., Meireles, A.C.M., Souza-Júnior, T.G.S., 2021. Análise da suscetibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará. Revista brasileira de Geografia Física 14, 2204-2219.
- Quevedo, R.P., Guasselli, L.A., Oliveira, G.G., Ruiz, L.F.C., 2019a. Modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa: avaliação comparativa de técnicas de amostragem, aprendizado de máquina e modelos digitais de elevação. Geociências 38, 781-795.
- Quevedo, R.P., Oliveira, G.G., Gameiro, S., Ruiz, L.F.C., Guasselli, L.A., 2019b. Modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa com redes neurais artificiais. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, Brasil 19, 2910-2913.
- Ranieri, C.L.W., Souza, D.J.C., Costa, L.A., Rosa, P.V.C., Silva, C.F.L., 2022. Análise das áreas suscetíveis a enchentes e inundações pelo rio Tocantins no município de Tucuruí-PA. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação 8, 1686–1695.
- Ribeiro, S.C., Guerra, A.J., 2003. Fatores sócio-ambientais na aceleração de processos erosivos em áreas urbanas: o bairro Seminário, Crato/CE. Revista do Departamento de Geografia – Geo UERJ. 1827-1829.
- Salgado, O.A., Filho, S.J., Gonçalves, L.M.C., 1981. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos - estudo fitogeográfico. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria geral. Projeto radambrasil. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, levantamento de recursos naturais 59, 485-544.
- Santos, A.D., Vital, S.R.O., 2020. Riscos geomorfológicos no município de Caicó-RN. Revista Brasileira de Geografia Física 13, 434-448.
- Servidoni, L. E., Teodoro, A.E.M., Mincato, R.L., Santos, C.A., 2019. Avaliação de risco a enchentes e inundações por krigagem ordinária em sistemas de informação geográfica. Caderno de Geografia. 29, 126-143.
- SGB, Serviço Geológico do Brasil., 2013. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Juazeiro do Norte, Ceará. 1-3.
- SGB, Serviço Geológico do Brasil., 2014. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Crato, Ceará. 1-6.
- Silva, F.M.A., Bandeira, A.P.N., Ribeiro, S.C., Nascimento, D.C., 2017. Percepção dos riscos geomorfológicos em assentamentos precários no município de Barbalha - Ceará. Ciência e Sustentabilidade. 3, 145-162.
- Silva, E.S., Reis, M.C., Santana, T.L., 2019. Riscos geomorfológicos associados a eventos climáticos extremos em Paripiranga-BA. XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. 1-6.
- Silva, H.S., Pereira, C.E.G., Ribeiro, E., 2021. Mapeamento do coronavírus e as condições socioeconômicas da formação Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, no Ceará. Boletim Gaúcho de Geografia. 48, 62-84.
- Silva, M.L.G., 2022. Diagnóstico da sustentabilidade socioambiental dos municípios do Crajubar (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha). Dissertação (Mestrado). Paraíba, UFPB. 147, 1-147.
- Siqueira, G., Silva, F., Albertin, R.M., Pacheco, P.A.B., Fonseca, D.F., 2022. Bacia hidrográfica do rio Belém na cidade de Curitiba (PR): uma visão geral da impermeabilização excessiva. Estrabão. 3, 159–173.
- Soares, R.C., 2006. Carta de cadastro das cicatrizes de feições erosivas e movimentos gravitacionais de massa nas áreas urbanas e periurbanas de Barbalha/CE com vistas ao planejamento urbano-ambiental. Anais do VI Simpósio

- Nacional de Geomorfologia/Regional. Conference On Geomorphology, Goiânia. 1-15.
- Sousa, C.A.V., Mendonça, L.A.R., Gonçalves, J.Y.B., 2006. Análise preliminar de riscos ambientais devido a expansão urbana na microbacia hidrográfica do rio Granjeiro no município do Crato – CE. VIII Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza, CE.
- Sousa, F., Beja, M.J., Franco, G. Rodrigues, D., 2020. Vulnerabilidade social em contextos de riscos naturais: uma revisão sistemática da literatura. Revista Ensino De Ciências E Humanidades – Cidadania, Diversidade e Bem-Estar 4, 486-509.
- Valdivino, L.F.X., Oliveira, F.L.S., Matos, L.S., Juvenal, P.H.S., Cruz, M.L.B., 2022. Análise das áreas de risco a enchentes e inundações urbanas: o caso do bairro Sabiaguaba, Fortaleza – CE. Paisagens & Geografias 5, 21-31.
- Veyret, Y., 2007. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 1-319.