

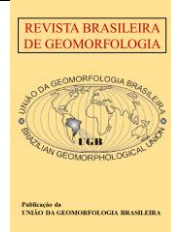


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, nº 2 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i2.2497>



Artigo de Pesquisa

# Padrões Morfológicos e Distribuição dos *Inselbergs* em Quixadá e Quixeramobim – Nordeste do Brasil

## *Morphological patterns and distribution of Inselbergs in Quixadá and Quixeramobim – Northeastern Brazil*

Eliomara Leite Meira Gomes <sup>1</sup>, Rubson Pinheiro Maia <sup>2</sup> e Anna Sabrina Vidal de Souza <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brasil. [eliomaraleite@hotmail.com](mailto:eliomaraleite@hotmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3977-8575>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brasil. [rubsonpinheiro@yahoo.com.br](mailto:rubsonpinheiro@yahoo.com.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1688-5187>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brasil. [annasabrinavidal@gmail.com](mailto:annasabrinavidal@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5070-8208>

Recebido: 24/10/2023; Aceito: 19/02/2024; Publicado: 14/06/2024

**Resumo:** Campos de *inselbergs* estão presentes em diversos continentes, incluindo a América do Sul, América do Norte e África. No Brasil, um dos maiores agrupamentos desses relevos é o campo de *Inselbergs* de Quixadá-Quixeramobim, composto por 195 *inselbergs* organizados em dois agrupamentos correspondentes aos plútons graníticos Quixadá e Quixeramobim. Em termos gerais, estudos relativos à distribuição espacial e padrões morfológicos de *inselbergs* com base em parâmetros morfométricos ainda são escassos. Este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição dos agrupamentos de *inselbergs* em relação a padrões morfológicos e morfométricos e pontuar os principais fatores que influenciam sua distribuição nos plútons graníticos, a fim de auxiliar na compreensão da evolução dessas formas de relevo. Para realizar a análise morfométrica dos *inselbergs*, foram utilizadas imagens de radar e ópticas com diferentes resoluções espaciais. Seus limites foram vetorizados manualmente por meio de programas SIG e suas altitudes mínimas e máximas foram extraídas automaticamente utilizando uma ferramenta de análise e medidas inserida no software QGIS 3.28.4 Firenze. A partir do mapeamento realizado, foram identificadas seis áreas core com alta densidade de *inselbergs*, chegando a 1,5 *inselbergs* por quilômetro quadrado. Os padrões de distribuição, em geral, estão relacionados com as características geológicas/faciológicas dos plútons e sua configuração estrutural.

**Palavras-chave:** *Inselbergs*; Distribuição; Morfometria

**Abstract:** Inselberg fields are found on several continents, including South America, North America, and Africa. In Brazil, one of the largest assemblages of these landforms is the Quixadá-Quixeramobim inselberg field, which is composed of 195 inselbergs organised in two clusters corresponding to the Quixadá and Quixeramobim granitic plutons. In general terms, studies related to spatial distribution and morphological patterns of inselbergs based on morphometric parameters are still scarce. The aim of this work is to analyse the distribution of inselbergs in relation to morphological and morphometric patterns and to point out the main factors influencing their distribution on granitic plutons, in order to support the understand of the evolution of these landforms. Radar and optical images with different spatial resolutions were used for the morphometric analysis of the inselbergs. Their boundaries were manually vectorised using GIS programs and their minimum and maximum heights were automatically extracted using an analysis and measurement tool inserted in the QGIS 3.28.4 Firenze software. Six core areas were identified with a high density of inselbergs, reaching 1,5 inselbergs per square kilometre. The distribution patterns are generally related to the geological/faciological characteristics of the plutons and their structural configuration.

**Keywords:** Inselbergs; Distribution; Morphometry

## 1. Introdução

Terrenos graníticos apresentam uma diversidade morfológica que dificulta a caracterização de uma “paisagem granítica” típica (MIGÓN, 2004a). Uma das formas de relevo mais frequentes e distintos nessas áreas são os *inselbergs*, relevos residuais que se elevam abruptamente de uma superfície aplainada (WILLIS, 1934; CAMPBELL, 1997; MIGÓN, 2004b). Os *inselbergs* são amplamente reconhecidos como um dos principais tipos de relevo granítico, embora não estejam limitados exclusivamente ao granito (GERRARD, 1988; MIGÓN, 2013). São encontrados em diversos lugares do mundo, como Namíbia, Austrália, Angola, Califórnia (MIGÓN, 2006; 2010; TWIDALE, 1995; GOUDIE, 2023), sendo o Brasil um dos países com maior ocorrência dessas formas, distribuindo-se desde o semiárido na região Nordeste (Ceará, Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte) até porções intertropicais no Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro).

A morfologia dos *inselbergs* é resultante de processos erosivos de longo-termo que atuam de forma diferencial refletindo tanto o controle estrutural como o litológico (MIGÓN, 2006; MIGÓN; VIEIRA, 2014; KAMENOV; BILLI; MIGÓN, 2022; SOUZA *et al.*, 2023). A classificação morfológica dos *inselbergs* é tradicionalmente fundamentada na interação entre estrutura (fatores geológicos) e forma (MIGÓN, 2021), o que promove diversidade nas morfologias individuais. Nesse sentido, tipos de *inselbergs* foram descritos conforme a aparência de suas escarpas (TWIDALE, 1981b; GERRARD, 1988).

A morfologia dos *inselbergs* pode ser complementada através da quantificação de suas variáveis morfométricas. A combinação das tradicionais descrições de *inselbergs* com a análise morfométrica se revela como um recurso fundamental para a caracterização e classificação dessas formas de relevo. Essa abordagem possibilita a avaliação quantitativa e qualitativa de seus atributos geométricos, bem como a associação desses atributos aos processos que desempenham um papel fundamental em sua formação e evolução (FLORINSKY, 2017).

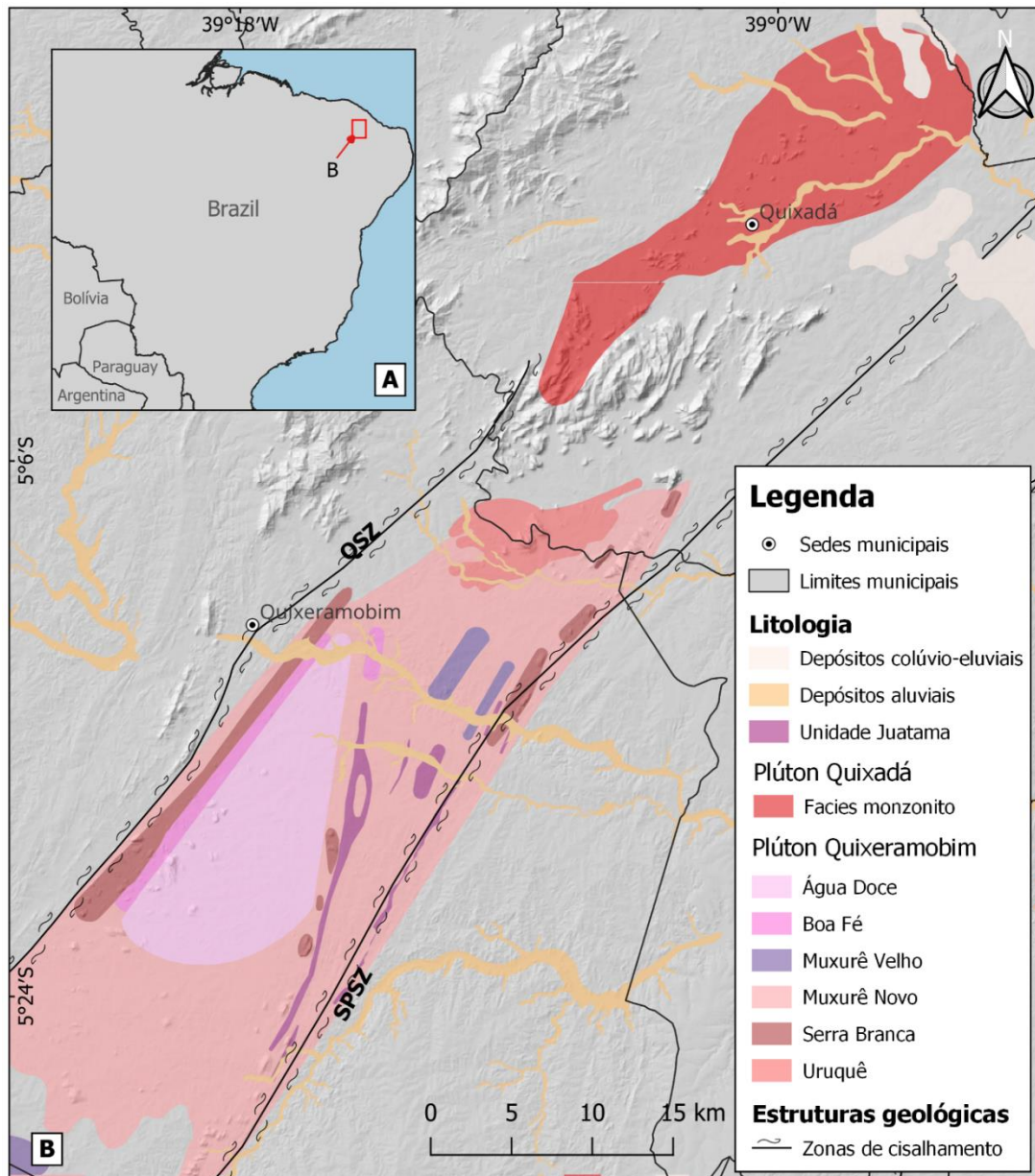
Até o momento, a compreensão das variações na forma e densidade dos *inselbergs* tem sido limitada. Entretanto, alguns estudos foram realizados nesse sentido, como o de Gibbons (1981), que revelou amplas variações na forma e densidade dos *inselbergs* em oito tipos distintos de rochas cristalinas na Suazilândia. Além disso, Römer (2005) examinou a distribuição espacial dos *inselbergs* no Zimbábue e sua correlação com fatores geomorfológicos, litológicos e estruturais em rochas granitoides. No entanto, é evidente a necessidade de desenvolver uma metodologia mais abrangente e sistemática para compreender integralmente as características dos *inselbergs* graníticos e os fatores que influenciam sua distribuição e morfologia.

Neste trabalho propõe-se uma metodologia para a análise morfológica e morfométrica dos *inselbergs* graníticos nos plútons Quixadá e Quixeramobim com base em dados de sensoriamento remoto e campo. O objetivo é identificar os principais parâmetros que definem os tipos de *inselbergs* e os fatores que influenciam sua distribuição espacial e morfológica. Essa abordagem é promissora para ulteriores trabalhos com foco em análise quantitativa e qualitativa dos *inselbergs* como subsídio para compreensão da evolução do relevo.

## 2. Área de Estudo

O campo de *inselbergs* de Quixadá-Quixeramobim está localizado na região central do Estado do Ceará, no Nordeste Setentrional do Brasil. O *inselbergs* ocorrem na área de dois corpos graníticos intrusivos, denominados plútons Quixadá e Quixeramobim (Figura 1), parte da Suíte Intrusiva Itaporanga, formados durante a orogenia brasileira no Neoproterozóico, cuja composição é constituída de granodioritos, monzogranitos, sienogranitos, granitos e monzonitos, cálcio-alcalinos de alto potássio, de granulação média ou grossa e textura porfirítica (ARTHAUD, 2007; PINÉO *et al.*, 2020). De acordo com Torquato *et al.* (1989), o pluton Quixeramobim possui seis facies: Muxerê Velho (dioritos e quartzodioritos em enclaves e diques sinplutônicos), Muxerê Novo (série granítica cálcio-alcalina de médio K e porfirítica, com megacristais de K-feldspato de 2 a 5 cm), Serra Branca (série granítica cálcio-alcalina de médio K e porfirítica, com megacristais de K-feldspato de 6 a 20 cm), Boa Fé (série granítica cálcio alcalina de médio K e porfirítica, com megacristais de K-feldspato de 1 a 3 cm), Água Doce (série granítica cálcio alcalina de baixo K com granulação média) e Uruquê (série granítica cálcio-alcalina de alto K e granulação fina). O pluton Quixadá, por sua vez, é composto majoritariamente pela Fácies Monzonito (ALMEIDA *et al.*, 1995) com ocorrência de enclaves máficos dioríticos e diques graníticos sinplutônicos com dimensões centimétrica a métrica (SILVA, 1989). Duas zonas de cisalhamento de direção NE-SW ocorrem próximas aos plutons e acomodaram seu alojamento: Zona de Cisalhamento Quixeramobim a oeste e Zona de Cisalhamento Senador Pompeu a leste (NOGUEIRA, 2004).

Os *inselbergs* em Quixadá- Quixeramobim elevam-se da superfície de erosão regional aprox. entre 50-250 m, definida como Superfície Sertaneja 1 (SS1) (COSTA *et al.*, 2020) (Figura 2), marcada por processos de aplainamento. Com base nas caracterizações de formas e processos associados aos relevos graníticos na área de estudo (MAIA *et al.*, 2015; MIGÓN; MAIA, 2020), os *inselbergs* foram divididos em quatro categorias: 1) *Inselbergs* com predominância de feições de fraturamento, sendo comum que blocos colapsados fiquem no sopé de suas escarpas; 2) *Inselbergs* com predominância de feições de dissolução exibem uma morfologia côncava associada à dissolução, caracterizando-se pela presença marcante de *gnammas* e caneluras, e pela ausência de características erosivas bem desenvolvidas; 3) *Inselbergs* predominantemente maciços, sem ocorrência de feições de dissecação e erosão significativas, apresentam escarpas íngremes e morfologia convexa. E por fim, 4) *Nubbins*, considerados *Inselberg* de blocos, um grupo rochoso caótico repousando em uma plataforma de rocha de baixo ângulo mais coerente.



**Figura 1.** Mapa de localização e contexto geológico da área de estudo. (A) Área de estudo em relação a América do Sul. (B) Geologia dos plútons Quixadá e Quixeramobim, onde ZCQ – Zona de Cisalhamento de Quixeramobim e ZCSP – Zona de Cisalhamento de Senador Pompeu. Adaptado de Parente *et al.* (2008).





**Figura 2.** *Inselbergs* de Quixadá no Ceará. (Foto: Rubson P. Maia, 2022)

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Levantamento cartográfico

Foram coletados bens cartográficos, como mapas, cartas, arquivos vetoriais e matriciais, visando obter dados primários e secundários para o estudo. Os principais recursos digitais reunidos para a investigação foram:

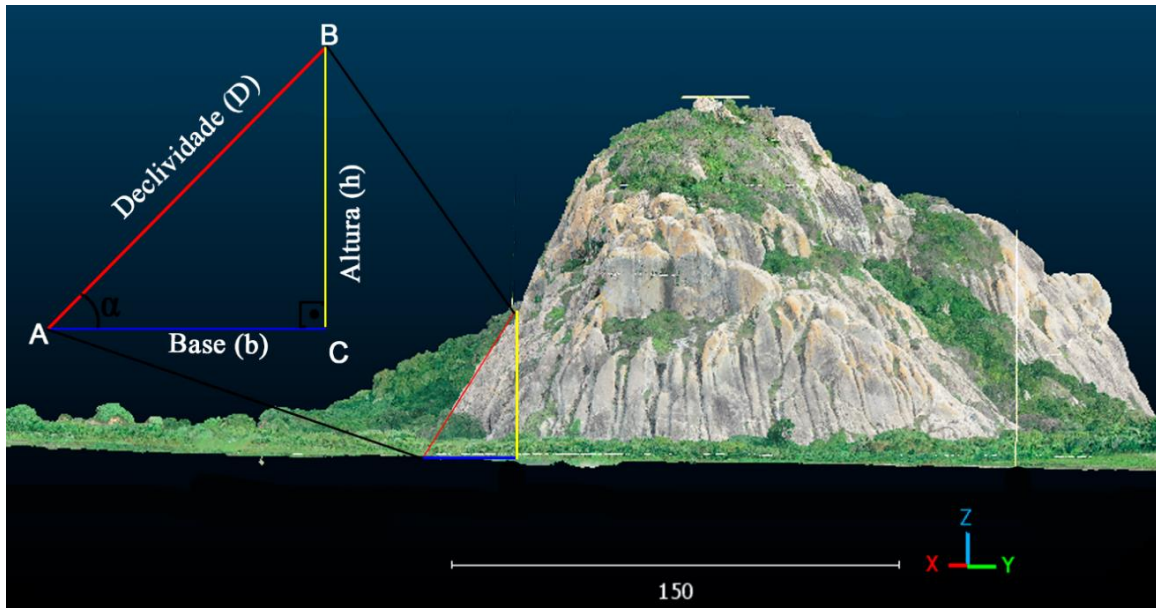
- i) Cartas geológicas em formato shapefile (.shp), em escalas de 1:250.000 e 1:100.000, disponibilizadas gratuitamente pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais do Brasil (CPRM). Sendo elas, Quixadá (SB. 24-VB-IV) e Itapiúna (SB. 24-XA-IV) (COSTA; PALHETA, 2017) e Folha Quixeramobim SB-24-V-D-III (PARENTE; ALMEIDA; ARTHAUD, 2008);
- ii) Imagens do Google Earth Pro, adquiridas de forma gratuita e online (2023);
- iii) Dados de Radar de Abertura Sintética (SAR), em formato GeoTIFF (.tif), referentes ao Copernicus DEM 30 m, um modelo digital de superfície (DSM), sob licença: Todos os direitos reservados (© DLR e.V. 2010-2014 e © Airbus Defence and Space GmbH 2014-2018), fornecido no domínio do COPERNICUS pela União Europeia e pela ESA.

#### 3.2. Reconhecimento e digitalização dos *inselbergs*

Para mapear individualmente as formas de relevo, foi realizada a digitalização manual das margens de cada *inselberg* com base em imagens ópticas e de radar. Os parâmetros morfométricos principais para o reconhecimento e caracterização dessas formas foram altura e declividade. A partir da ampla revisão bibliográfica a respeito da descrição de *inselbergs* e verificando as características particulares da área de estudo, na presente análise estabeleceu-se como *inselbergs* as elevações graníticas com mais de 20 metros, circundadas por mais de 50% de escarpas acima de 45°.

O cálculo da declividade depende do intervalo de medidas adotado e, por isso, o resultado obtido deve ser considerado uma estimativa. Em outras palavras, a declividade medida depende das diferenças de altitude entre pontos próximos e de quão longe ou perto esses pontos estão um do outro (Valeriano, 2008).

O mapa de declividades foi feito por meio da ferramenta “*Slope*” derivada do utilitário GDAL DEM, disponível no software QGIS 3.28.4 Firenze. A ferramenta *Slope* está disponível no menu “Raster” → Análise → *Slope*/Declividade. Neste estudo, determinamos os valores de declividade usando a triangulação entre Altura, Base e Declividade (Figura 3).



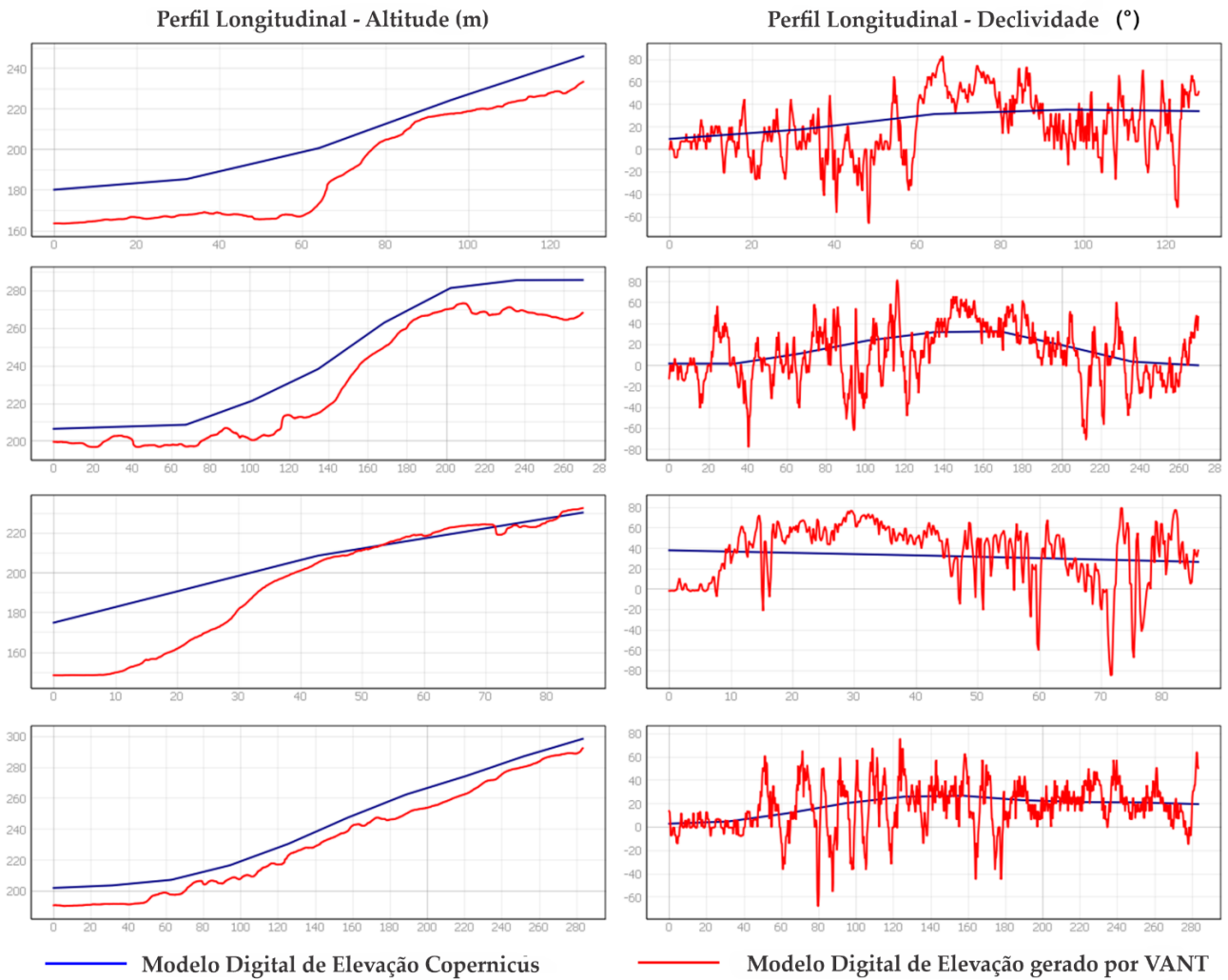
**Figura 3.** Representação da relação altura, base e declividade em ortomosaico. (Fonte: Modificado de Santos, Melo e Rovani, 2017)

Para entender melhor como o algoritmo calcula a declividade no Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi realizada uma análise dos valores dos pixels (Figura 4). A determinação da declividade no contexto do SIG foi realizada com base em uma máscara móvel de três em três sobre um MDE para prever o declive da célula central a partir das suas oito vizinhas (DUNN; HICKEY, 1998).



**Figura 4.** Análise de valores dos pixels, realizada com base em uma grade móvel de três em três onde cada célula contém um valor altimétrico. (Fonte: Modificado de Santos, Melo e Rovani, 2017).

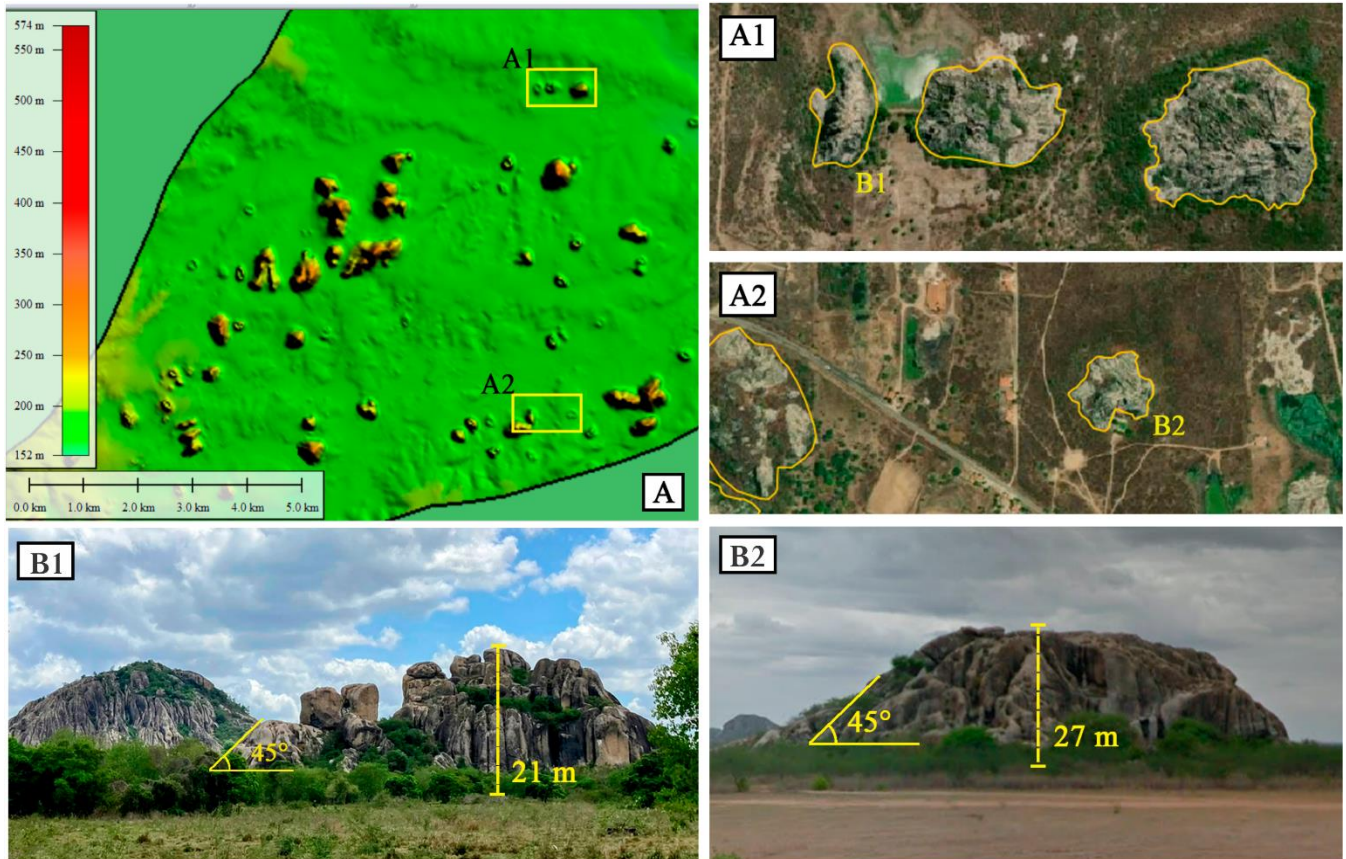
Segundo Dunn e Hickey (1998), este método não considera a elevação do ponto central, o que pode levar a imprecisões em áreas com pouca depressão, assim como em cadeias montanhosas ou vales. É importante notar que os valores de declividade no mapa devem ser vistos como uma estimativa, podendo variar dependendo da qualidade da imagem ou da grade utilizada. Quando se emprega um MDE de alta resolução, por exemplo, com uma grade de 1 metro, a influência da precisão dos dados se torna significativa (Figura 5).



**Figura 5.** Áreas de alto declive em *inselbergs*, comparação entre o Copernicus MDE e o MDE gerado pelo VANT (Fonte: Autores, 2023).

Portanto, considerando que os modelos com resolução de 30 metros exibem uma variação quanto ao parâmetro de declividade, optou-se por uma estimativa na qual as áreas com inclinações superiores a 30° seriam consideradas como ângulos maiores que 45°. Essa abordagem foi sujeita a reconhecimentos em campo, verificações *Street View* e comparações com MDEs de alguns *inselbergs* em Quixadá-Quixermaobim, adquiridos por levantamento com VANT (Figura 6).

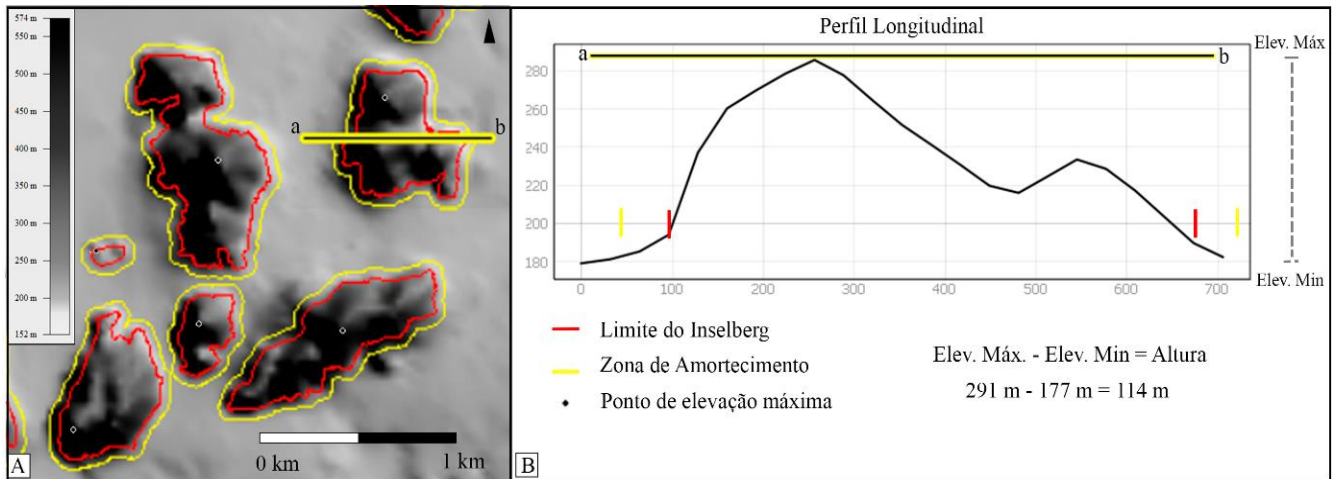




**Figura 6.** Delimitação e reconhecimento de *inselbergs*. A – Altitude de *inselbergs* segundo MDE Copernicus. A1 e A2 – Visão vertical de *Inselbergs* do tipo Nubbin. B1 – Foto frontal de *inselberg* do tipo Nubbin. B2 – Imagem frontal obtida através do *streetview* (*google maps*). (Fonte: Autores, 2023).

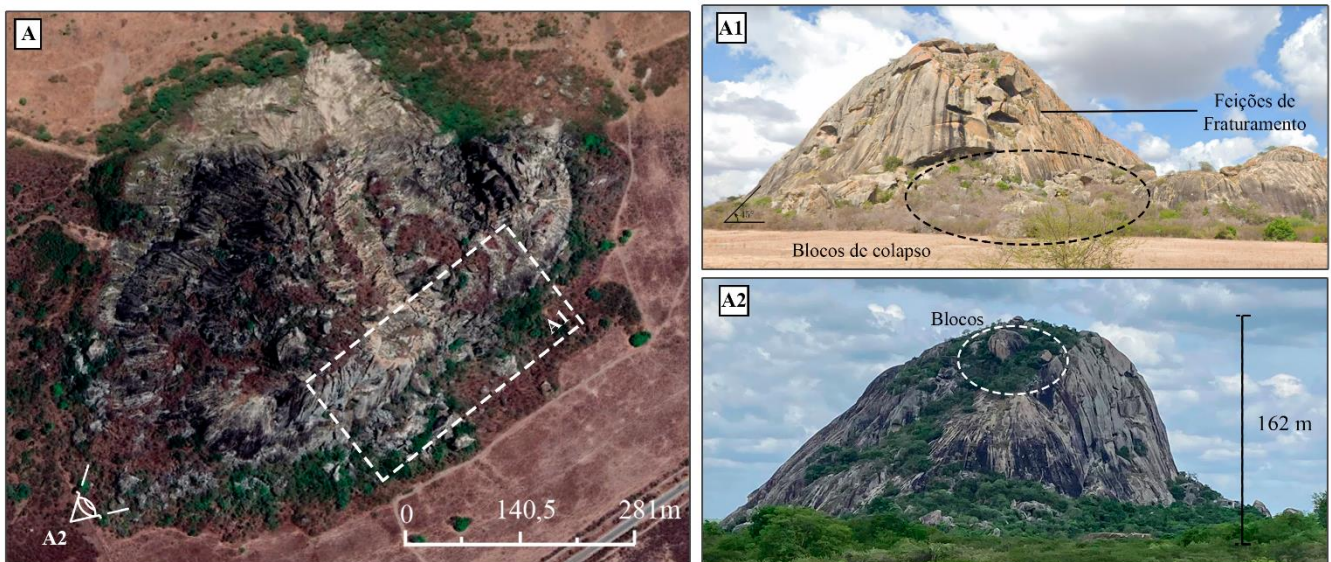
De modo a garantir maior precisão no reconhecimento dessas formas, a escala de análise utilizada no mapeamento em SIG foi definida como 1:10000. Para extrair a elevação na base e no topo, foi construído um *buffer* (zona de amortecimento) de 50 m ao redor da margem de cada *inselbergs* (Figura 7A). Uma zona de amortecimento de 50 m foi selecionada por ser grande o suficiente para ser representativa das áreas circunjacentes e pequena o suficiente para atenuar o impacto das características topográficas próximas (ou seja, outros *inselbergs*, lajedos).

Para extração das elevações mínimas e máximas, foi utilizada a ferramenta de processamento “Estatísticas Zonais”, no qual se calculam as estatísticas de uma camada rasterizada para cada recurso de uma camada vetorial de polígono sobreposta. Com este recurso, otimizou-se o tempo e minimizou possíveis erros de extração. Outro campo criado pela ferramenta “Estatísticas Zonais” foi o “*range*”, que indica a variação de altura. Para isso, é subtraída a elevação da superfície rebaixada do plúton/base (Elevação Mínima) da elevação do topo (Elevação Máxima), como mostrado na Figura 7B.



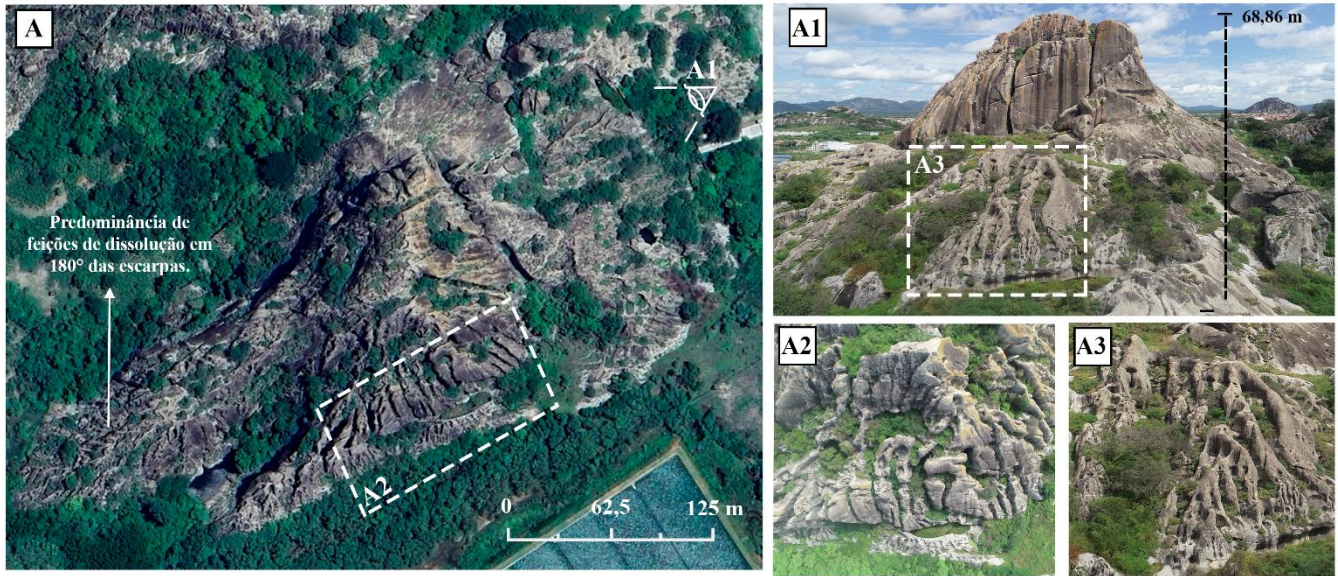
**Figura 7.** Extração de estatísticas zonais a partir do MDE. A – MDE com margens individuais dos *Inselbergs* (linhas vermelhas) e amortecedores de 50 m de diâmetro (linhas amarelas) ao redor, além de pontos (preto com branco) nas áreas mais elevadas. B – Obtenção das altitudes e cálculo de altura dos *Inselbergs*. (Fonte: Autores, 2023).

No que diz respeito às características morfológicas, o mapeamento permitiu a identificação de quatro tipos de *inselbergs*, categorizados com base nas pesquisas de Maia *et al.* (2015) e Maia e Migoñ (2020). 1. *Inselbergs* com predominância de feições de fraturamento caracterizados, sobretudo, pela presença da rampa de talus em aproximadamente 75% da área circunjacente ao *inselberg*, além do incipiente desenvolvimento de feições de dissolução em suas escarpas (Figura 8). 2. *Inselbergs* com predominância de feições de dissolução, por sua vez, revelam feições como caneluras (*karren*), *gnammas* e tanques de dissolução, além da não ocorrência de expressivos depósitos de talus (Figura 9). 3. *Inselbergs* predominantemente maciços, observam-se aqueles relevos cujas escarpas apresentam poucas feições de intemperismo e ausência ou incipientes blocos de colapso (Figura 10). 4. *Nubbins*, identificados sobretudo pela presença de um conjunto de blocos arredondados, separados por padrões de fraturas (Figura 6 B1 e B2).

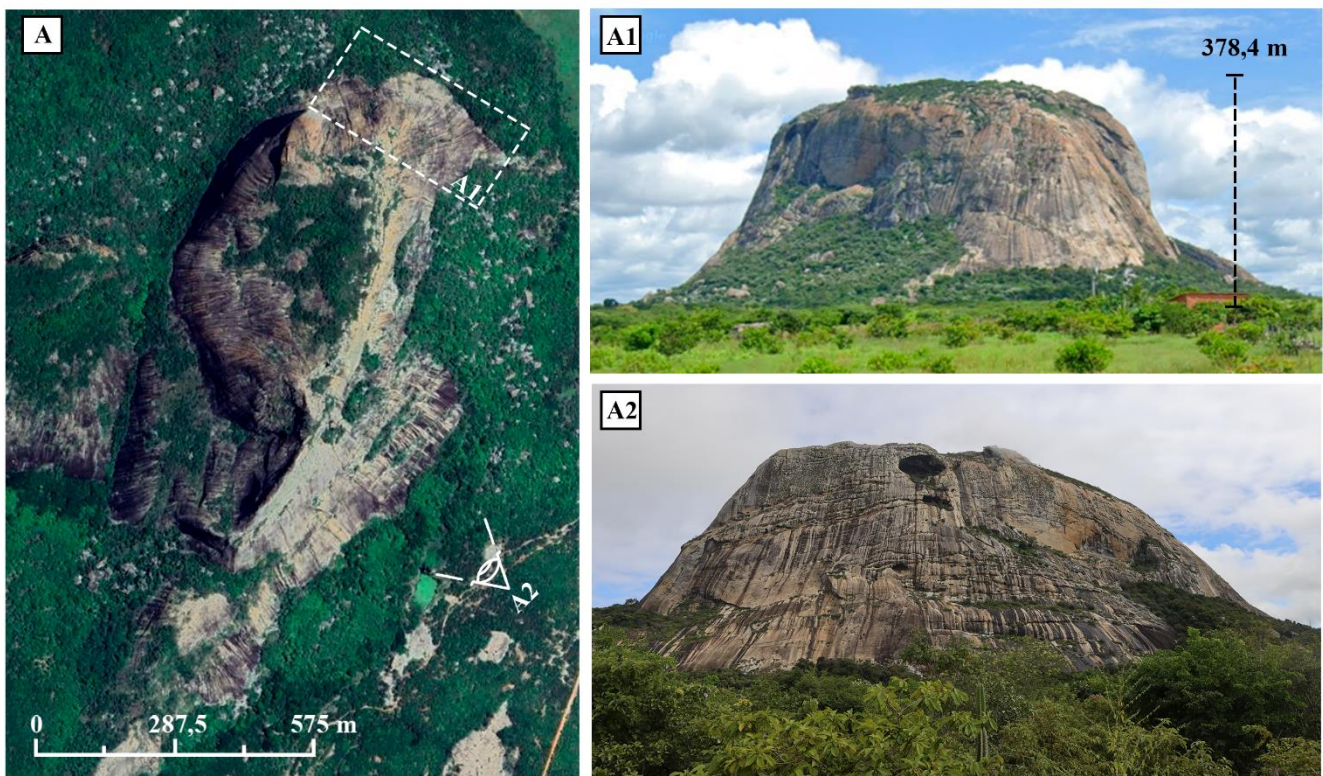


**Figura 8.** Caracterização de *inselbergs* com predominância de fraturamento. A – Visão vertical do *inselbergs* Muxió, localizado em Quixadá. A1 – Visão frontal no *streetview* onde é possível observar ângulo e blocos de colapso. A2 – Foto em outra perspectiva do *Inselberg* Muxió. (Fonte: Autores, 2023).





**Figura 9.** Caracterização de *inselbergs* com predominância de dissolução. A – Visão vertical do *inselberg* Pedra do Herval, localizado em Quixadá. A1 – Visão oblíqua do *inselberg*. A2 e A3 – Visão vertical mostrando escarpas com feições de dissolução. (Fonte: Autores, 2023).



**Figura 10.** Caracterização de *inselbergs* maciços. A – Visão vertical do *inselberg* Pedra do bolo, localizado em Quixeramobim. A1 – Visão frontal do *streetview*. A2 – Foto oblíqua tirada em campo. (Fonte: Autores, 2023).

Como forma de analisar a densidade dos plútons, usou-se o método de Kernel que consiste em quantificar as relações dos pontos dentro de um raio (R) de influência. Foi utilizado um raio de influência de 3,5 km, e com base nas informações obtidas pelo mapa de densidade Kernel, foram criadas áreas *core* (áreas centrais/áreas nucleares), que consiste na porção no território onde predominam as características representativas do agrupamento de *inselbergs*.

Neste trabalho, foram testadas várias dimensões de *grid*. No entanto, devido à área de estudo, foi utilizado um *grid* em forma de diamante com dimensões de 3,5 x 3,5 km para contar as ocorrências em pontos dos *inselbergs*. A contagem foi inserida em uma tabela de atributos e, posteriormente a escolha das áreas *core* se deu por apresentar níveis de densidade mais elevados.

Além das análises já mencionadas, uma ferramenta utilizada neste estudo foi o *software* OpenStereo, que permitiu a elaboração de um diagrama de roseta para identificar as orientações preferenciais de *inselbergs* com formas alongadas. Ressalta-se que, muitos *inselbergs* não apresentam formato alongado. Nesses casos, a orientação preferencial não foi extraída. A roseta resultante foi então integrada ao mapa de tipos de *inselbergs* para uma visualização mais completa e detalhada dos resultados.

### 3.3. Análise de Dados

Analisamos os dados estatísticos com o auxílio do *software* Excel. Para calcular a distribuição dos *inselbergs*, foram utilizadas algumas medidas estatísticas centrais e de dispersão. O conjunto de dados foi dividido em três: (i) conjunto relativo ao campo de *inselbergs* de Quixadá-Quixeramobim, (ii) conjunto dos *inselbergs* localizados no plúton Quixadá e (iii) conjunto dos *inselbergs* localizados no plúton Quixeramobim.

Para caracterizar os dados quantitativos dos *inselbergs*, usamos medidas de tendência central que mostram os valores mais típicos ou representativos dos conjuntos de dados. As medidas que usamos foram: média (o resultado da divisão da soma dos valores pelo número de observações), mediana (o valor central quando os dados são organizados) e moda (o valor que ocorre com mais frequência). Essas três medidas nos ajudaram a compreender as propriedades dos conjuntos de dados e a fazer comparações entre os três conjuntos sugeridos.

Analisamos a variabilidade dos conjuntos de *inselbergs* por meio de estatísticas de dispersão, que revelam a variação dos dados em torno de um valor central, como a média ou a mediana. Essas medidas permitiram avaliar a homogeneidade ou heterogeneidade dos dados, sendo o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) as medidas escolhidas para este estudo. Ambas indicam o grau de variação dos dados dos *inselbergs*, sendo mais elevadas em situações de maior dispersão e menores quando há homogeneidade.

## 4. Resultados

### 4.1. Mapeamento e distribuição dos *inselbergs*

Os *inselbergs* foram mapeados baseando-se em parâmetros morfométricos como altitude máxima, altitude mínima e inclinação média. No total, foram identificados 195 *inselbergs* nos plútons Quixadá e Quixeramobim. Destes, 86 *inselbergs* estão localizados em Quixadá e 109 *inselbergs* em Quixeramobim.

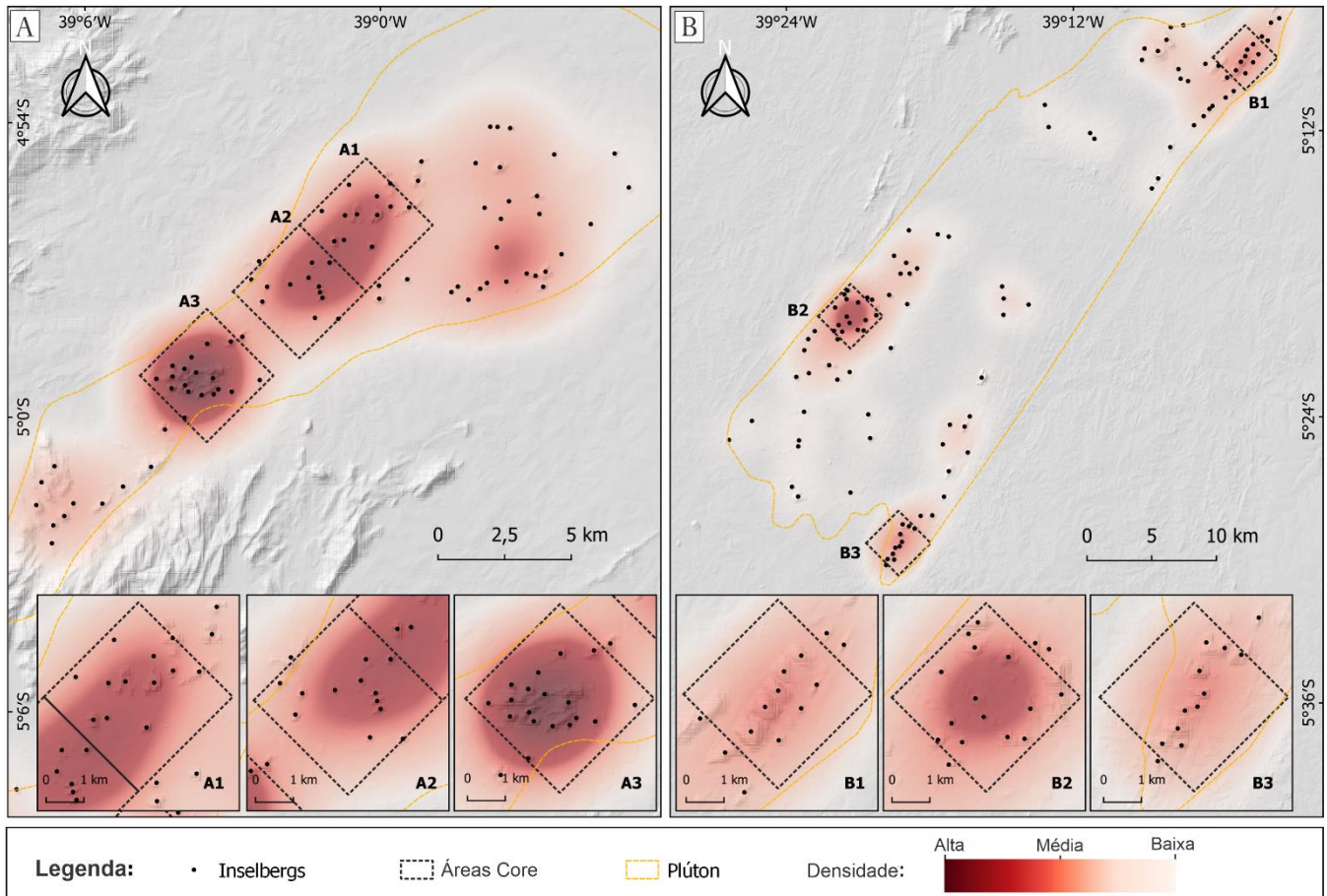
A densidade de *inselbergs* nos dois plútons foi verificada por meio do mapeamento e agrupamento de seis áreas *core*, três em Quixadá (Figura 11, A1, A2 e A3) e três em Quixeramobim (Figura 11, B1, B2 e B3). A análise revelou que os *inselbergs* são predominantemente encontrados nos setores NW e SW do plúton Quixadá, bem como nos setores NE, SE e SW do plúton Quixeramobim.

**Tabela 1.** Densidade de *inselbergs* na totalidade dos plútons Quixadá e Quixeramobim.

Plúton	Contagem (Inselbergs)	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade (inselbergs/km <sup>2</sup> )
Quixadá	86	204,5	0,42
Quixeramobim	109	744,7	0,15

O Plúton Quixadá possui uma densidade de *inselbergs* mais alta do que Quixeramobim (Tabela 1). Isso sugere que a distribuição dos *inselbergs* é mais concentrada em uma área menor no plúton Quixadá, enquanto em Quixeramobim eles estão mais espalhados devido à sua maior extensão.





**Figura 11.** Mapeamento e distribuição de *inselbergs* nos plútons de Quixadá e Quixeramobim, A e B respectivamente. Áreas core de Quixadá A1, A2 e A3 e áreas core de Quixeramobim, B1, B2 e B3.

O mapa representado na Figura 11 apresenta dados relacionados à quantidade de *inselbergs*, medida em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>). Os valores são apresentados na Tabela 2:

**Tabela 2.** Densidade de *inselbergs* nas áreas core dos plútons Quixadá e Quixeramobim.

Áreas core	Contagem (Inselbergs)	Área core (km <sup>2</sup> )	Área ocupada por <i>inselbergs</i> (km <sup>2</sup> )	Densidade (inselbergs/km <sup>2</sup> )
A1	12	12,5	1,3	0,96
A2	13	12,5	0,8	1,04
A3	18	12,5	1,9	1,44
B1	10	12,5	3,1	0,80
B2	14	12,5	3,4	1,12
B3	11	12,5	1,4	0,88

Todas as áreas core têm a mesma extensão (12,5 km<sup>2</sup>). No entanto, a densidade de *inselbergs* varia em diferentes partes do plúton, sendo mais alta nas áreas A3 e B2, o que indica uma concentração significativa nesses locais. Com base nos dados apresentados na tabela 1, a densidade média de *inselbergs* nas áreas core de Quixadá (43 *inselbergs*/37,5 km<sup>2</sup>) é de 1,14 *inselbergs*/km<sup>2</sup>, embora a densidade média em todo o plúton seja mais baixa (0,42 *inselbergs*/km<sup>2</sup>). Além disso, metade dos *inselbergs* (50%) está localizada nessas áreas core, distribuída da seguinte forma: 14% em A1, 15% em A2 e 21% em A3, enquanto a outra metade está dispersa fora das áreas core.

A densidade média de *inselbergs* nas áreas core de Quixeramobim é de 0,93 *inselbergs*/km<sup>2</sup> (Tabela 2), representando seis vezes a densidade média de *inselbergs* em todo o plúton. A distribuição dos *inselbergs* em

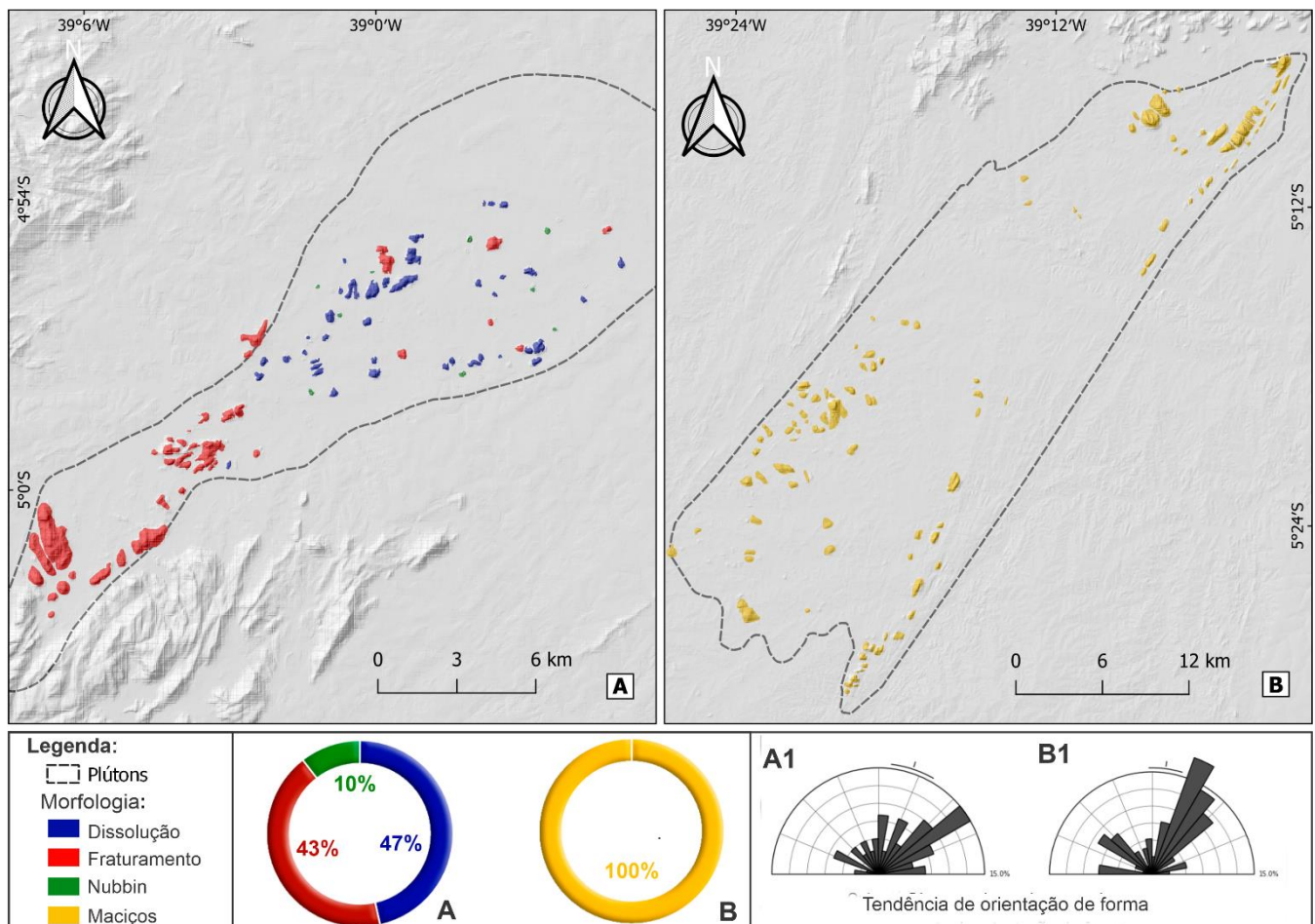


Quixeramobim mostra que 32% estão concentrados nas áreas *core*, enquanto 68% estão dispersos em outras partes do plúton.

Os valores de densidade de *inselbergs* nas áreas *core* de Quixeramobim são aproximadamente quatro vezes menores do que os encontrados em Quixadá. Apesar de Quixadá ter uma contagem maior de *inselbergs*, em Quixeramobim, os *inselbergs* possuem dimensões maiores, com áreas de até 7,8 km<sup>2</sup>, duas vezes maiores do que as encontradas em Quixadá (cerca de 4 km<sup>2</sup>). Em Quixeramobim, as áreas B1 e B2 possuem uma área significativa ocupada pelos *inselbergs* em relação à sua área total, resultando em densidades de *inselbergs* mais baixas. Em contraste, em Quixadá, as áreas centrais A1 e A2 possuem aproximadamente a mesma densidade de *inselbergs*, apesar de terem áreas de ocupação diferentes para os *inselbergs*.

#### 4.2. Classificação Morfológica dos Inselbergs

Seguindo o padrão morfológico proposto em estudos anteriores na região (Maia *et al.*, 2015; Migoñ e Maia, 2020), mapeamos a distribuição dos *inselbergs* segundo as suas morfologias. As categorias morfológicas identificadas foram: *Inselbergs* com predominância de feições de fraturamento, *Inselbergs* predominância de feições de dissolução, *Nubbins* e *Inselbergs* predominantemente maciços.



**Figura 12.** Distribuição dos *inselbergs* por morfologia. A – Delimitação e distribuição de *inselbergs* no plúton Quixadá. B – Delimitação e distribuição de *inselbergs* no plúton Quixeramobim. A1 e B1 – correspondem a tendência de orientação da distribuição de formas dos *inselbergs*, onde A1 corresponde a Quixadá e B1 corresponde a Quixeramobim.

Em Quixadá, as feições de dissolução predominam, representando 47% da região e distribuindo-se por toda a sua extensão (Figura 12A). Por outro lado, os *inselbergs* de fraturamento, correspondentes a 43%, são caracteristicamente encontrados no sudoeste do plúton, no Complexo da Pedra da Galinha Choca, e em algumas áreas ao norte. Além disso, esses *inselbergs* exibem uma marcante presença de rampas de tálus. Dos 86 *inselbergs*

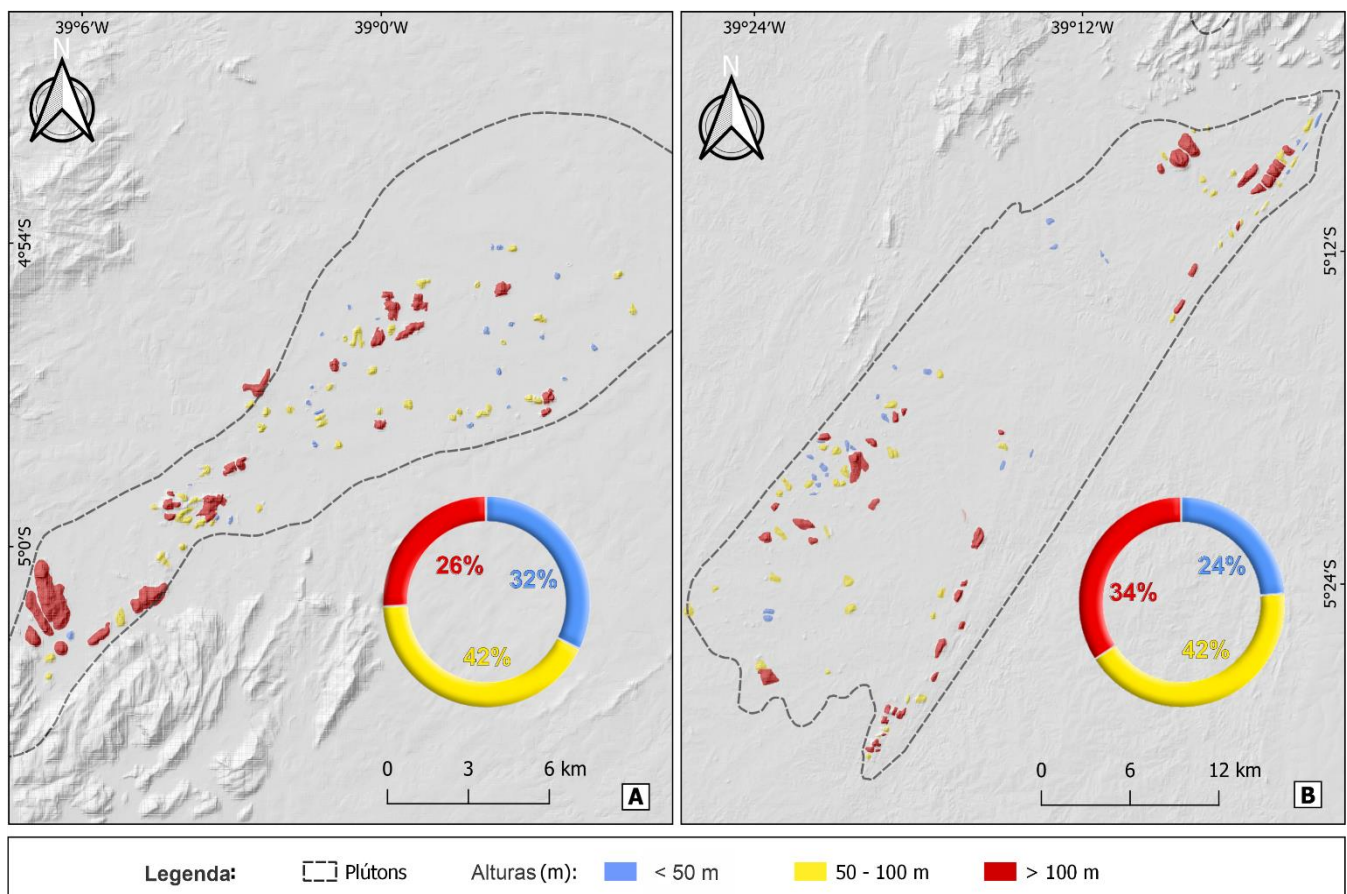
identificados em Quixadá, 40 são classificados como de dissolução, 37 como de fraturamento, e apenas 9 (10%) como *Nubbins*. É importante ressaltar que não foram encontrados *inselbergs* maciços na área.

Ao integrar os dados de morfologia e distribuição, é possível observar que a área A1 e A2 (Figura 11) respectivamente 8 e 11 *inselbergs*, apresentam uma predominância de feições de dissolução, enquanto na área A3 há uma concentração de 16 *inselbergs* do tipo fraturamento. Neste contexto, o plúton Quixeramobim (Figura 11B), representado pelas áreas B1, B2 e B3, não há uma diferenciação clara em termos de morfologia, devido à predominância de *inselbergs* maciços nessas áreas.

Considerando a totalidade do campo de *inselbergs* de Quixadá-Quixeramobim, foi identificado que 75% dos *inselbergs* analisados possuem forma elipsoidal, havendo uma predominância dessas formas no plúton Quixeramobim. Em Quixeramobim é possível observar um padrão sistemático de disposição de formas alongadas no setor NE, onde 6 *inselbergs* ocorrem de maneira justaposta. O diagrama de roseta expressa a direção preferencial dos *inselbergs* com formas alongadas nos dois plútons. Em Quixadá, os *inselbergs* alongam-se na direção NE-SW (Figura 12, A1), e os *inselbergs* em Quixeramobim, NNE-SSW (Figura 12, B1).

#### 4.3. Propriedades Morfométricas dos Inselbergs

A Figura 13 mostra a classificação dos *inselbergs* de acordo com suas alturas, calculadas a partir da diferença entre a altura da superfície rebaixada do plúton e a altura máxima de cada *inselberg*. Os *inselbergs* foram categorizados em três grupos, com base em sua altura: acima de 100 m, entre 50 e 100 m e abaixo de 50 m. É possível notar que em Quixadá as classes < 50 m e 50 – 100m possuem aproximadamente o mesmo percentual, já em Quixeramobim as classes < 50 m e > 100 m possuem os mesmos valores.



**Figura 13.** Classificação dos *inselbergs* de acordo com as alturas: < 50 m, 50 – 100 m e > 100m. A - Delimitação e distribuição das classes de altura dos *inselbergs* no plúton Quixadá. B - Delimitação e distribuição das classes de altura dos *inselbergs* no plúton Quixeramobim.

Os *inselbergs* de Quixadá-Quixeramobim exibem uma faixa de alturas que varia de 24 m a 381,6 m, com uma média de 94 m. A mediana é 77 m, significando que metade das contagens de *inselbergs* é menor ou igual a 77 m, e a outra metade é maior ou igual a 77 m. Essa variação é notável, pois o desvio padrão alcança 62 m, resultando em um coeficiente de variação de 66 %. Em relação aos dados de altitude dessa área, os valores variam entre 159 m e 576 m, tendo uma média de 240 m.

Observa-se uma predominância de *inselbergs* com alturas situadas na faixa de 50 a 100 m em ambos os plútons. Dos 195 *inselbergs* analisados, 86 (44%) encontram-se dentro desse intervalo. Adicionalmente, há 48 (25%) *inselbergs* com alturas inferiores a 50 m e 61 (31%) *inselbergs* com alturas superiores a 100 m. As áreas onde ocorrem *inselbergs* de menor altura são encontradas ao norte do plúton Quixadá e no setor sudoeste do plúton Quixeramobim.

Em Quixadá, há 86 *inselbergs*, sendo que 23 deles têm menos de 50 m de altura (Figura 13A). A altura máxima observada em Quixadá foi de 241 m, com uma média de 83 m. A variação de altura é relativamente baixa, tendo um desvio padrão de 44 m e um coeficiente de variação de 53%.

Os *inselbergs* em Quixeramobim possuem alturas máximas mais elevadas em comparação com os do plúton Quixadá. O pico de altura observado no primeiro é de 381,6 m, enquanto o *inselberg* mais elevado no segundo chega a 241 m. Observando as estatísticas, verifica-se que que *inselbergs* de dissolução apresentam médias relativamente mais baixas de alturas, sugerindo uma distribuição de alturas mais concentrada, ao passo que *inselbergs* de fraturamento e maciços possuem médias mais altas (Tabela 3). É válido ressaltar que cada tipo de *inselberg* exibe uma distribuição única de alturas.

**Tabela 3.** Correlação entre tipo morfológicos dos *inselbergs* e estatísticas básicas das alturas.

<b>Tipo Morfológico do Inselberg</b>	<b>Média (alturas)</b>	<b>Mediana (alturas)</b>	<b>Amplitude (variação entre altura mínima e máxima)</b>
Dissolução	72 m	66 m	120 m
Fraturamento	105 m	95 m	206 m
<i>Nubbins</i>	39 m	37 m	37 m
Maciços	103 m	81 m	357 m

Foi verificado também que as alturas dos *inselbergs* tendem a subir à medida que a área ocupada por eles aumenta. No contexto do campo de *inselbergs*, a área coberta por esses relevos varia desde 0,01 km<sup>2</sup> a 1,93 km<sup>2</sup>, com uma média de 0,21 km<sup>2</sup>. Os *inselbergs* maciços no plúton Quixeramobim, por exemplo, ocupam áreas maiores, e, coincidentemente, apresentam alturas superiores em comparação com os *inselbergs* de outros tipos morfológicos.

## 5. Discussão

Os resultados apresentados permitem verificar que, apesar da alta concentração de *inselbergs* nos plútons Quixadá e Quixeramobim, a distribuição dos *inselbergs* e seus tipos morfológicos variam em cada um deles, sugerindo que fatores geológicos, geomorfológicos e topográficos influenciam nesses parâmetros. O mapeamento dos *inselbergs* demonstrou uma distribuição não uniforme em ambos os plúton, destacando a concentração de *inselbergs* em áreas específicas, como nos setores NW e SW do Plúton Quixadá e NE, SE e SW do Plúton Quixeramobim. Observa-se que a distribuição das áreas *core* no Plúton Quixeramobim tem relação com as características faciológicas (Figura 1), visto que a maior concentração desses relevos ocorre nas fácies graníticas (Muxerê Novo) e granodioríticas (Serra Branca) (cf. TORQUATO *et al.*, 1989).

Por outro lado, apesar da relativa homogeneidade litológica no Plúton Quixadá dada a predominância de uma fácies monzonítica (ALMEIDA, 1999), a presença de uma sub-fácies granítica na forma de corpos tabulares centimétricos cortando a fácies principal (SILVA, 1989) que ocorre com maior concentração no setor sudoeste do Plúton Quixadá (NOGUEIRA, 2004), pode contribuir para o adensamento nesse setor. A esse respeito, os dados de Souza *et al.* (2023) corroboram a presente observação, uma vez que os autores apontam que a composição dos diques, com alto teor de sílica (> 70%), e a orientação dos enxames (baixos ângulos de mergulho) favorecem a manutenção de núcleos de maior resistência, uma vez que dificultam o fraturamento vertical.



Um importante fator que afeta a distribuição e consequente densidade das formas de relevo nos plútons é a morfometria, particularmente a dimensão dos *inselbergs*. Os resultados apresentados demonstram que, no Plúton Quixeramobim, os *inselbergs* têm maior área individual, e, portanto, menos *inselbergs* ocupam as áreas *core*, levando a uma diminuição nos valores de densidade. Em Quixadá ocorre o inverso, porquanto a área individual dos *inselbergs* nesse plúton é aproximadamente duas vezes menor que em Quixeramobim, propiciando que haja mais *inselbergs* por km<sup>2</sup>.

Neste sentido, ressalta-se que as discrepâncias no tipo e dimensão dos *inselbergs* estão relacionadas sobretudo às variações na estrutura, i.e., heterogeneidade de fraturamento nos corpos graníticos, favorecendo os processos de intemperismo diferencial considerados na evolução de *inselbergs* (modelos de múltiplos estágios) (TWIDALE 1981a; RÖMER, 2007). Com o progresso da erosão, a variação na distribuição dessas formas de relevo tende a seguir os padrões estruturais pretéritos, sobretudo a densidade de fraturas. Em áreas com processos de erosão e aplainamento intensos, como o campo de *inselbergs* Quixadá-Quixeramobim, muitas vezes não está claro a configuração passada dessas estruturas no plúton, requerendo estudos mais detalhados a esse respeito.

No tocante à escala mais local relativa às morfologias dos *inselbergs*, o mapeamento de *inselbergs* conforme sua tipologia morfológica em categorias de fraturamento, dissolução, *Nubbins* e maciços permitiu quantificar e espacializar a diversidade de formas de relevo nos plútons graníticos apontada previamente por Maia *et al.* (2015). O fator notável é o contraste de variação da morfologia no plúton de Quixadá em comparação com o plúton Quixeramobim, marcado por *inselbergs* maciços.

Maia *et al.* (2015), apontavam que características faciológicas dos granitoides em Quixadá promovem a modelagem de microfaições nas escarpas dos *inselbergs*. Especificamente, os resultados indicam que a maioria dos *inselbergs* no Plúton Quixadá apresenta características predominantemente relacionadas a processos de dissolução. Esse resultado corrobora as descrições mineralógicas dos granitoides nesse plúton, cuja matriz é constituída principalmente por anfibólios e biotitas que compõem de 30 – 35% do volume total da rocha (TORQUATO *et al.*, 1989), as quais possuem generalizada ocorrência de enclaves máficos, reconhecidos como locais preferenciais para desenvolvimento de dissoluções como *gnammas* (MAIA *et al.* 2015; MAIA; NASCIMENTO, 2018). Os autores (MAIA *et al.*, 2015) também afirmaram que os *inselbergs* de dissolução possuem alturas menores, apontamento convergente aos resultados desse estudo, tal como indicado por menores valores médios das alturas, em comparação a *inselbergs* de fraturamento e maciços.

Vale ressaltar que a amplitude altimétrica dos *inselbergs* de dissolução é maior do que a dos *inselbergs* de fraturamento. Isso pode ter como causa a variabilidade das características desses *inselbergs* e termos evolutivos das feições de dissolução que neles ocorrem, sobretudo caneluras. Por exemplo, o *inselberg* Pedra do Cruzeiro, com 80 m de altura, apresenta caneluras profundas que ultrapassam 1 m de profundidade em toda a extensão de sua escarpa, e contrasta com outro *inselberg* de tipo dissolução, cuja altura é 150,6 m (Pedra Riscada), o qual, por sua vez, apresenta caneluras de profundidade centimétrica. Essas diferenciações se dão como resultado da atuação diferencial dos processos de intemperismo químico sobre as rochas em diferentes setores do plúton e que hoje se revelam no relevo. É provável que onde esses processos foram relativamente mais intensos, mantos de alteração mais espessos foram formados (THOMAS, 1965) e, com sua posterior remoção, os *inselbergs* revelam relevos mais rebaixados em comparação a locais onde o aprofundamento dessas feições foi menos intenso. Ainda são poucos os dados que elucidam essas diferenciações dos processos de estágios de etchplanação do plúton, e, portanto, requerem posterior investigação a fim de elucidar tais mecanismos que se revelam em padrões morfológicos e alturas dos *inselbergs*.

Os *Nubbins* apresentam pouca representatividade no agrupamento (10%) de formas mapeadas, e suas alturas encontram-se com os menores valores médios. Isso se dá, pois, esses relevos já não resguardam morfologia contínua de uma escarpa, como nos outros *inselbergs*, dada a intensa individualização de setores por controle de fraturas ortogonais e formação de *boulders* (TWIDALE, 1981b). Nota-se o contraste dessas formas, fortemente controladas pelas fraturas em sua evolução, com *inselbergs* fraturados, os quais apresentam alturas similares a *inselbergs* maciços. Essa característica leva a analisar fatores que contribuem para a manutenção dessas alturas apesar do fraturamento. Alguns estudos demonstram relevos íngremes controlados por intenso fraturamento, formando preferencialmente torres e pináculos (CHIGIRA, 2021). Nesses casos, fraturas verticais individualizam relevos que exibem escarpas declivosas que refletem o padrão estrutural. Tal fato é similar ao observado em alguns *inselbergs* na área de estudo, como a Pedra da Galinha Choca.

Os *inselbergs* maciços apresentam as maiores alturas e incipiente desenvolvimento de microformas em suas escarpas. Essas características se relacionam provavelmente com as características dos granitos, cuja matriz de textura mais fina (em comparação aos granitoides de Quixadá) pode favorecer a formação das escarpas e dificultar a atuação do microinteremperismo intergranular. Nesse sentido, Migoñ e Vieira (2014) apontaram que texturas finas podem ser relativamente mais resistentes que as variações de granulação grossa em rochas graníticas. Entretanto, esse fator também é influenciado pela mineralogia (ex.: percentual de quartzo) e fatores estruturais.

Ademais, um aspecto importante dos *inselbergs* de Quixeramobim que os diferencia dos *inselbergs* de Quixadá é a tendência de orientação das formas sobretudo na porção mais leste do plúton. Assim, é possível sugerir que a zona de cisalhamento Senador Pompeu, que bordejia o corpo granítico, influenciou na erosão diferencial e modelagem do relevo nesses setores. Isso é reificado uma vez que os *inselbergs* mais próximos à essa zona encontram-se alongados em direção preferencial NE-SW, em conformação à estrutura regional. A influência de fatores estruturais nos plútons graníticos tem sido ressaltada previamente por Maia e Bezerra (2020), entretanto, não foi dado enfoque na escala da morfologia dos *inselbergs*.

## 6. Conclusões

Os resultados desse trabalho permitem concluir que a distribuição e concentração de *inselbergs* nos plúton de Quixadá e Quixeramobim tendem a ser influenciadas por fatores geológicos locais, tais como a faciologia. Nesse sentido, fácies graníticas tendem a favorecer concentração e localização de *inselbergs* nos plútons. Ademais, verificou-se que a avaliação das áreas *core* de *inselbergs* (alta densidade de formas) responde à metodologia do mapeamento individual dos *inselbergs*, cujas delimitações devem considerar a altura e a declividade de suas escarpas.

Padrões morfológicos dos *inselbergs*, associados aos processos de intemperismo nas escarpas são correlacionáveis às características morfométricas. Estas, por sua vez, refletem fatores na evolução das formas. Os relevos com menores alturas são *Nubbins*, devido ao prolongado processo de desintegração do núcleo rochoso por individualização de setores guiados por padrões de fraturas, levando à perda de escarpas. Dentre os *inselbergs*, aqueles caracterizados por dissolução, por sua vez, apresentam médias de altura menores, e especificamente, exibem correlação inversamente proporcional entre o grau de evolução das feições de dissolução e suas alturas.

*Inselbergs* de fraturamento e maciços possuem maiores alturas e escarpas mais íngremes, tanto como resultado da configuração estrutural, no primeiro caso, quanto pela coesão dada pela incipiência do desenvolvimento de microformas, influenciado por diferentes texturas do granito.

**Contribuições dos Autores:** E.L.M. Gomes: Concepção, Metodologia, Validação, Análise formal, Curadoria dos dados, Redação – versão inicial, Redação – revisão e edição, Visualização. R.P. Maia: Concepção, Metodologia, Validação, Análise formal, Recursos, Redação – revisão e edição, Supervisão, Administração do projeto, Aquisição de financiamento. A.S.V. Souza: Concepção, Metodologia, Validação, Análise formal, Redação – versão inicial, Redação – revisão e edição, Visualização. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** O(s) autor(es) agradecem ao financiamento do PROEX/CAPES, processo nº 0348/2021/23038.008387/2021-53: Programa de Excelência Acadêmica e os recursos para pesquisa obtidos pelo projeto *Inselbergs* de Quixadá - Ceará - Brasil: Origem e Evolução Geomorfológica pelo CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico) no Brasil.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem os recursos para pesquisa obtidos pelo projeto *Inselbergs* de Quixadá - Ceará - Brasil: Origem e Evolução Geomorfológica pelo CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico) no Brasil. Nós agradecemos os comentários úteis de dois revisores que nos ajudaram a melhorar o artigo.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ALMEIDA, A. R. de; ULBRICH, H. HGJ; MCREATH, I. O batólito Quixadá–petrologia e geoquímica. **Geologia**, v. 12, n. 1, 1999. Disponível em: <<http://periodicos.ufc.br/geologia/article/view/1376>>. Acesso em: 20 abr. 2023.
2. ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozóica do grupo Ceará (domínio Ceará central, NE Brasil):** da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. 170 p.
3. CAMPBELL, E. M. Granite landforms. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, v. 80, p. 101, 1997.
4. CHIGIRA, M. Rock pillars shaped by columnar joints in granite at Mt. Mizugaki, Central Japan. **Island Arc**, v. 30, n. 1, p. e12424, 2021. DOI: 10.1111/iar.12424

5. Copernicus Digital Elevation Model (DEM) was accessed on DATE from. DOI: <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>.
6. COSTA, F. G. da; PALHETA, E. S. de M. **Geologia e recursos minerais das folhas Quixadá (SB. 24-VB-IV) e Itapiúna (SB. 24-XA-IV)**. CPRM, 2017. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19029>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
7. COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; CLAUDINO-SALES, V. C. Geomorfologia do nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 185-208, jan./mar. 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i1.1447
8. DUNN, M.; HICKEY, R. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. **Cartography**, v. 27, n. 1, p. 9-15, 1998. DOI: 10.1080/00690805.1998.9714086.
9. FLORINSKY, I. V. An illustrated introduction to general geomorphometry. **Progress in Physical Geography**, v. 41, n. 6, p. 723-752, 2017. DOI: 10.1177/0309133317733667.
10. GERRARD, A.J. Landforms on granitic rocks. In: Gerrard A.J., (ed.) **Rocks and Landforms**. Springer Netherlands, Dordrecht. P. 208–230, 1988.
11. GIBBONS, C. L. M. H. Tors in Swaziland. **Geographical Journal**, p. 72-78, 1981. DOI: 10.2307/633410.
12. GOUDIE, A. **Desert Landscapes of the World with Google Earth**. Springer Nature, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15179-8
13. KAMENOV, B. K.; BILLI, P.; MIGOÑ, P. *Inselberg* Landscape of the Bur Area in Southern Somalia. In: BILLI, P. (Ed.). **Landscapes and Landforms of the Horn of Africa: Eritrea, Djibouti, Somalia**. Cham: Springer International Publishing, p. 249-263, 2022. DOI:1007/978-3-031-05487-7\_11.
14. MAIA R.P.; BEZERRA, F. H. R. **Structural geomorphology in northeastern Brazil**. Springer International Publishing, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-13311-5
15. MAIA, R. P., BEZERRA, F. H. R., NASCIMENTO, M. A. L., DE CASTRO, H. S., DE ANDRADE MEIRELES, A. J., & ROTHIS, L. M. Geomorfologia do campo de Inselbergues de Quixadá, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i2.651
16. MAIA, R. P.; DO NASCIMENTO, M. A. L. Relevos graníticos do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i2.1295
17. MIGOÑ, P. Granite landscapes, geodiversity and geoheritage—Global context. **Heritage**, v. 4, n. 1, p. 198-219, 2021. DOI: 10.3390/heritage4010012
18. MIGOÑ, P. Inselberg. In: Goudie, A. S. **Encyclopedia of geomorphology**. Routledge, p. 564-566, 2004b.
19. MIGOÑ, P. Spitzkoppe: the world of granite landforms. In: Migoñ P (ed) **Geomorphological landscapes of the world**. Springer, Dordrecht, pp. 155–162, 2010. DOI: 10.1007/978-90-481-3055-9\_16
20. MIGOÑ, P. Structural control in the evolution of granite landscape. **Acta Universitatis Carolinae: Geographica**, v. 39, n. 1, p. 19, 2004a.
21. MIGOÑ, P. Weathering and Hillslope Development. In: John F. Shroder (ed.) **Treatise on Geomorphology**, Volume 4, pp. 159-178. San Diego: Academic Press, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00075-0
22. MIGOÑ, P. **Granite landscapes of the world**. Oxford University Press Inc., New York, USA, 417p, 2006. DOI: 10.1093/oso/9780199273683.001.0001
23. MIGOÑ, P.; MAIA, R. P. Pedra da Boca, Pai Mateus, and Quixadá—Three Possible Key Geoheritage Sites in Northeast Brazil. **Geoheritage**, v. 12, n. 3, p. 51, 2020. DOI: 10.1007/s12371-020-00473-4
24. MIGOÑ, P.; VIEIRA, G. Granite geomorphology and its geological controls, Serra da Estrela, Portugal. **Geomorphology**, v. 226, p. 1-14, 2014. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.07.027
25. NOGUEIRA, J. F.. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará central**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2004. 123p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/103013>>.
26. PARENTE, C. V.; ALMEIDA, A. R. de; ARTHAUD, M. H. **Geologia da folha Quixeramobim SB. 24-VD-III**. CPRM, 2008. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10464>>. Acesso em: 02 fev. 2023.
27. PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M.; COSTA, F. G.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; GOMES, F. E. M. G.; BESSA, M. D. M. R.; LIMA, A. F.; HOLANDA, J. L. R.; FREIRE, D. P. C. **Mapa Geológico do estado do Ceará**. 2020. CPRM. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20418>. Acesso em: 02 fev. 2023.
28. RÖMER, W. The distribution of *inselbergs* and their relationship to geomorphological, structural and lithological controls in Southern Zimbabwe. **Geomorphology**, v. 72, n. 1-4, p. 156-176, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.05.008
29. RÖMER, W. 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**, v. 86, n. 3-4, p. 349-368, 2007. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.09.008
30. SANTOS, R. L. R.; MELO, D. H. C. T. B.; ROVANI, F. M. Decifrando a ferramenta SLOPE com arquivo raster (MDE) no no ArcGIS. **Revista MundoGEO**. Curitiba: MundoGEO, ano 19, n. 82, jul. 2017. (Conteúdo Complementar, on-line).



Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2017/07/26/artigo-decifrando-a-ferramenta-slope-com-arquivo-raster-mde-noarcgis/>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

31. SILVA, H. F. Alguns aspectos petrograficos e geoquimicos do batolito de Quixada, CE. **Revista brasileira de geociências**, v. 19, n. 1, p. 101-107, 1989.
32. SOUZA, A. S., MAIA, R. P., BEZERRA, F. H., MIGNÓN, P., & SIAME, L. L. Granitic inselberg erosion controlled by dike swarm array in semiarid Brazil. **Geomorphology**, p. 108865, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108865
33. THOMAS, M. F. Some aspects of the geomorphology of domes and tors in Nigeria. **Zeit. Geomorph.** [s.l.], v. 9, 63–81, 1965.
34. TORQUATO, J.R.; ALMEIDA, A.R.; SIDRIM, A.C.G., MARANHÃO, C.M.L.; PARENTE, C. V.; NOGUEIRA, J. A., Neto; ANDRADE, J.F., P; SOUZA, J.V.; NOGUEIRA DE SOUSA, M.J.; ARTHAUD, M.H. Granitóides do Ceará - Região de Quixadá - Solonópple. **Rev. Geol.**, 2(1,2):5-143. 1989.
35. TWIDALE, C. R. Bornhardts, boulders, inselbergs. **Cadernos Laboratory Xeolóxico de Laxe Coruña** 20:347–380, 1995.
36. TWIDALE, C. R. Granitic Inselbergs. In: SHARMA, H. S. (Ed.). **Perspectives in geomorphology**. Concept Publishing Company, p. 127, 1981a.
37. TWIDALE, C. R. Granitic inselbergs: domed, block-strewn and castellated. **Geographical Journal**, p. 54-71, 1981b. DOI: 10.2307/633409
38. VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Boletim. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais. 72p. (INPE-15318-RPE/ 818), 2008.
39. WILLIS, B. Inselbergs. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 24, n. 2, p. 123-129, 1934



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.