



Parâmetros físicos e análise de risco a escorregamentos: município do Crato (CE)

Bárbara Gabrielly Silva Barbosa ¹  

Fabrizio de Luiz Rosito Listo ²  

Tulius Dias Nery ³  

Carlos de Oliveira Bispo ⁴  

Destaques

- Mapeamentos de riscos geomorfológicos.
- Análise da suscetibilidade a escorregamentos em áreas de exceção climática inseridas no contexto semiárido.
- Setorização de riscos de escorregamentos associados à vulnerabilidade socioambiental.

Resumo: No Brasil, segundo estimativas do IBGE (2018), cerca de 8,3 milhões de pessoas vivem em áreas de risco, distribuídas em 872 municípios. O Crato, situado no estado do Ceará, embora inserido em um contexto ambiental relativamente estável, enfrenta desafios decorrentes da ocupação irregular e da carência de planejamento urbano articulado à proteção ambiental, sobretudo nas encostas da Chapada do Araripe. Este trabalho tem por objetivo analisar os parâmetros físicos que condicionam a suscetibilidade na região da Chapada do Araripe, bem como identificar os setores de risco no Bairro do Seminário, considerando as desigualdades entre áreas de padrão socioeconômico elevado e aquelas habitadas por populações de baixa renda. Foram utilizados mapas topográficos e técnicas de geoprocessamento para reconhecer áreas suscetíveis na Chapada do Araripe. Os resultados indicaram suscetibilidade associada a altitudes e declividades acentuadas, somadas à presença de escarpas rochosas. No setor do Bairro do Seminário, inclinações superiores a 16,8°, cicatrizes de escorregamentos translacionais e solos expostos configuram um cenário propício ao alto risco a estes processos. Os achados deste estudo são essenciais para subsidiar políticas públicas de prevenção de desastres e ordenamento urbano no município do Crato.

Palavras-chave: Áreas de risco; escorregamentos; semiárido; Chapada do Araripe; planejamento urbano.

¹ Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente professora na Educação Básica na rede estadual de ensino do estado de Pernambuco.

² Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no Departamento de Ciências Geográficas. Membro Permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG/Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) da UFPE.

³ Tecnologista em Geodinâmica no Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - Cemaden, atuando na área de monitoramento e alerta. Mestrado e Doutorado em Geografia, pelo Departamento de Geografia Física da Universidade de São Paulo.

⁴ Doutor e mestre em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS) no departamento de Geografia de Itabaiana-DGEL.



PHYSICAL PARAMETERS AND LANDSLIDE RISK ANALYSIS: MUNICIPALITY OF CRATO (CE)

Abstract: According to estimates by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2018), approximately 8.3 million people reside in risk-prone areas across 872 municipalities in Brazil. The municipality of Crato, located in the state of Ceará, despite being situated in a relatively stable environmental setting, faces persistent challenges linked to unregulated land occupation and the absence of urban planning aligned with environmental protection—particularly on the slopes of the Chapada do Araripe. This study seeks to examine the physical parameters that condition susceptibility in the Chapada do Araripe region, as well as to delineate risk sectors within the Seminário neighborhood, considering the marked contrasts between high-income zones and areas inhabited by low-income populations. Topographic maps and geospatial analysis techniques were employed to identify susceptible zones within the study area. The results indicate that susceptibility is predominantly associated with elevated altitudes, steep slopes, and the presence of rocky escarpments. In the Seminário neighborhood, slopes exceeding 16.8°, the presence of scars from translational landslides, and exposed soil surfaces constitute a scenario of heightened landslide risk. The findings of this research are essential to support the formulation of public policies focused on disaster risk reduction and sustainable urban development in Crato.

Keywords: Risk areas; Landslides; Semi-arid; Chapada do Araripe; Urban planning.

PARÁMETROS FÍSICOS Y ANÁLISIS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS: MUNICIPIO DE CRATO (CE)

Resumen: Según estimaciones del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, 2018), aproximadamente 8,3 millones de personas residen en áreas expuestas a riesgos, distribuidas en 872 municipios de Brasil. El municipio de Crato, ubicado en el estado de Ceará, a pesar de encontrarse en un contexto ambiental relativamente estable, enfrenta desafíos persistentes vinculados a la ocupación irregular del suelo y a la ausencia de una planificación urbana articulada con la protección ambiental, en particular en las laderas de la Chapada do Araripe. El presente estudio tiene como objetivo analizar los parámetros físicos que condicionan la susceptibilidad en la región de la Chapada do Araripe, así como delimitar los sectores de riesgo en el barrio Seminário, considerando las marcadas desigualdades entre zonas de alto nivel socioeconómico y aquellas habitadas por poblaciones de bajos ingresos. Se emplearon mapas topográficos y técnicas de análisis geoespacial para identificar zonas susceptibles dentro del área de estudio. Los resultados indican que la susceptibilidad está principalmente asociada a altitudes elevadas, pendientes pronunciadas y la presencia de escarpas rocosas. En el barrio Seminário, pendientes superiores a 16,8°, cicatrices de deslizamientos traslacionales y suelos expuestos configuran un escenario de alto riesgo frente a estos procesos. Los hallazgos de esta investigación son fundamentales para respaldar la formulación de políticas públicas orientadas a la reducción del riesgo de desastres y al desarrollo urbano sostenible en el municipio de Crato.

Palabras clave: Áreas de riesgo; deslizamientos; semiárido; Chapada do Araripe; planificación urbana.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Banco Mundial (2012), cerca de 300 milhões de pessoas em todo o mundo vivem em áreas de risco a movimentos de massa, com cerca de 600 fatalidades anuais atribuídas a esses eventos. Ademais, as perdas econômicas decorrentes são avaliadas em torno de 20 bilhões de dólares em todo o mundo (Das; Lepcha, 2019). No contexto brasileiro, um estudo do IBGE (2018) realizado a partir da Base Territorial Estatística de Áreas de Risco (BATER) estima que 8,3 milhões de pessoas vivem em área de risco, sendo distribuídas em 872 municípios. Um estudo feito por Macedo e Martins (2015) identificou que entre 1988 até 2015, 243 municípios brasileiros foram impactados por tais desastres, culminando na perda de 3.396 vidas.

A expansão de ocupações irregulares em centros urbanos do território brasileiro, ao longo do século XX, deu origem a uma série de desafios socioambientais ainda presentes nos dias de hoje (Campos; Branco, 2021). Essa dinâmica é em grande parte resultado das desigualdades sociais e da intensa especulação imobiliária, que concentra o desenvolvimento em certas áreas e exclui economicamente as camadas mais vulneráveis da população. Essas pessoas, muitas vezes, são forçadas a se deslocar para regiões insalubres, carentes de infraestrutura adequada (Cardoso; Aragão; Araújo, 2011).

Um exemplo notável do fenômeno citado pode ser observado no município do Crato, situado na região semiárida da mesorregião do Cariri, no Ceará. O Crato se destaca por estar em um contexto ambiental relativamente estável, o que contrasta com os problemas socioambientais gerados pela ocupação irregular e pela falta de planejamento urbano adequado (Carvalho; Ribeiro, 2006).

A expansão urbana do Crato em direção às suscetíveis encostas da Chapada do Araripe, junto a um planejamento inadequado do uso do solo, levou ao surgimento e intensificação de áreas de risco (Carvalho; Ribeiro, 2006). Em contrapartida, no Crato, diferentemente de outros centros urbanos no Brasil, a população economicamente favorecida também se expõe a riscos ao residir nessa região, atraídos pelo clima mais úmido e construindo residências de alto padrão nas encostas instáveis da Chapada do Araripe, propensas a escorregamentos.

Simultaneamente, a população de menor poder aquisitivo, localizada mais próxima ao centro urbano, enfrenta riscos relacionados à falta de infraestrutura adequada, como saneamento básico precário, exacerbando sua vulnerabilidade ambiental e social em um contexto de disparidades.

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas com o objetivo de subsidiar os estudos sobre áreas de risco, contribuindo para que profissionais atuem na redução de perdas humanas e prejuízos econômicos à população. Muitas delas baseadas na evolução tecnológica do Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo uma forma robusta de identificação, caracterização e avaliação dos escorregamentos (Listo; Vieira, 2010; Martha *et al.*, 2010).

O mapeamento de áreas com predisposição à ocorrência de escorregamentos tem sido recomendado por órgãos governamentais e acadêmicos, em consonância com a Lei Federal nº12.608 (Brasil, 2012), a qual instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), porém a regulamentação aconteceu apenas em 2020 no decreto nº 10.593 de dezembro de 2020. A lei federal autorizou a criação de sistemas de informações, de alertas e de monitoramento de processos, tendo como principal foco contribuir para a prevenção e a redução de desastres, incentivando o planejamento territorial.

Nesta perspectiva, os parâmetros físicos desempenham um papel crucial na análise da evolução dos processos que moldam o relevo terrestre, particularmente no que se refere a escorregamentos. Segundo o Ministério das Cidades e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Brasil, 2007), a avaliação do risco de escorregamentos leva em conta não apenas condições geológicas e geotécnicas, como a inclinação do terreno e sua composição, mas também a presença de indicadores como fissuras no solo, cicatrizes de escorregamentos e intervenções humanas, por exemplo, alterações em construções ou em estruturas de suporte.

Assim, este estudo tem como objetivo avaliar os parâmetros físicos da área, identificando as zonas com maior vulnerabilidade ao processo de escorregamentos dentro do sítio urbano do Crato, a partir de uma abordagem que integra análises físicas detalhadas com observações de campo. Nessa perspectiva,

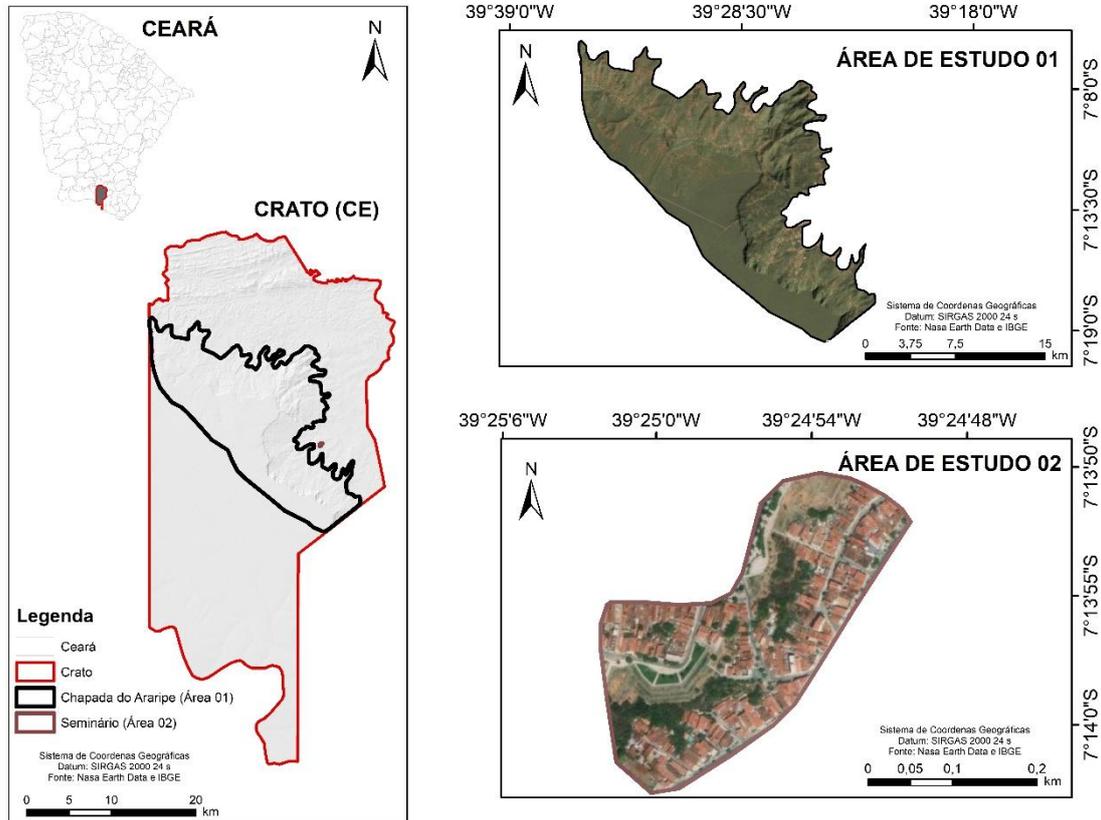
o trabalho se justifica pelo antagonismo entre construções de alto padrão que escolhem, por aspectos climáticos, estarem dispostas as condições de suscetibilidade ao processo, e a população de baixo poder aquisitivo, que acaba sendo direcionadas as áreas que são também naturalmente suscetíveis, mas devido à falta de infraestrutura urbana tem o seu risco aumentado.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange duas regiões distintas no município do Crato-CE, cada uma com suas particularidades e correlações (Figura 1). A primeira área localiza-se na encosta leste da Chapada do Araripe e é caracterizada pela presença de residências de alto padrão. No entanto, devido à baixa densidade de ocupação e ao uso de técnicas construtivas adequadas, não foram identificados setores com risco significativo. Esta região, contudo, enfrenta desafios significativos relacionados à suscetibilidade a escorregamentos, atribuídos à declividade acentuada do relevo, visto a presença de cicatrizes de eventos anteriores.

A segunda área encontra-se situada na região central do município, no bairro do Seminário, caracterizando-se pela presença de uma população de baixa renda. Essa comunidade enfrenta uma acentuada condição de vulnerabilidade social, resultante da carência de infraestrutura básica e da ocupação de terrenos com elevada declividade, o que contribui significativamente para o aumento do risco associado a processos geodinâmicos.

Figura 1 - Mapa de localização das duas áreas de estudo no município do Crato: o setor leste da Chapada do Araripe (área 01) e o bairro do Seminário (área 02), situado na região central da cidade.



Fonte: Nasa Earth Data. Elaborado: Os autores (2025).

A Chapada do Araripe caracteriza-se como a maior bacia sedimentar interiorana do NE brasileiro. A sua formação advém dos processos de rupturas ocorrido no Cretáceo, após a divisão da *Gondwana* ocidental que culminou na abertura do Oceano Atlântico Sul e formação dos continentes, Sul-americano e Africano (Matos, 1992; Assine, 2007).

Apresenta-se como uma bacia intracratônica do tipo *rift*, estruturado no domínio da zona transversal da província Borborema e que bordeja o domeamento do planalto de dominação homônima (Neumann *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2003). Nesse sentido, a área em análise trata-se de um planalto de estrutura tabular, claramente delimitado por escarpas erosivas e patamares circundantes, onde a configuração é visivelmente determinada pela erosão remontante ou pelo embutimento em blocos de falhas (Assine, 2007).

A superfície de cimeira corresponde a uma superfície tabular, resultante de uma estrutura geológica composta por arenitos da Formação Exu. Em relação aos arenitos da região, Batista e Batista (2020) afirmam que a porosidade associada as camadas impermeáveis de calcários e rochas em formações circundantes propiciam a surgência de bacias aquíferas subterrâneas em proporções de tamanhos e quantidade tais que permitem a absorção e a acumulação de imenso volume de águas pluviais quase sem enxurradas.

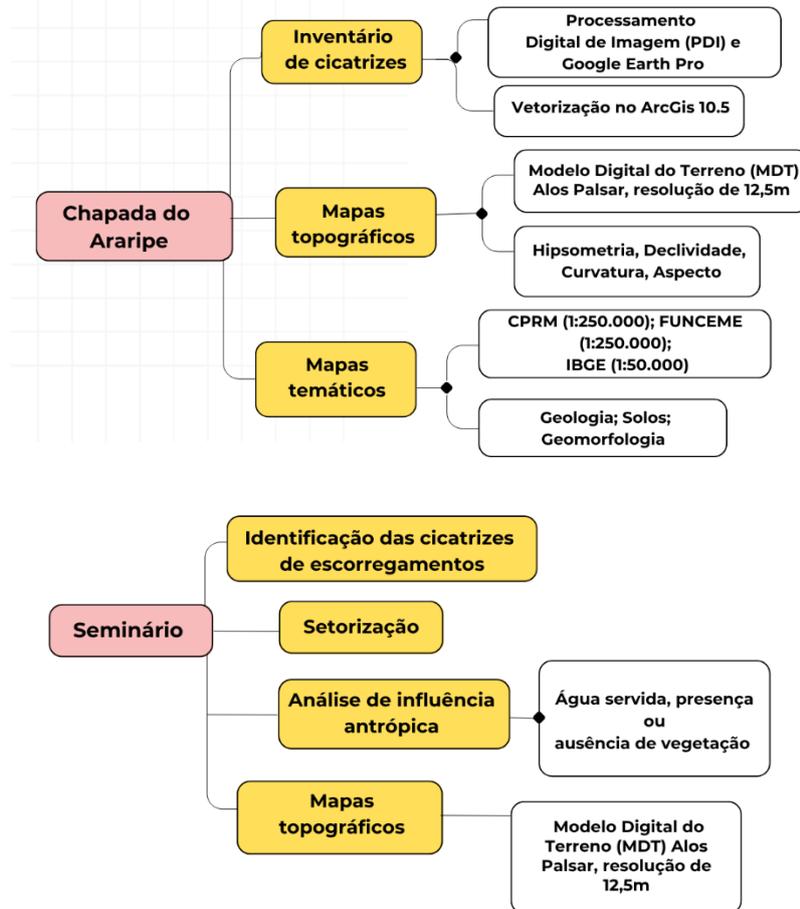
Já o sítio urbano (Bairro Seminário) é composto por uma única unidade litoestratigráfica, bastante friável e argilosa, a formação Barbalha de idade Cretácea apresenta ciclos fluvio-lacustre/arenitos intercalados por folhelhos (Assine, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consiste na elaboração de mapeamentos que resultam da integração de duas abordagens distintas: a identificação de áreas suscetíveis e a avaliação de riscos de escorregamentos. Inicialmente, são descritos os mapeamentos realizados na face oriental da Chapada do Araripe. Posteriormente, o detalhamento dos materiais cartográficos essenciais para a produção do mapa técnico de risco do perímetro urbano do Crato.

Em relação ao subtópico inventário de cicatrizes são descritos a metodologia estabelecida para a análise e mapeamento das regiões. Em mapas temáticos, no *software ArcGis*, são descritos como foram obtidos os mapas físicos, ao mesmo tempo que a sua devida classificação aos parâmetros estabelecidos nacional e internacionalmente, considerando também a validação dos materiais cartográficos. No último subtópico são descritos os métodos utilizados para realização do mapa técnico de risco, considerando os aspectos físicos e as diretrizes dispostas pelo IPT. Desse modo, a Figura 2 apresenta um fluxograma com as etapas que foram realizadas para a obtenção dos resultados das respectivas áreas de estudo, face leste da Chapada do Araripe e bairro do Seminário, localizado no sítio urbano do Crato-CE.

Figura 2 - Fluxograma representando a metodologia empregada na execução dos procedimentos que levaram aos resultados da pesquisa.



Fonte: Autores (2025).

Inventário de cicatrizes

Foram empregadas técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI), sensoriamento remoto e geoprocessamento para elaborar o inventário de cicatrizes de escorregamentos, utilizando a interpretação de imagens de satélite disponíveis no *Google Earth Pro*. As imagens históricas, que abrangem o período de 2003 a 2020, foram analisadas para delimitar as cicatrizes, focando nas áreas de ruptura e excluindo as de arraste e depósito para evitar erros na validação, sendo essa técnica utilizada internacionalmente, ao qual considera a interpretação sistemática, como a assinatura do processo, aspectos topográficos (declividade, hipsometria, curvatura, forma da encosta) e verificações de campo (Pike, 1988; Guzzetti, 2006; Guzzetti *et al.*, 2012).

Desse modo, as cicatrizes foram identificadas e vetorizadas como polígonos, e depois convertidas em *shapefiles* usando a ferramenta *KML to Layer do ArcGIS*. A escala do mapeamento do inventário de cicatrizes foi de 1:50.000. Em novembro de 2020, validações de campo foram conduzidas seguindo protocolos de segurança devido à COVID-19.

Mapas temáticos

A descrição das características físicas como relevo, desníveis e forma da encosta foi realizada a partir de mapas topográficos. Utilizando o *software ArcGIS* versão 10.5 em um ambiente SIG, foram produzidos mapas de hipsometria, declividade, curvatura e aspecto com base no Modelo Digital do Terreno (MDT) *Alos Palsar*, resolução de 12,5m e escala de 1:50.000.

Os mapas foram gerados a partir da caixa de ferramentas *ArcToolbox / 3D Analyst Tools*. O mapa hipsométrico classificado por altitudes, o de declividade seguindo a Lei Lehmann (Lei Federal n.6.766/79) com três classes de inclinação, e o de curvatura e orientação baseados em critérios específicos para refletir a forma e a direção das encostas. O mapa de curvatura representa as formas da encosta na superfície, classificando-as em côncava, convexa ou retilínea. Já o mapa de aspecto indica a direção de exposição das encostas, o que influencia diretamente na umidade da região. As direções são categorizadas como áreas planas, norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste.

Adicionalmente, mapas geológicos e pedológicos foram obtidos a partir de dados secundários do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (escala 1:250.000), e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (escala 1:250.000), respectivamente. Os *shapefiles* foram integrados ao *ArcMap* para a visualização das unidades litoestratigráficas e a produção da carta geológica e do mapa de solos, que foi ajustado ao limite da área de estudo usando ferramentas de recorte do *ArcToolbox*. Por fim, o mapa de unidades geomorfológicas foi elaborado conforme as diretrizes do IBGE, respeitando a homogeneidade e individualidade na escala empregada de 1:50.000.

Para a validação dos mapeamentos realizados nesta pesquisa, foi realizada por meio de uma análise de sobreposição com o inventário de cicatrizes, com

vistas a investigar qual o padrão de distribuição dos escorregamentos na área e quais fatores condicionantes foram determinantes na deflagração dos processos.

Assim, o inventário foi sobreposto aos referidos mapas visando-se o cálculo do seguinte índice proposto por Gao (1993): Concentração de Cicatrizes/CC (distribuição quantitativa de cada classe afetada pelos escorregamentos, isto é, a razão entre o número de células de cada classe afetadas pelas cicatrizes e o total de células correspondentes aos escorregamentos) conforme a Equação 1. Em cada mapa, foi também calculada a Frequência de Distribuição (FD) das classes de suscetibilidade (Equação 2), que refere-se ao percentual de cada classe temática em cada mapa.

$$\text{Concentração de Cicatrizes} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de células de cada classe}}{\text{Área Atingida Total} * 100} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Frequência de Distribuição} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de células de cada classe}}{\text{Total de células} * 100} \quad \text{Equação 2}$$

Mapeamento de Risco

Para a realização do mapa de risco no sítio urbano, foram encaminhadas atividades que tiveram substância em trabalhos de gabinete em geoprocessamento e campo. Baseando-se na metodologia do IPT (2007), a primeira etapa consistiu na identificação das cicatrizes de escorregamentos, inicialmente utilizando imagens de satélite por meio da fotointerpretação e posteriormente, validando em campo.

Em uma segunda etapa, realizou-se a setorização da área, considerando a declividade do local, a tipologia dos processos, sendo ele de escorregamentos, a posição das residências que se apresentavam ao sopé e topo da encosta, além da qualidade da ocupação, sendo dispostas características de residências de um menor padrão e custo.

Na terceira etapa preocupou-se em caracterizar o escoamento hídrico, verificando-se a existência de águas servidas, a presença/ausência de vegetação, cientes que as encostas vegetadas são mais resistentes aos processos erosivos. Os sinais de movimentação e os tipos de processos de instabilização. Considerando

todos os pontos citados anteriormente, foi possível caracterizar o grau de risco da região, entre R1 (Baixo ou sem risco), R2 (Médio), R3 (Alto), R4 (Muito alto).

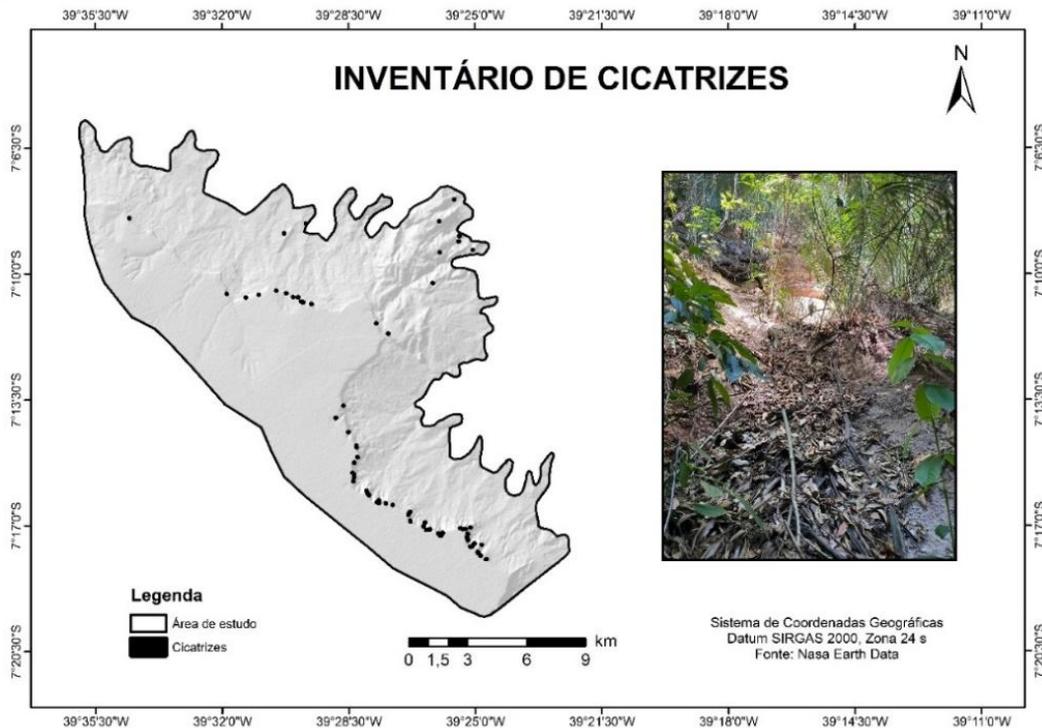
Vale destacar que os materiais cartográficos para identificação das áreas foram gerados no *software ArcGIS* na extensão do *ArcMap* versão 10.5. Os parâmetros topográficos também foram obtidos por um Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução de 12,5 m e escala de 1:50.000, tendo como base de dados o satélite *ALOS PALSAR Global Radar Imagery*, disponibilizado gratuitamente. Salientando os parâmetros de realização dos mapas topográficos, todos foram gerados numa rotina automatizada no *ArcGIS*, dentro da caixa de ferramentas *ArcToolbox /3D Analyst Tools/Raster Surface*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No inventário de cicatrizes (Figura 3), foram mapeadas 71 feições de escorregamentos que ocuparam uma área total de 24.063m². Analisando-se as cicatrizes dos escorregamentos de forma distribuída tem-se que 79% delas possuem área inferior a 500 m². A maior cicatriz mapeada possui 854 m² e a menor 102 m². Quando calculado o volume total de sedimentos gerados por esses escorregamentos, obtém-se um total de 36.095 m³ (considerando-se uma profundidade de ruptura de 1,5 m).

Escorregamentos na face oriental da Chapada do Araripe também foram avaliados por Guerra e Sampaio (1996), Peulvast, Bétard e Magalhães (2011). Em ambos os estudos, os processos ocorreram principalmente devido às condições fisiográficas naturais da região, associadas ao fato de ser um ambiente de exceção climática em um contexto de semiárido.

Figura 3 - Cicatrizes de escorregamentos do setor leste da Chapada do Araripe.



Fonte: Nasa Earth Data. Elaborado: Autores (2024).

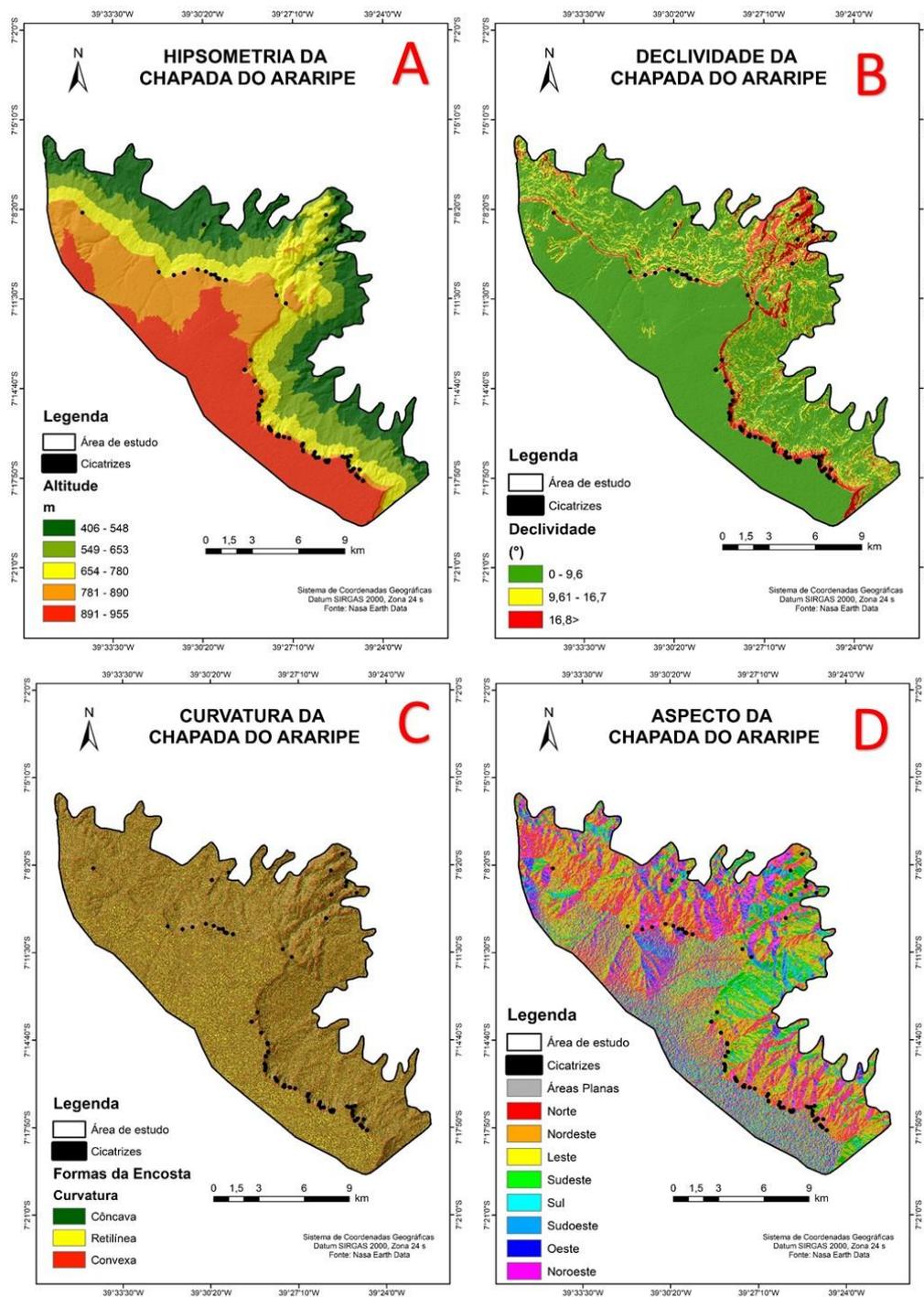
Parâmetros topográficos

Na porção leste da Chapada do Araripe, a análise dos parâmetros topográficos evidenciou que a altitude da região varia entre 406 e 551 m nas áreas mais baixas, enquanto no topo da cimeira os valores alcançam entre 891 e 955 m (Figura 4 a). Essa variação altimétrica, segundo Lima (2014), é explicada pela concavidade geral da área e pelo seu declínio em patamares com declividades distintas. No tocante a declividade (Figura 4 b), nota-se que o grau de inclinação do terreno aumenta em direção ao topo da chapada, apresentando maior proeminência na região escarpada e diminuindo abruptamente na unidade da cimeira estrutural, cuja declividade raramente ultrapassa 0°.

Os resultados do mapa de formas da encosta, conforme a Figura 3 c. apresentam as classes côncava, retilínea e convexa com poucas variações. Em campo nota-se que os contornos da escarpa passam por importantes processos erosivos e apresentam predominantemente padrões convexos em suas áreas menos dissecadas e padrões côncavos em suas áreas mais dissecadas. O fator

aspecto quando visualizado em ambiente SIG mostrou uma diversidade no tocante à orientação das encostas (Figura 4 d).

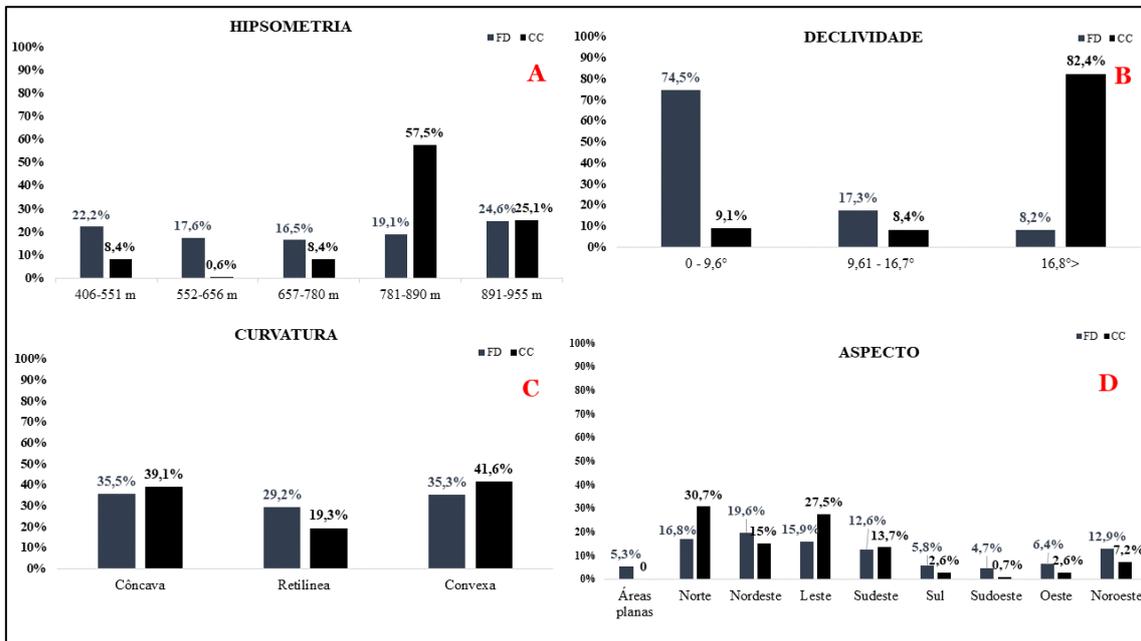
Figura 4 - Mapas topográficos da Chapada do Araripe. A) Hipsometria; B) Declividade; C) Formas da Encosta; D) Aspecto.



Fonte: Nasa Earth Data. Elaborado: Autores (2024).

Os mapas topográficos supramencionados passaram por avaliação no tocante a Frequência de Distribuição (FD) e Concentração de Cicatrizes (CC), conforme disposto na Figura 5, detalhados e discutidos adiante.

Figura 5 - Frequência de Distribuição e Concentração de Cicatrizes dos mapas topográficos: A) Hipsometria; B) Declividade; C) Curvatura; D) Aspecto.



Fonte: Autores (2024).

A FD das classes relativas à Hipsometria indicou que não há grande discrepância entre o topo e as demais regiões, mostrando-se bem distribuídas, com pequena diferença entre a menor (16,5%) e a maior (24,6%) FD (Figura 5 a). Em relação à CC, houve maiores concentrações nas altitudes mais elevadas, cerca de 57,5% encontram-se na altitude entre 781m e 890 m e 25,1% no topo da Cimeira (891m-955m) (Figura 5 a).

Em consonância com tal resultado, Lima (2014) discorre sobre as características hipsométricas da bacia do Rio Salamanca, Chapada do Araripe, destacando que as áreas planas ocorrem nas maiores e nas menores altitudes, ou seja, topo e planície. Nas menores hipsometrias, a dissecação do relevo é mais expressiva, fazendo-se presente uma evolução do relevo para colinas alongadas e morros, servindo como testemunhos dos processos de regressão da Chapada.

Em relação ao mapa topográfico da Declividade, a FD apresentou discrepância entre as três classes (Figura 5 b). O menor intervalo de declividade (0° - $9,6^{\circ}$) possui a maior FD (74,5%), enquanto na classe intermediária ($9,61^{\circ}$ - $16,7^{\circ}$) a FD é de, aproximadamente, 17,3% e a classe $16,8^{\circ}$ >, somente 8,2% de FD. Por outro lado, o maior percentual de CC (82,4%) ocorreu na classe de maior declividade ($16,8^{\circ}$ >) (Figura 5 b).

Nos estudos de D'Amato Avanzi, Giannecchini e Puccinelliet (2004), na região da Toscana italiana, os escorregamentos ocorreram em setores superiores à 30° , não negligenciando a influência de fraturas litológicas no condicionamento dos escorregamentos, ponto que será destacado a posteriori nos presentes resultados. Assim, Bigarella, Becker e Santos (2009) destaca o papel preponderante do controle estrutural na denudação das morfologias de inclinação mais acentuadas.

O mapa da curvatura apresentou uma FD equânime entre as três classes (côncavo - 35,5%; convexo - 35,3% e retilíneo - 29,2%) (Figura 5 c). Já a CC possui maior disparidade entre as classes retilíneas se comparada as côncavas e convexas. Nesse sentido, as maiores CC encontraram-se nas classes convexa (41,6%) e côncava (39,1%), respectivamente. A classe retilínea concentrou a menor quantidade de cicatrizes, ou seja, 19,3% (Figura 5 c).

A análise conjunta dos parâmetros geoambientais com a curvatura possibilita o melhor entendimento das características das formas da encosta. A literatura geomorfológica indica que as áreas côncavas possuem maior tendência a instabilidade devido à maior concentração dos fluxos, entretanto essa relação pode ou não se confirmar a depender da dinâmica pluviométrica da região (Montgomery e Dietrich, 1994; Fernandes *et al.*, 2001).

No que concerne ao mapa de aspecto, as FD distribuíram-se da seguinte maneira: Sudoeste (4,7%), áreas planas sem orientação (5,3%), Sul (5,8%), Oeste (6,4%), Sudeste (12,6%), Noroeste (12,9%) e maiores FD a Leste (15,9%), a Norte (16,8%) e a Nordeste (19,6) (Figura 5 d). Quanto à Concentração de Cicatrizes (CC), as áreas planas não apresentaram nenhuma feição. As menores concentrações localizaram-se nas classes Sudoeste (13,7%), Noroeste (7,2%), Sul

(2,6%) e Oeste (2,6%). O setor Norte apresentou a maior CC com 30,7%, logo após o setor Leste com 27,5%, seguida por 15% nas encostas a Nordeste (Figura 5 d).

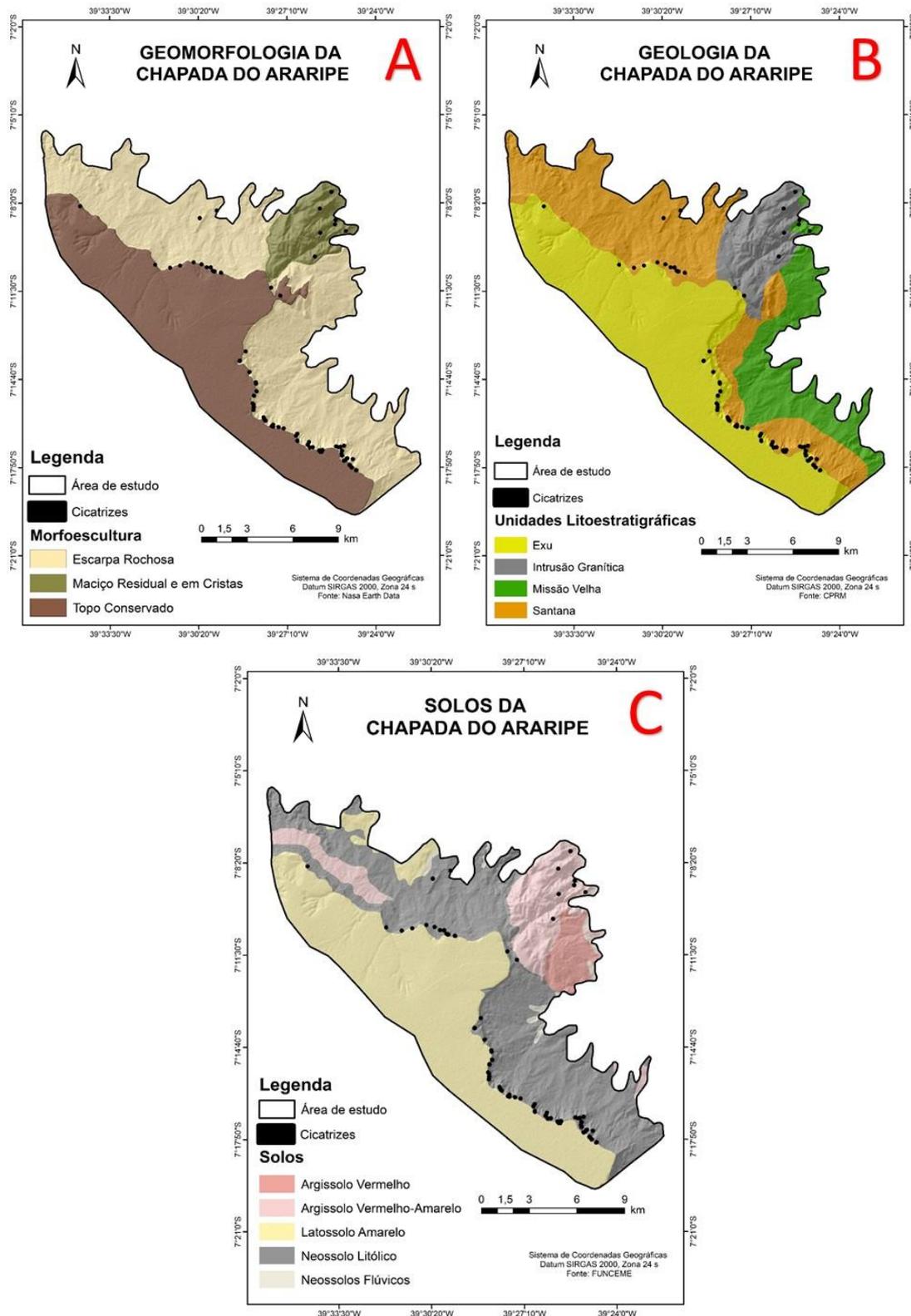
Atrelado aos demais condicionantes, a orientação da encosta influencia diretamente na radiação solar e na umidade recebida pelo terreno, tendo por consequência, processos ligados à maior suscetibilidade de ruptura (Gao, 1993). No presente estudo, as encostas orientadas para Norte receberam, provavelmente, a menor incidência de radiação solar, o que gerou o comprometimento da estabilidade das encostas.

Parâmetros Geológico, Geomorfológico e Pedológico

Dentre as unidades litoestratográficas da Bacia do Araripe, estão presentes no recorte escalar desta pesquisa as seguintes formações: Formação Exu, Formação Santana e Formação Missão Velha, além de uma grande intrusão granítica na área central de idade pré-cambriana (CPRM, 2014) (Figura 6 a). No mapeamento das unidades geomorfológicas, foram delimitadas as seguintes unidades morfoesculturais: escarpa rochosa, maciço residual em cristas e topo conservado (Figura 6 b).

Já para o parâmetro pedológico, destaca-se os Latossolos como a classe mais amplamente distribuída, predominando no platô da Chapada. Em menor proporção, tem-se os Argissolos, com perfis moderadamente a profundamente desenvolvidos. E os Neossolos Litólicos, segunda classe de maior expressão na área, ocupam os patamares de entorno da escarpa, caracterizados como solos em geral rasos, associados a afloramentos rochosos (Funceme, 2012) (Figura 6 c).

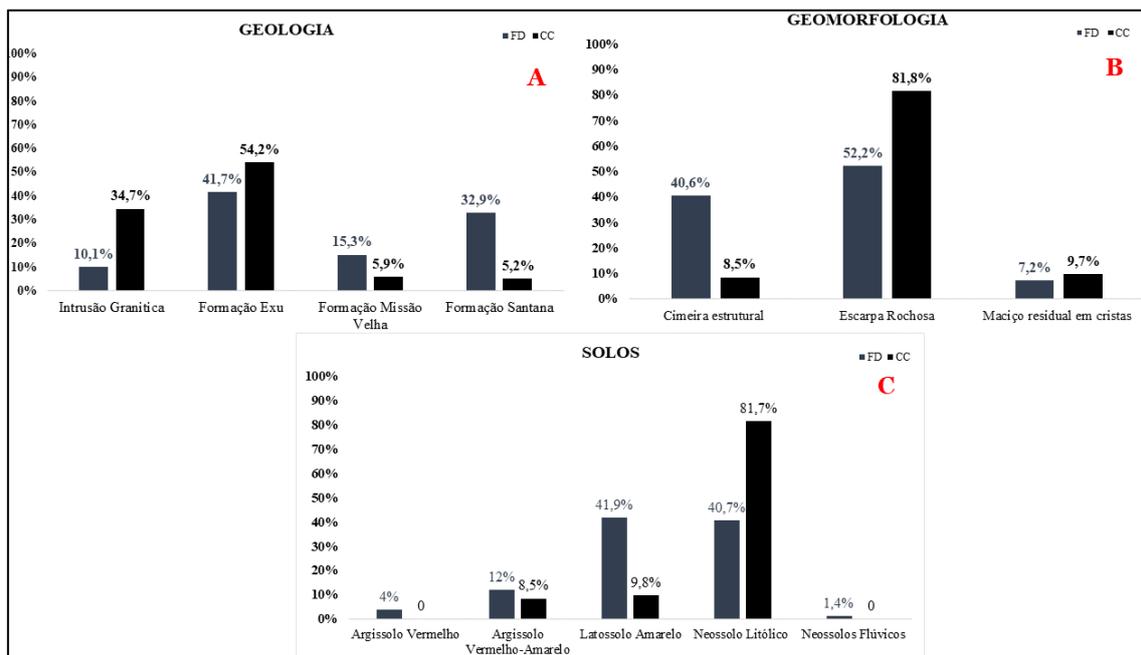
Figura 6 - Mapas temáticos da Chapada do Araripe: A) Geologia; B) Geomorfologia; C) Pedológicos.



Fonte: Nasa Earth Data, CPRM e FUNCEME, respectivamente. Elaboração: Autores (2024).

Assim como para os mapas topográficos, os mapas temáticos de Geologia, Geomorfologia e Solos, também foram avaliados no tocante a Frequência de Distribuição (FD) e Concentração de Cicatrizes (CC), conforme disposto na Figura 6, detalhados e discutidos em seguida.

Figura 7 - Frequência de Distribuição e Concentração de Cicatrizes: A) Geologia; B) Geomorfologia; C) Solos.



Fonte: Autores (2024).

Em relação à geologia, houve uma maior FD na classe Formação Exu (54,2%), seguida pela Formação Santana (32,9%), Formação Missão Velha (15,3%) e Intrusão Granítica (10,1%). Quanto às CC, 54,2 % estão concentradas na Formação Exu (Figura 7 a).

A Formação Exu, do período cretáceo, apresenta arenitos grossos intercalados com arenitos conglomeráticos (Assine, 1992). Sobre a fragilidade/suscetibilidade da formação, Teles (1995) afirma que o período deposicional ocorreu na presença do clima quente e úmido acompanhado de uma resistasia e dissecação erosional nas bordas do relevo, provavelmente ligado aos movimentos tectônicos da região.

No que concerne ao mapa das unidades geomorfológicas, a maior FD foi a região da Escarpa rochosa, apresentou 52,2%. As áreas de topo conservado e o

maciço residual e em crista apresentam FD de 40,6% e 7,2%, respectivamente (Figura 7 b). Os índices de CC da Escarpa Rochosa apresentaram 81,8%, tornando-se, assim, a classe mais proeminente e mais suscetível à ocorrência de escorregamentos (Figura 6b). Esta classe refere-se às áreas de maior declividade, sujeitas a processos de instabilização. As Unidades Geomorfológicas conversam diretamente com os parâmetros topográficos citados anteriormente, considerando especificamente os processos de instabilização da escarpa.

Para o mapa de solos, foram verificadas cinco tipologias para a região. Os Neossolos Flúvicos ocuparam a menor FD (1,4%), seguido pelos Argissolos Vermelho (4%) e Argissolos Vermelho - Amarelo (12%). As maiores FD foram encontradas, respectivamente, em duas tipologias, Neossolos Litólicos (40,7%) e Latossolos Amarelos (41,9%) (Figura 7 c). Embora os latossolos possuam maior expressão espacial, o índice CC indicou maior suscetibilidade aos Neossolos Litólicos (81,7%), seguido pelos Latossolos (9,8%) e Argissolos (8,5%).

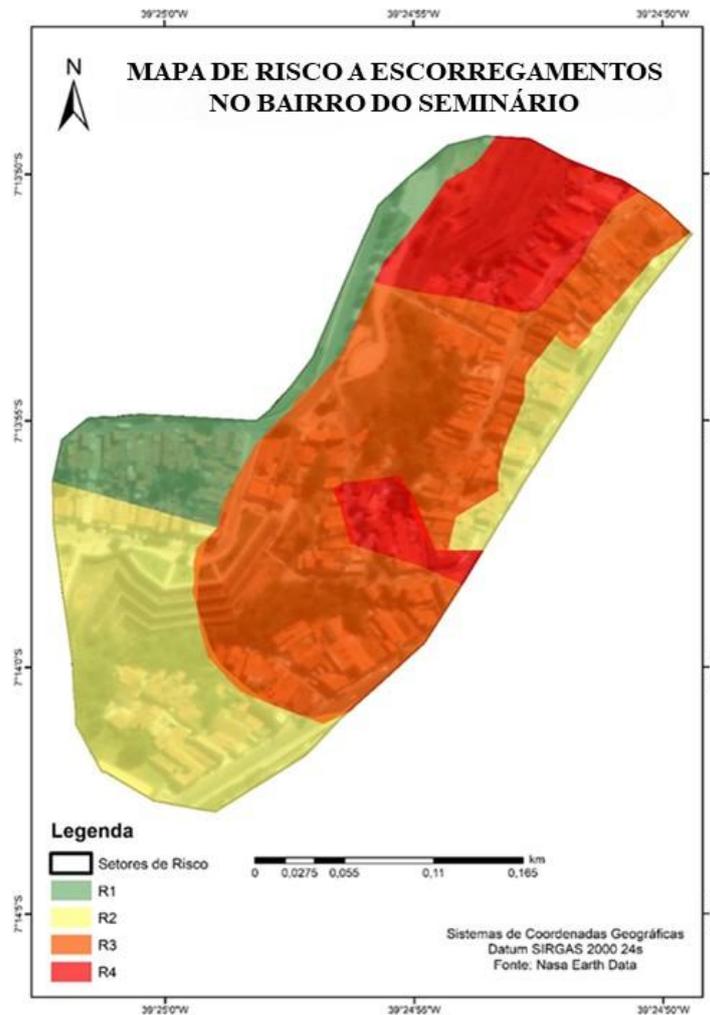
Nesse cenário, os Neossolos Litólicos ocupam os patamares de entorno da Escarpa. São solos não hidromórficos, pouco desenvolvidos, em geral rasos, frequentemente associados a afloramentos rochosos e estão distribuídos sobre os setores da encosta da chapada (Lima, 2015) com alta potencialidade de ruptura.

Setorização de Risco (Bairro Seminário)

A caracterização dos setores de risco em uma região de ocorrência a escorregamentos permite o melhor direcionamento das medidas mitigadoras. Em relação ao presente estudo, a distribuição dos setores de risco a escorregamentos é heterogênea (Figura 8).

De acordo com os dados geotécnicos, 9,4% da área se encontra na categoria de menor risco (R1), enquanto 38,3% se enquadram na categoria R2, com risco moderado. Já as áreas de maior risco, classificadas como R3 e R4, representam 35,6% e 16,7% da área total, respectivamente (Figura 9).

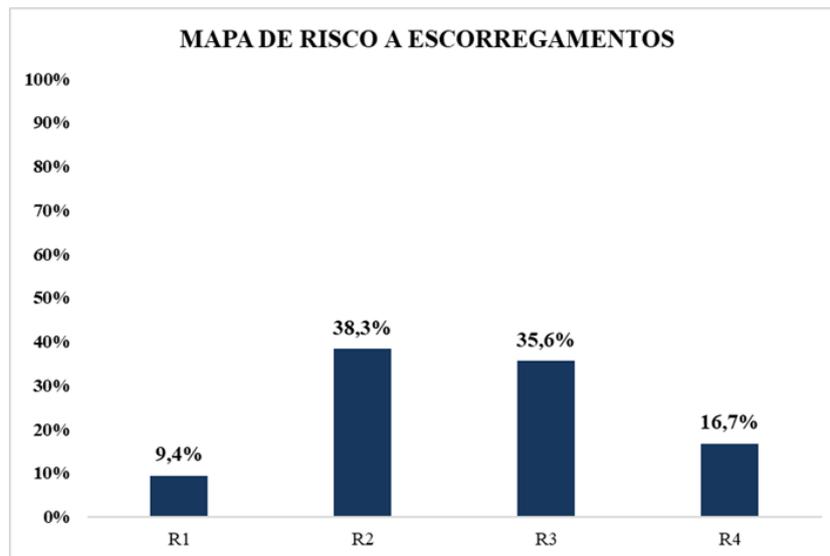
Figura 8 - Mapa de risco a escorregamentos no bairro do Seminário com a classificação dos quatro setores de risco, sendo eles, baixo, médio, alto e muito alto.



Fonte: Autores (2024).

Avaliando as características concernentes a cada um dos setores de Riscos, apresentados na Figura 8, notou-se que a região classificada como risco baixo (R1) representa, 9,4% da área de estudo (Figura 9), apresentando parâmetros geotécnicos desfavoráveis à imediatos processos de escorregamento, ou seja, na relação dos mapas topográficos não apresentam significativas junção de fatores para a deflagração do processo. A declividade da área permeia os 0 a 16,7°, estando de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Lei Lehmann. Em relação a altitude, sendo uma região que sofre direta influência da Chapada do Araripe, os valores altimétricos representam 326 m à 538m nos pontos mais elevados.

Figura 9 - Frequência de distribuição: mapa de risco a escorregamentos.



Fonte: Autores (2024).

Dessa forma, considerando as condições geotécnicas no momento da análise, não se espera a ocorrência de desastres e perdas materiais. No entanto, é importante monitorar a influência de agentes antrópicos que possam alterar a dinâmica da encosta, a fim de evitar o agravamento da situação. Com isso, os investimentos prioritários podem ser direcionados para setores mais críticos.

Os setores classificados como R2 (Figura 8) por sua vez, representam 28% da área de estudo (Figura 9), possuem condições geotécnicas favoráveis a escorregamentos. No entanto, as medidas mitigadoras implementadas pelo poder público reduziram a probabilidade desses eventos.

Destaca-se obra de retaludamento realizada na área, com vistas a minimizar o impacto das erosões, houve uma redução significativa nos demais processos geomorfológicos. Na construção, foi implementado um sistema de drenagem essencial para direcionar os fluxos hídricos ao redor da encosta, especialmente após a impermeabilização. Fraga *et al.* (2023) destacam a importância de incluir sistemas de drenagem tanto profundos quanto superficiais para garantir a estabilização da área. A categorização também levou em conta a relação entre o comprimento da encosta e a distância das moradias.

Desse modo, nos estudos de Rosa e Gaiofatto (2018) em Petrópolis do Rio de Janeiro demonstram que os retaludamentos são intervenções para a

estabilização do talude, através das mudanças da geometria que recompõem artificialmente as condições topográficas de maior estabilidade.

O setor R3 (Figura 8) representando uma região com Risco Alto, representa 35,67% da área de estudo (Figura 8), apresentando assim, parâmetros topográficos favoráveis aos processos de escorregamento. Essa condição é agravada por alguns fatores, como a presença de cicatrizes de escorregamento que evidência de eventos anteriores de escorregamento, indicando a instabilidade do solo na região (Figura 10).

As interferências de residências no topo da encosta alteram a mecânica do solo, aumentando a suscetibilidade ao processo. Além disso, as moradias próximas ao sopé da encosta correm sério risco de serem soterradas em caso de escorregamento. Em períodos de chuvas intensas e prolongadas, é possível a perda de vidas humanas e material.

Desse modo, é importante a implementação de medidas mitigadoras, a existência do retaludamento pré-existente é necessário que seja expandido. O monitoramento da encosta e planos de contingências são ações necessárias para a redução do risco.

Figura 10 - Em vermelho há o destaque para cicatrizes de escorregamento em região com moradias inadequadas em eminente risco.



Fonte: Autores (2020).

O Setor R4, representa as áreas que possuem o Risco Muito Alto (Figura 8), o respectivo setor apresentou frequência de 16,67%, exibe, por sua vez, parâmetros geotécnicos e antrópicos favoráveis aos escorregamentos.

No setor R4 existem fatores de risco que corroboram com o processo, sendo eles, as declividades superiores a 16,8° com a existência de cicatrizes, vegetação inadequada e solo exposto. Além disso, foram observados coqueiros e bananeiras, espécies não adequadas para encostas íngremes que contribui para a perda de solo e facilita o processo de escorregamento devido ao efeito gravidade, que movimenta o perímetro para baixo. Assim como os fatores citados anteriormente, existe o lançamento de lixo e água servida, tais ações contribuem para a saturação do solo, aumentando ainda mais a suscetibilidade a escorregamentos.

A deflagração de processos associados a escorregamentos no Município do Crato está intrinsecamente relacionada com a combinação de fatores de uma declividade acentuada, solo suscetível e ocupação irregular. Aspectos geomorfológicos e geológicos contribuem também na suscetibilidade da área. Eventos de chuvas intensas em um curto espaço de tempo, que por vezes acontecem com uma relativa temporalidade, intensificam a atuação dos agentes.

Destarte, salienta-se que nos setores de mais alto risco (R3 e R4) são necessárias intervenções estruturais mais incisivas por parte do poder público e uma sensibilização maior da população ao risco que estão expostas. É necessário que exista uma prioridade para minimização dos riscos e manutenção da vida humana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo analisou aspectos relacionados ao processo de escorregamentos em duas regiões distintas do município do Crato-CE, considerando a topografia, geologia, geomorfologia e fatores antropogênicos. Na região da Chapada do Araripe, os escorregamentos são mais significativos nas elevadas altitudes e declividades, superando os 80% das cicatrizes totais mapeadas nas respectivas regiões. Em relação à curvatura, as distribuições de cicatrizes são equânimes entre as formas convexa, côncava e retilínea. No

contexto da orientação das encostas, as concentrações foram expressivas em três orientações: Norte, Leste e Nordeste.

Os índices de Concentração de Cicatrizes (CC) da Escarpa Rochosa apresentaram 82,8%, destacando-se como a classe mais proeminente e suscetível à ocorrência de escorregamentos. Esta classe abrange áreas de maior declividade que foram discutidas ao longo do trabalho, onde os processos de instabilização são mais frequentes. As Unidades Geomorfológicas estão diretamente correlacionadas com os parâmetros topográficos mencionados, enfatizando os processos de instabilização da escarpa.

Os Neossolos Litólicos, encontrados nos patamares ao redor da Escarpa e com maior concentração de cicatrizes, são solos pouco desenvolvidos, geralmente rasos e frequentemente associados a afloramentos rochosos. Distribuídos nos setores da encosta da chapada, esses solos apresentam uma alta potencialidade de ruptura. Desse modo, com a junção dos fatores foram visualizadas as regiões mais suscetíveis, sendo elas, as elevadas altitudes e declividades, associadas a Escarpa Rochosa e Neossolos Litólicos.

Em relação ao setor de risco no Bairro do Seminário o estudo mapeou e classificou as áreas de risco de escorregamentos. O risco baixo (R1) representa 9,38% da área de estudo e não apresenta condições favoráveis à ocorrência de escorregamentos. A declividade é suave e a altitude varia entre 326 e 538 metros. Investimentos em áreas de maior risco são priorizados. O risco médio (R2) corresponde a 28% da área e possui condições geotécnicas favoráveis a escorregamentos. No entanto, medidas mitigadoras como retaludamento e sistema de drenagem reduziram a probabilidade de eventos.

O risco alto (R3) representa 35,67% da área e apresenta parâmetros topográficos favoráveis a escorregamentos. A presença de cicatrizes de eventos anteriores, interferências de residências no topo da encosta e a declividade acentuada aumentam a suscetibilidade. Por fim, o risco muito alto (R4) 16,67% da área e possui os piores indicadores de risco. Declividades superiores a 16,8°, cicatrizes, vegetação inadequada, solo exposto, lançamento de lixo e água servida contribuem para a suscetibilidade.

O estudo em questão é uma importante contribuição para a compreensão dos riscos de escorregamentos no município de Crato e para o desenvolvimento de políticas públicas de prevenção de desastres. Os resultados do estudo podem ser utilizados para orientar o planejamento urbano, a implementação de medidas mitigadoras e a sensibilização da população sobre os riscos a que estão expostas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) pela concessão de bolsa e pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R.; ULBRICH, H. G. J. O Batólito Granítico Quixeramobim-Ce - Aspectos estruturais internos e mecanismo de alojamento crustal. **Revista de Geologia UFC**, v. 16, p. 81-98, 2003.

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, mai/nov. 2007.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro – janeiro de 2011**. Rio de Janeiro, nov. 2012. (Relatório). Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/en/260891468222895493/pdf/No_nAsciiFileName0.pdf. Acesso em: 05 ago. 2021.

BATISTA, C. A. A.; BATISTA, H. G. **Breve história dos municípios do Cariri cearense: fatos e dados** [livro eletrônico]. Fortaleza: INESP, 2020. Disponível em: <https://cariridasantigas.com.br/wp-content/uploads/2023/01/BREVE-HISTORIA-DOS-MUNICIPIOS-DO-CARIRI-CEARENSE-FATOS-E-DADOS.pdf> Acesso em: 04 ago. 2021.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e Origem das Paisagens tropicais e Subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, v. 1, 2009.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.608, DE 10 de abril de 2012.** Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 de abril de 2012. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/589531#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,de%201%C2%BA%20de%20dezembro%20de>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BRASIL. **Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, DF, dez. 1979. Disponível em: <https://bit.ly/2NZEnoN>. Acesso em 15 mai. 2024.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, (orgs). – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 175 p. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CAMPOS, R. J.; BRANCO, P. Ocupação desordenada dos espaços urbanos e suas consequências socioambientais. **Revista Thêma et Scientia**, v. 11, n. 2E, p. 216-227, jul./dez. 2021.

CARDOSO, A. L.; ARAGÃO, T. A.; ARAÚJO, F. S. Habitação de interesse social: política ou mercado? Reflexos sobre a construção do espaço metropolitano. *In: Encontro Nacional da ANPUR*, 14., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpur, 2011.

CARVALHO, S. M.; RIBEIRO, S. C. Áreas de Risco Urbanas na Cidade do Crato/CE – Estudo das suas Formas de Relevo e Declividades. *In: Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 6., Crato-CE. **Anais...** Crato, 2006.

CPRM. **Geodiversidade do Estado do Ceará.** BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (org.). Brasília: CPRM, 2014. 214 p.

D'AMATO AVANZI, G.; GIANNECCHINI, R.; PUCCINELLI, A. The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides: an example in a temperate climate environment – the June 19, 1996 event in north-western Tuscany (Italy). **Engineering Geology**, v. 73, n. 3–4, p. 249–271, 2004.

DAS, G.; LEPCHA, K. Application of logistic regression (LR) and frequency ratio (FR) models for landslide susceptibility mapping in Relli Khola river basin of Darjeeling Himalaya, India. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1453, 2019. DOI: <http://10.1007/s42452-019-1497-1>.

FRAGA, K.; VIEIRA, M. B.; VICTERIO, P. M. D.; OLIVEIRA, C. B. Portfólio sobre especificações de talude. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 9, n. 4, abr. 2023. DOI: <http://10.51891/rease.v9i4.9285>.

FUNCEME. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos - Mesorregião do Sul Cearense**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Fortaleza, 2012. 280p. Disponível em:

<https://www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/11/LIVRO-LEVANTAMENTO-DE-SOLOS-FUNCEME.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.18, p.579-591, 1993.

GUERRA, A. J. T.; SAMPAIO, J. J. A. Processos Erosivos Acelerados, Movimentos de Massa e Assoreamento na cidade de Crato-Ceará. **Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 05, 1996.

GUZZETTI, F. **Landslide hazard and risk assessment**. 2006. 389 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, University of Bonn, Bonn, Alemanha, 2006.

GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTAGELO, M.; CHANG, *Kang-Tsung*. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. **Earth Science Reviews**, 112: 42-66, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População em Áreas de Risco no Brasil**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacaoareasderisco/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

LIMA, F. J. **Evolução geomorfológica e reconstrução paleoambiental do setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

LIMA, G. G. **Análise comparativa de metodologias de mapeamento geomorfológico na bacia do rio Salamanca**, Cariri cearense. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

LISTO, F.L.R.; VIEIRA, B. C. Análise de condicionantes topográficos como subsídio para avaliação de áreas de risco a escorregamentos rasos. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, p. 193-207, 2010.

MACEDO, E. S.; MARTINS, P. P. D. Análise do banco de dados de mortes por deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). *In*: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2015. CD-ROM. 7p.

MARTHA, T. R.; KERLE, N.; JETTEN, V.; WESTEN, C. J. V.; KUMAR, K. V. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for

semi-automatic detection using object-oriented methods. **Geomorphology**, v. 116, n. 1-2, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.004>

MATOS, R. M. D. The Northeastern Brazilian Rift System. **Tectonics**, v. 11, p. 766-791, 1992.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, 30(4), p. 1153-1171, 1994.

NEUMANN, V. H. de M. L.; CABRERA, L. Uma Nueva Proposta Estratigráfica para La Tectonos ecuencia Post-Rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. *In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e Simpósio Sobre El Cretácico de América Del Sur*, 5., Serra Negra. **Anais...** São Paulo, 1999, p. 279-285.

NEVES, S. P. **Granitos Orogênicos**: da geração dos magmas à intrusão e deformação. Synergia: Rio de Janeiro, 2012.

PEULVAST, J. BÉTARD, F.; MAGALHÃES, A. O. Scarp morphology and identification of large-scale mass movements in tropical tablelands: the eastern Araripe basin (Ceará, Brazil). **Geomorphologie**, v. 17, n. 1, p. 33-52, 2011.

PIKE, R. J. The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, v. 20, n. 5, p. 491-511, 1988.

RAMIRES, J.; ARMOND, N. B.; SALGADO, C. M. A variabilidade pluviométrica no Cariri cearense e a influência das teleconexões ENOS e ODP. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i12017.2431>.

ROSA, V. C. F. da; GAIOFATTO, R. L. Bioengenharia aplicada à estabilização de encostas no município de Petrópolis-RJ. **REUCP**, Petrópolis, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2018.

SANTOS, W.; VIEIRA, B. C. Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP). *In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 13., Viçosa, **Anais...** Viçosa, 2009.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. *In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (org.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. p. 55-85.

Como citar este artigo:

BARBOSA, B. G. S.; LISTO, F. L.; NERY, T. D.; BISPO, C. O. Parâmetros físicos e análise de risco a escorregamentos: município do Crato (CE). **GEOGRAFIA**, Rio Claro-SP, v. 50, n. 1, p. 201-228, 2025. DOI:

Recebido em 21 de junho de 2024
Aceito em 13 de maio de 2025