



ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DOS INSELBERGS DE CHAVAL – CE UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS

Mariana de Oliveira Araújo¹
Frederico de Holanda Bastos²

RESUMO

Os *inselbergs* se caracterizam como formas de relevos residuais isolados em superfícies de aplainamento em razão da sua resistência diferencial à erosão. Podem ser encontrados em várias regiões do mundo, inclusive no semiárido brasileiro associado à Província Borborema, no Nordeste, tendo como exemplos o Parque Estadual da Pedra da Boca na Paraíba e o campo de *inselbergs* de Quixadá no Ceará. Em estudos mais recentes acerca da geomorfologia de *inselbergs*, destaca-se o mostruário de feições exumadas do Granito Chaval, localizado no município homônimo, no extremo Noroeste (NW) do estado do Ceará. As atuais pesquisas que envolvem a compreensão da evolução das feições dos *inselbergs* requerem abordagens multidisciplinares, tanto no âmbito da geomorfologia e da geologia, como através do auxílio das geotecnologias, como o mapeamento através do uso de RPAs (Aeronave Remotamente Pilotada), para uma compreensão mais detalhada dessas morfologias. Nesse sentido, esta pesquisa objetiva analisar e mapear o conjunto de *inselbergs* exumados no município de Chaval utilizando geotecnologias aplicadas, como RPAs, e técnicas de geoprocessamento, além dos produtos oriundos do geoprocessamento, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE). A pesquisa foi realizada em quatro etapas: 1. Levantamentos bibliográficos sobre geomorfologia granítica; 2. Levantamentos cartográficos referente à geologia da área; 3. Trabalho de campo para o levantamento fotogramétrico de alta resolução com o uso do drone DJI Mavic 3 Pro e a coleta de pontos de controle com o GNSS RTK, além da identificação e caracterização in loco das microfeições dos relevos graníticos; e 4. Organização, processamento e análise dos dados coletados e relatório final. As imagens aéreas foram processadas em softwares de fotogrametria para a geração de ortofotomosaicos, MDE, MDT e curvas de níveis, auxiliando na análise das feições. Além disso, a integração dos dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilitou a extração de métricas do relevo, como declividade e orientação das superfícies rochosas. A utilização de RPA demonstrou a aplicabilidade que a ferramenta proporciona para o mapeamento geomorfológico de áreas de difícil acesso, permitindo uma análise tridimensional detalhada dos *inselbergs*. A aquisição de imagens aéreas com alta resolução e a construção de ortofotomosaicos, possibilitou identificar feições geomorfológicas como feições de dissolução do tipo gnamma, karren e flared slopes. A combinação de imagens aéreas, modelagem digital do terreno e análises em SIG forneceram uma base para a compreensão acerca da geomorfologia da área e sua relação com fatores estruturais. Ademais, a aplicação de geotecnologias, especialmente drones, representa um avanço significativo na análise geomorfológica dos *inselbergs*, proporcionando dados de alta precisão para o estudo da dinâmica do relevo.

Palavras-chave: Relevo granítico. Gnammas. Mapeamento. Geotecnologias. Drone.

INTRODUÇÃO

Os *inselbergs* são formas residuais de relevo que se destacam na paisagem por apresentarem resistência diferencial aos processos de intemperismo e erosão (MÍGON, 2006), além de apresentarem uma grande variedade de formas e tamanhos, dependendo de seus

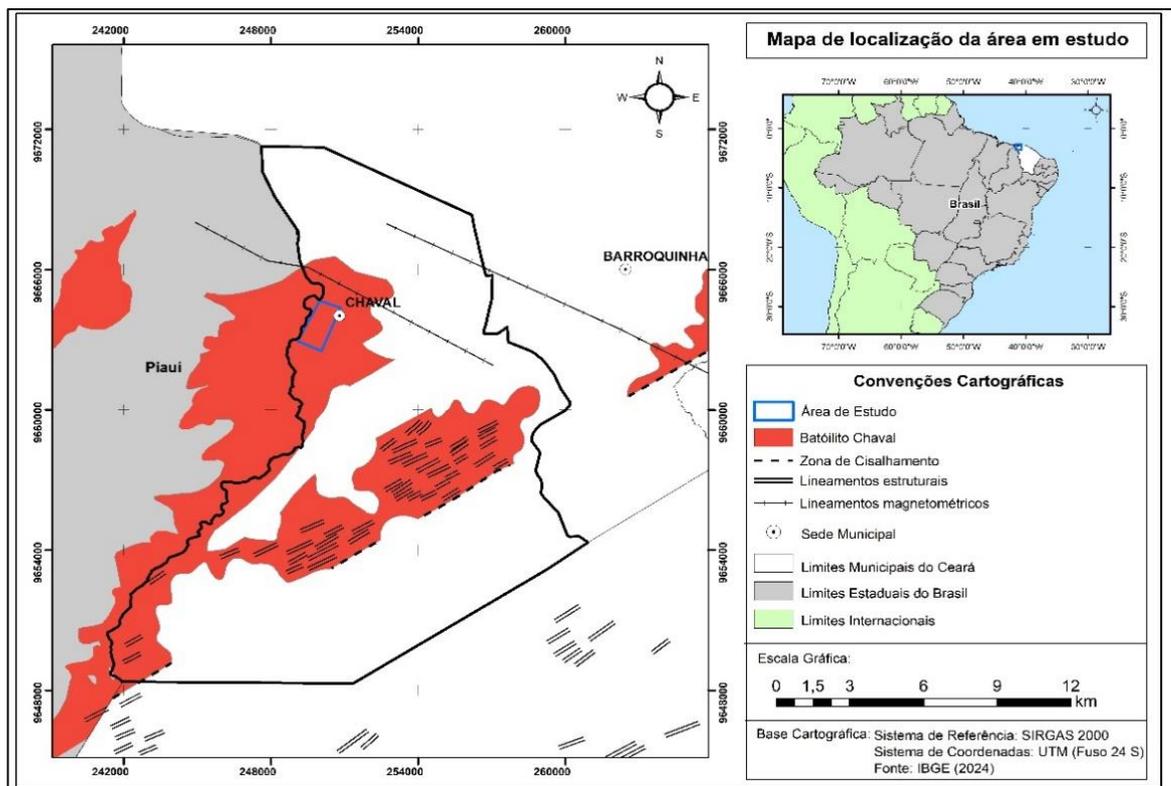
¹ Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, oliveira.araujo@aluno.uece.br;

² Professor Adjunto do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, fred.holanda@uece.br

aspectos petrográficos (TWIDALE, 1982). Esses relevos são esculpidos majoritariamente em litologias ígneas e metamórficas, apresentando uma variedade de feições em decorrência das propriedades litoestruturais e da atuação dos diversos processos morfogenéticos (MÍGON, 2006), além constituírem testemunhos da história evolutiva da paisagem em regiões tropicais e subtropicais.

A ocorrência de *inselbergs* não se restringe apenas a ambientes tropicais ou subtropicais, mas a associação com formas de relevo de vários estágios e planícies revestidas por rochas profundamente decompostas parece ser mais frequente nesses ambientes do que em outros (RÖMER, 2007). Nessa perspectiva, no semiárido brasileiro a ocorrência de *inselbergs* é notável, especialmente na Província Borborema Setentrional, onde se encontram expressivos campos de *inselbergs* como o de Quixadá (CE), Patos (PB) e o conjunto de formas exumadas do Batólito Chaval, no noroeste do estado do Ceará, objeto de estudo da presente pesquisa, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa de Localização da Área em Estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A evolução desses relevos tem sido explicada por diferentes teorias ao longo das últimas décadas, contudo, duas interpretações se destacam na literatura geomorfológica: a teoria do recuo lateral das escarpas, proposta por King (1953) e a teoria da etchplanação ou duplo estágio de aplainamento, desenvolvida por Büdel (1957; 1982).



As teorias envolvem processos de intemperismo químico profundo (no caso da etchplanação), seguido por dissecação diferencial do embasamento e erosão regressiva, ocasionando a formação de feições típicas da morfologia granítica, como as macroformas (*inselbergs* e *bornhardts*) e microformas (*gnammas*, *karrens*, *flared slopes* e *tafonis*). A análise dessas formas exige uma abordagem geomorfológica integrada, que considere os aspectos litológicos, estruturais e climáticos.

Essas morfologias de *inselbergs* apresentam variadas macroformas (*bornhardts* e *domos*) e microformas (*gnammas*, *karrens*, *flared slopes* e *tafonis*) derivadas de fatores, cuja análise demanda diversas ferramentas, destacando-se as geotecnologias que auxiliam nos estudos geomorfológicos, especialmente em áreas de difícil acesso ou que demandem alto grau de detalhamento.

O uso de geotecnologias na análise geomorfológica de *inselbergs* já vem sendo empregado há algum tempo; porém, nos últimos anos, o uso de drones, ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), tem ganhado maior relevância, especialmente em trabalhos voltados à análise de aspectos morfológicos e estruturais, bem como à geração de métricas precisas a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE), por meio de softwares de geoprocessamento. Diversos estudos (MENEZES et al, 2019, KREIN RADEMANN; TRENTIN, 2020; BARCELOS et al, 2022; GOMES, 2023) apresentam a aplicabilidade do uso de drones no levantamento de informações geomorfológicas e que necessitem ter uma acurácia maior de dados.

Contudo, são ainda iniciais os estudos aprofundados acerca dos *inselbergs* do município de Chaval – CE, especialmente sob a perspectiva das geotecnologias aplicadas à análise geomorfológica, esta pesquisa teve como objetivo analisar e mapear os *inselbergs* exumados do Batólito Chaval utilizando produtos derivados de RPAs e técnicas de geoprocessamento, buscando extrair dados morfométricos e as relações entre morfologia e estrutura geológica.

A metodologia adotada consistiu nos levantamentos bibliográficos e cartográfico, além dos trabalhos de campo e posterior trabalho de gabinete, como o processamento e análise dos dados em ambiente SIG. Os produtos obtidos, como ortofotomosaicos, MDE, curvas de nível e permitiram a caracterização morfológica e a extração de parâmetros geométricos, além da confecção dos mapas temáticos.

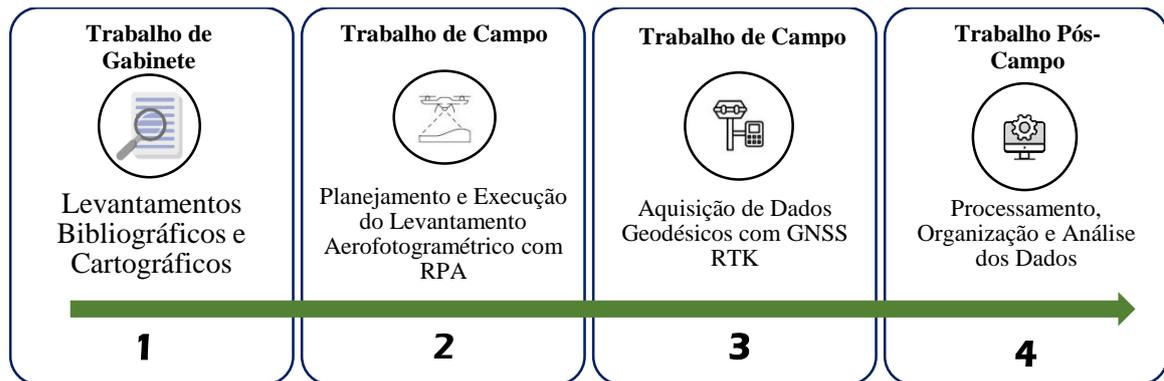
Em síntese, a pesquisa demonstrou o potencial das geotecnologias como ferramenta para o mapeamento geomorfológico de áreas estruturalmente complexas, destacando o uso de

RPA e geoprocessamento na análise tridimensional da paisagem e na compreensão da morfologia dos *inselbergs* de Chaval, além de fornecer subsídios para estudos futuros.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A abordagem metodológica adotada neste estudo foi estruturada em quatro etapas principais, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxo Metodológico adotado na pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

1. Levantamento Bibliográfico e Cartográfico: Realizou-se a revisão de literatura sobre os principais conceitos relacionados à geomorfologia granítica, com foco nos processos de formação e evolução de *inselbergs* em ambientes tropicais e semiáridos. Foram consultadas teses, dissertações, artigos e livros em periódicos que tratam de feições graníticas residuais, processos de exumação, intemperismo químico e controle estrutural do relevo. Também foram analisados trabalhos que discutem a aplicação de geotecnologias na geomorfologia.

Nas etapas de levantamento cartográficos foram obtidos produtos cartográficos que contribuíram para a caracterização preliminar da área de estudo, como mapas, vetores e imagens raster obtidos dos principais órgãos (IBGE, CPRM/SGB, ANA, IPECE).

2 e 3. Trabalhos de Campo: Os trabalhos de campo tiveram como objetivos a coleta de dados para o mapeamento geomorfológico e extração de dados morfométricos. Para isso, foram realizados voos semiautônomo com o drone DJI Mavic 3 Pro Cine, operando a uma altitude de 120 metros e com sobreposição lateral de 62,91% e longitudinal de 75,72%, seguindo o voo com trajetória pré planejado. Também foram coletados pontos de controle no solo utilizando receptores GNSS RTK (E-Survey E800), que asseguraram a acurácia posicional dos produtos fotogramétricos.

4. Processamento e Análise dos Dados: Os dados do aerolevante foram processados no software Agisoft Metashape, resultando em um ortomosaico georreferenciado,



MDE e curvas de nível, posteriormente integrados ao ArcGIS 10.8 para análises morfométricas. A interpretação desses dados, em correlação com a geologia estrutural local, permitiu uma análise integrada da morfologia e das estruturas litológicas dos inselbergs, culminando na elaboração de mapas temáticos e na consolidação dos resultados em ambiente SIG..

REFERENCIAL TEÓRICO

Geomorfologia em relevos graníticos

Os *inselbergs* representam formas de relevo isoladas que se elevam abruptamente sobre superfícies aplainadas. Twidale (1982) caracteriza os *inselbergs* como formas que derivam de longos períodos de intemperismo químico e dissecação superficial, revelando-se como estruturas exumadas. Essas feições são interpretadas como testemunhos da erosão diferencial, em que corpos rochosos mais resistentes, a exemplo dos granitos, permanecem em relevo isolados após o desgaste das unidades adjacentes menos resistentes.

Segundo Mígon (2006), os *inselbergs* se destacam tanto por sua morfologia quanto por seu valor como indicadores geomorfológicos, uma vez que registram estágios importantes da evolução da paisagem. Em regiões tropicais e subtropicais, como na Província Borborema Setentrional (PBS) Brasileira, essas formas são comuns, ocorrendo sobre batólitos graníticos ou corpos máficos-metamórficos, associado à exumação de plútons sin, tardi e pós colisionais decorrentes do evento da orogenia brasileira (MAIA e NASCIMENTO, 2018).

Teorias sobre a gênese e evolução dos *inselbergs*

A origem e evolução dos *inselbergs* têm sido discutidas por meio de diferentes abordagens teóricas, como a teoria do recuo lateral das escarpas, proposta por King (1953), e a teoria da etchplanação ou do duplo estágio de aplainamento, formulada por Büdel (1957; 1982). Na concepção de King, os *inselbergs* se formam como resultado do recuo progressivo das escarpas das cuestas e frentes de relevo, permanecendo como testemunhos topográficos de superfícies mais elevadas. Nesse modelo, a erosão atua lateralmente, isolando porções mais resistentes à frente do recuo.

A teoria da etchplanação proposta por Büdel (1957), enfatiza a atuação do intemperismo químico em profundidade, responsável por decompor seletivamente o embasamento rochoso em subsuperfície. Posteriormente, a erosão superficial remove os materiais mais alterados, expondo as porções que permaneceram menos intemperizadas. Essa teoria baseia-se na ideia de que os *inselbergs* seriam formas exumadas, ou seja, reveladas após a remoção da camada saprolítica que os encobria.



Geotecnologias aplicadas na Geomorfologia

O contínuo desenvolvimento das geotecnologias tem ampliado as possibilidades de investigação geomorfológica, sobretudo com o advento de plataformas aéreas não tripuladas. Para Garret e Anderson (2018), as metodologias com “drones” oferecem ao pesquisador os benefícios combinados de observações detalhadas com uma capacidade de autoatendimento que os satélites não conseguem igualar

O uso de RPAs no mapeamento geomorfológico permite a aquisição de imagens aéreas com alta resolução, com grande sobreposição e rápido tempo de execução, favorecendo o controle do processo pelo usuário e possibilita a geração de nuvens de pontos tridimensionais por meio do processamento fotogramétrico digital (HUMPHREY, 2014).

Esses equipamentos possibilitam a geração de produtos como ortofotomosaicos, modelos digitais de elevação (MDE) e modelos digitais do terreno (MDT), curvas de nível, nuvens de pontos densas e modelos tridimensionais do relevo, viabilizando análises morfométricas. Aliados a softwares de processamento fotogramétrico, como o Agisoft, Metashape e ambientes SIG como o ARCGis 10.8, esses dados permitem, além da análise qualitativa da paisagem, a extração de variáveis quantitativas como declividade, hipsometria e amplitude altimétrica.

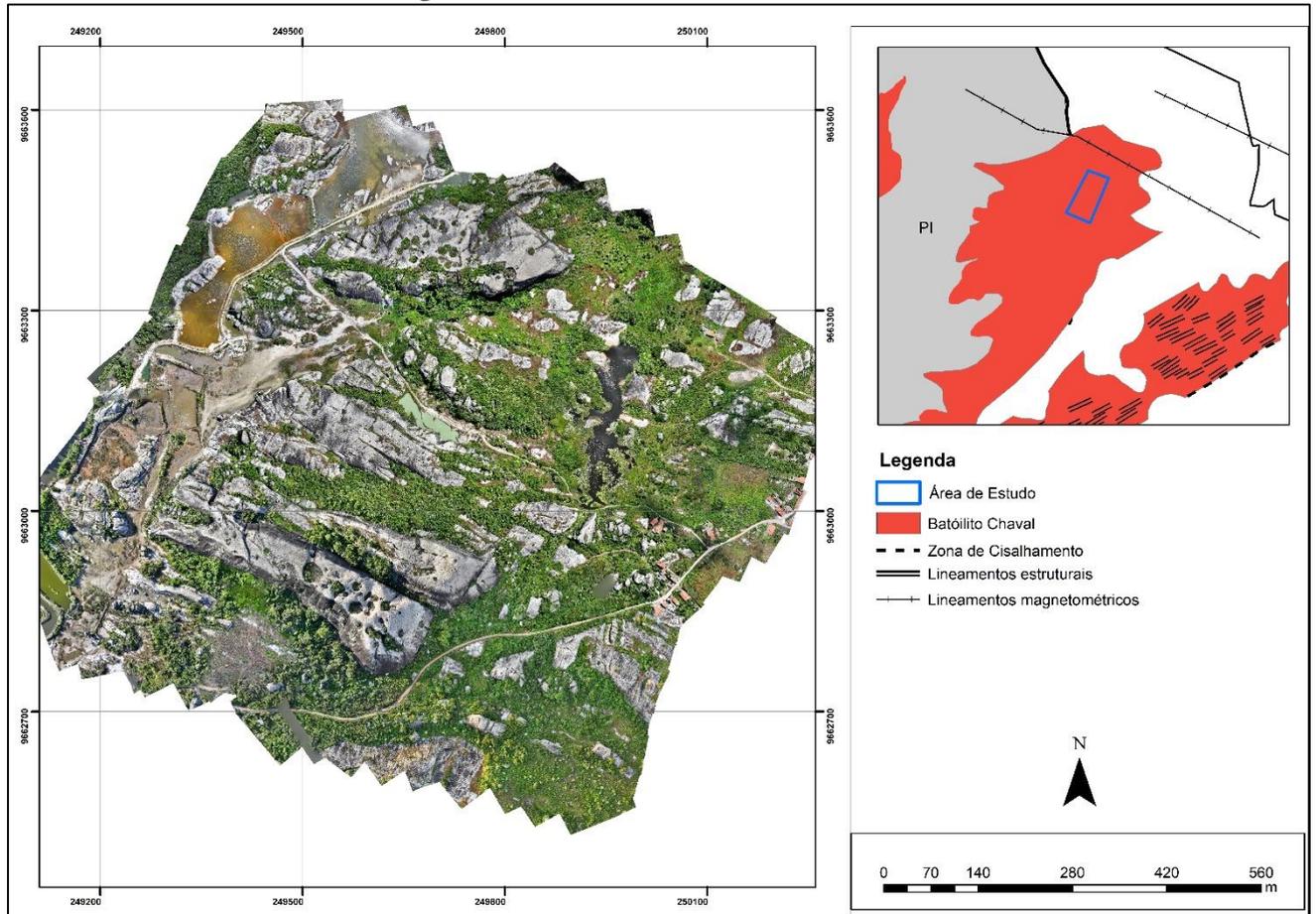
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento aerofotogramétrico e posterior processamento dos dados em software específico, foi gerado o ortofotomosaico (ver Figura 3), o qual constituiu a base para todas as análises morfométricas subsequentes. Esse ortomosaico passou pelo procedimento de georreferenciamento seguindo etapas específicas dentro do software apropriado.

O ortofotomosaico produzido apresentou resolução espacial 2,6 cm/pixel, enquanto o Modelo Digital de Elevação (MDE) alcançou uma resolução altimétrica compatível com curvas de nível equidistantes de 1 metro. O controle de pontos de apoio em campo e a calibração do sistema de posicionamento global permitiram uma precisão de georreferenciamento inferior a 10 cm, conferindo confiabilidade espacial aos produtos cartográficos gerados.

A precisão de georreferenciamento do material foi assegurada por meio da utilização de pontos de controle em campo (GCPs), obtidos com GNSS RTK, resultando em erro médio inferior a 10 cm.

Figura 3 – Ortomosaico da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2025). Lineamentos estruturais e magnetométricos (SGB)

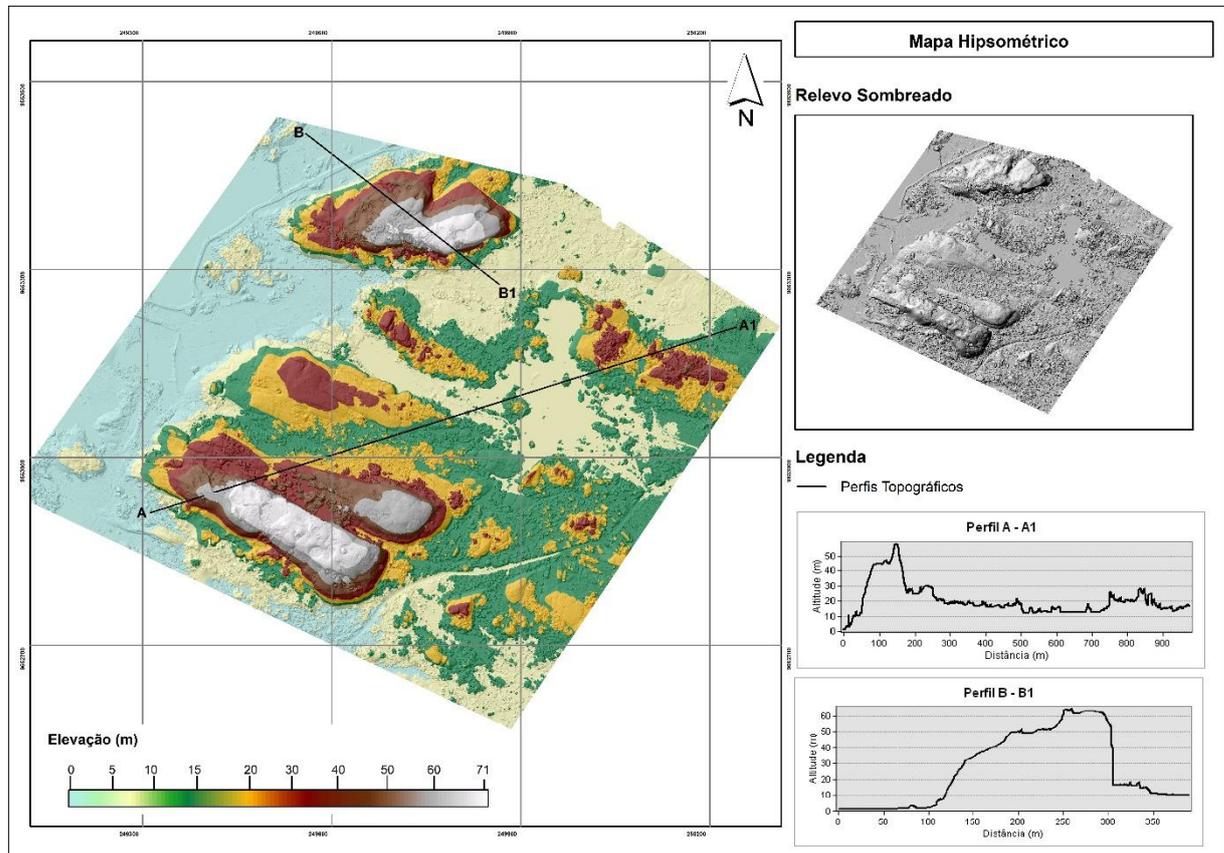
Do ortofotomosaico e da nuvem de pontos densa, foi possível gerar o MDE, base para a extração de parâmetros altimétricos e morfométricos. Com base na nuvem de pontos densa e no MDE gerado no software Agisoft Metashape, realizou-se análises tridimensionais da paisagem em modelos sólidos e em perfis topográficos. As visualizações em 3D auxiliaram na visualização da morfologia dos *inselbergs*, destacando a altura máxima e a inclinação das vertentes.

Análise dos parâmetros morfométricos

A partir dos produtos gerados com o uso de RPAs e processados em ambiente SIG, foi possível obter dados que permitiram a caracterização dos *inselbergs* da área de estudo quanto a altura e declividade. Do MDE foram extraídas métricas para a análise morfológica, tais como a altura relativa dos *inselbergs* (variando entre 10 e 71 metros), conforme demonstra o mapa de hipsometria (ver Figura 4).

O mapa hipsométrico permitiu identificar os principais domínios de altitude e evidenciar a compartimentação vertical dos inselbergs em relação à paisagem do entorno. Os inselbergs com as maiores altitudes estão representados pelos perfis topográficos na figura 4.

Figura 4 – Mapa hipsométrico

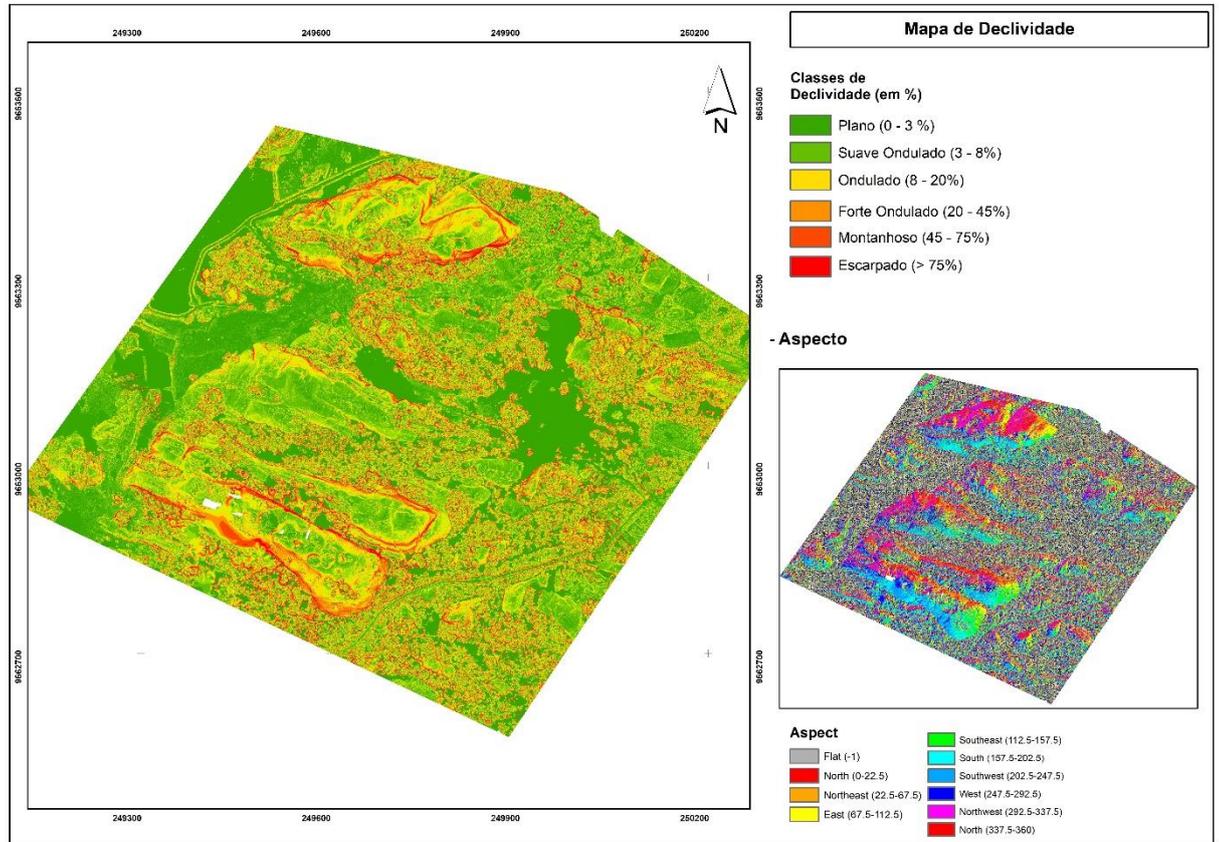


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Já o mapa de declividade (ver Figura 5) permitiu a análise espacial dos gradientes de inclinação das vertentes. Os valores variaram de 0° a mais de 45° , com declividades mais suaves ($<10^\circ$) nas áreas planas e declividades mais acentuadas ($>25^\circ$) predominando nas encostas dos inselbergs. Algumas vertentes apresentaram inclinações superiores a 35° , especialmente nas bordas abruptas dos afloramentos graníticos. Essa variação nos declives reflete tanto o controle estrutural das formas quanto os processos de intemperismo e erosão atuantes. As classes de declividade foram agrupadas conforme metodologia da embrapa.

Com relação ao mapa de aspecto-declive (ver Figura 5), é representado a orientação das vertentes (aspecto) e os valores de inclinação (declividade) de uma superfície com base nos dados obtidos do Modelo Digital de Elevação (MDE). Observou-se uma predominância de vertentes orientadas para os quadrantes norte e sudeste, o que pode refletir o controle estrutural exercido pelas fraturas regionais ou lineamentos preferenciais impostas na área.

Figura 5 – Mapa de Declividade e Orientação das Vertentes



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A partir dos produtos obtidos através do aerolevanteamento, juntamente com técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, foi possível extrair métricas morfométricas para ser aplicada na caracterização do relevo. Entre as principais, destaca-se a altura relativa, que corresponde à diferença entre o topo dos inselbergs e suas bases adjacentes; a amplitude altimétrica, que representa a variação entre as cotas máximas e mínimas da área estudada; e a declividade, que indica o grau de inclinação das vertentes, classificada em faixas que permitem identificar setores mais íngremes ou mais suaves.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam o potencial das geotecnologias, especialmente o uso de RPAs e softwares em ambiente SIG, na geração de produtos de alta resolução, como ortofotomosaicos e Modelos Digitais de Elevação. A qualidade desses dados permitiu a extração de métricas morfométricas, como altura relativa, declividade e orientação das vertentes que contribuiu para a caracterização das formas residuais graníticas da área estudada. Destarte, essas informações são fundamentais para subsidiar análises geomorfológicas de detalhes nesse tipo de relevo



AGRADECIMENTOS

A autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BARCELOS, C. A., DANALEO, J. R. B., RODRIGUES, S. V. USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARPS) NA ELABORAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS PARA AUXILIAR NA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA. William Morris Davis - **Revista de Geomorfologia**, [S. l.], v.3, n.2, p.1–14, 2022. DOI: 10.48025/ISSN2675-6900.v3n2.2022.350.

BÜDEL, Julius. **Climatic geomorphologie**. Tradução de L. Fischer e D. Busche. New Jersey: Princenton University Press, 1982.

CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes; BASTOS, Frederico de Holanda; SIAME, Lionel; LIMA, Danielle Lopes de Sousa; PAULA, Davis Pereira de; XIMENES NETO, Antônio Rodrigues. Geomorfologia do Campo de Inselbergs de Chaval, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 1, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i1.2247. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2247>. Acesso em: 1 jun. 2025.

HUMPHREY, D. **UAV and GIS An Emerging Dynamic Duo**. (2014). Disponível em: <http://www.esri.com/~media/Files/Pdfs/news/arcuser/0314/uav-and-gis.pdf>.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. **Geological Society of America Bulletin**. v. 64, p. 721-752, 1953.

KREIN RADEMANN, L.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi-RS. **GeoTextos**, [S. l.], v. 16, n. 1, 2020. DOI: 10.9771/geo.v16i1.35474. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/35474>. Acesso em: 2 abr. 2025.

GARRETT, B; ANDERSON, K. Drone methodologies: Taking flight in human and physical geography. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 43, n. 3, p. 341-359, 2018.

GOMES, Eliomara Leite Meira. **Mapeamento dos inselbergs em Quixadá e Quixeramobim, Ceará: Padrões Morfológicos e Distribuição**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.

MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L. do. RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 19, n. 2, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i2.1295. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1295>. Acesso em: 03 de maio. 2025.

MIGÓN, Piotr. **Geomorphological landscapes of the world: granite landscapes of the world**. New York: Oxford University Press Inc., 2006 .375 p.

MENEZES, Lucas de Santana; SANTOS, Mario Ricardo Rodrigues; SENRA, Aracy Sousa. Fotointerpretação obtida por aeronave remotamente pilotada (RPA) aplicada em mapeamento litoestrutural de escala 1:800, afloramento do Domínio Macururé, município de Capela–SE. **Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 483–493, 2019. DOI: 10.5016/geociencias.v38i2.12638

RÖMER, W., 2007. Differential weathering and erosion in an inselberg landscape in southern Zimbabwe: a morphometric study and some notes on factors influencing the long-term development of inselbergs. **Geomorphology** 86, 349–368

TWIDALE, Charles Rowland. **Granite Landforms**. Amsterdam: Elsevier, 1982. 372 p.