

A utilização de técnicas de geoprocessamento aplicado à delimitação do maciço residual da Serra da Aratanha – CE

The use of geoprocessing techniques applied to the delimitation of the residual massive of Serra da Aratanha – CE

Paulo Emanuel Alves Lopes 

Mestrando em Geografia
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
e-mail, paulo.emmanuel@aluno.uece.br

Gislania de Meneses Silva 

Doutoranda em Geografia
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
e-mail, gislania.meneses@aluno.uece.br

Lara Lima Lourenço 

Doutoranda em Geografia
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
e-mail, lara.lourenco@aluno.uece.br

Maria Lúcia Brito da Cruz 

Doutora em Geografia
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
e-mail, mlbc@uece.br

Resumo

Este artigo apresenta uma análise detalhada da delimitação do maciço residual da Serra da Aratanha, uma formação geológica situada a 25km da capital do Ceará, utilizando diversas técnicas de geoprocessamento. A pesquisa integrou o sensoriamento remoto, a modelagem digital do terreno (MDE), as curvas de nível, a análise de imagens em 3D, de declividade e hipsometria. A partir dessas metodologias, foram produzidos mapas temáticos e uma carta de delimitação que permitiram identificar as fronteiras do maciço de forma precisa e eficiente. O estudo destacou a importância dessas ferramentas tecnológicas na compreensão da estrutura geomorfológica complexa da região, que apresenta relevo diversificado e elevado, além de condições ambientais que favorecem a biodiversidade e a disponibilidade hídrica. Os resultados evidenciam ainda a vulnerabilidade ambiental da área, reforçando a necessidade de ações de conservação e manejo sustentável.



<https://doi.org/10.28998/contegeo.10i.24.18033>

Artigo publicado sob a Licença Creative Commons 4.0

Submetido em: 14/08/2024

Aceito em: 31/07/2025

Publicado: 27/10/2025

e-Location: 18033

Assim, o trabalho contribui para o entendimento da formação geológica, reforçando o papel do geoprocessamento na delimitação de regiões de interesse ambiental e geológico.

Palavras-chave: maciço residual; geomorfológica; sensoriamento remoto

Abstract

This article presents a detailed analysis of the delimitation of the residual massif of Serra da Aratanha, a geological formation located 25 km from the capital of Ceará, using several geoprocessing techniques. The research integrated remote sensing, digital terrain modeling (DEM), contour lines, 3D image analysis, slope analysis and hypsometry. Based on these methodologies, thematic maps and a delimitation chart were produced that allowed the identification of the massif's boundaries in a precise and efficient manner. The study highlighted the importance of these technological tools in understanding the complex geomorphological structure of the region, which presents diverse and high relief, in addition to environmental conditions that favor biodiversity and water availability. The results also highlight the environmental vulnerability of the area, reinforcing the need for conservation and sustainable management actions. Thus, the work contributes to the understanding of geological formation, reinforcing the role of geoprocessing in the delimitation of regions of environmental and geological interest.

Keywords: *residual massif; remote sensing; geomorphological*

INTRODUÇÃO

Os Brejos de Altitude do Nordeste brasileiro, também denominados “Serras Úmidas”, constituem formações orográficas que se destacam por sua vegetação perene e elevada umidade, contrastando fortemente com as condições semiáridas e vegetação de caatinga que predominam nas áreas circunvizinhas (Bétard et al., 2007). Essas unidades representam verdadeiras ilhas de umidade.

A Serra da Aratanha, localizada no estado do Ceará, configura-se como um dos brejos de altitude do Nordeste, caracterizando-se como um enclave úmido em meio ao semiárido nordestino. Trata-se de uma montanha isolada, de baixa a média altitude (600-1200m), com áreas de topo relativamente plano (piemonte) e encostas íngremes, conforme descrito por Souza e Oliveira (2006). Sua posição geográfica estratégica e sua morfologia conferem-lhe um papel orográfico determinante na dinâmica atmosférica local, influenciando diretamente os padrões de precipitação, temperatura e cobertura vegetal.

O comportamento climático da serra é profundamente influenciado por sua topografia. Com altitudes superiores a 750 metros, a Serra da Aratanha atua como

uma barreira orográfica que intercepta os ventos úmidos provenientes do oceano Atlântico, desencadeando precipitações orográficas significativas (Magalhães; Zanella, 2011). Essa dinâmica resulta em um regime pluviométrico peculiar, com totais anuais variando entre 900 e 1.300 mm, índices significativamente mais elevados que os das áreas vizinhas. A vertente oriental, exposta aos ventos (barlavento), apresenta microclima úmido e intensa dissecação do relevo, favorecendo a ocorrência da Mata Pluvionebular, enquanto a vertente ocidental (sotavento) manifesta características mais áridas e vegetação adaptada à escassez hídrica.

Compreender e delimitar de forma objetiva o maciço da Serra da Aratanha é essencial para subsidiar estudos ambientais, práticas de gestão territorial e políticas de conservação. Conforme argumenta Fitz (2008), a delimitação de unidades de relevo pode ser realizada com base em parâmetros morfométricos derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), por meio do uso integrado de geotecnologias como o Sensoriamento Remoto (SR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo delimitar o Maciço Residual da Serra da Aratanha através do modelo de análise integrada de variáveis morfométricas; curvas de nível, hipsometria, declividade, rugosidade e imagem em 3D. A utilização dessas ferramentas possibilita não apenas a definição geométrica do maciço, mas também a compreensão detalhada da sua estrutura topográfica, promovendo uma base sólida para investigações ambientais, climáticas e de ordenamento territorial.

Diante do exposto, justifica-se a relevância deste estudo ao propor a delimitação do Maciço Residual da Serra da Aratanha por meio da análise integrada de variáveis morfométricas. Ao aliar tecnologia e conhecimento geográfico, o trabalho busca demonstrar a eficácia da junção de procedimentos técnicos e analíticos na definição precisa de áreas de maciços, contribuindo não apenas para a compreensão da dinâmica física local, mas também para a replicabilidade metodológica em outras regiões. Essa abordagem fortalece a base científica necessária para comparações inter-regionais e subsidia futuras pesquisas nos campos da geomorfologia.

APLICAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DA SERRA DA ARATANHA: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA LITERATURA CIENTÍFICA

O Maciço de Aratanha apresenta uma orientação predominante no sentido NE-SW, refletindo a dinâmica tectônica da região. A Serra da Aratanha, localizada em sua porção sudoeste no município de Maranguape, desempenha um papel significativo como dispersor de drenagem na região. Este maciço é caracterizado por litologias sienograníticas de biotita porfirítica em contato com granitoides porfiríticos de granulação grossa, classificados como quartzo-monzonita e granito, com granulação grosseira e fenocristais microclimas centimétricos (PITOMBEIRA et al., 2021). Essas litologias são representativas das condições tectônicas e de formação da região, que estão intimamente ligadas aos eventos do Neoproterozóico, associados à Orogênese Brasiliiana (PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2006).

O aspecto predominante dos maciços cristalinos é a resistência das rochas ao entorno, influenciada por suas propriedades geomorfológicas, como coesão, macicez e alterabilidade (JATOBÁ, 1993). A Serra é um relevo dissecado cuja gênese resulta da erosão diferencial entre materiais com diferentes resistências, evidenciada por uma ruptura topográfica notável entre o maciço e o piemonte. Essa resistência é determinada pelo grau de metamorfismo que a grande unidade litológica sofreu, bem como pela presença de falhas intrínsecas ao maciço rochoso (SANTOS; BRITO NEVES, 1984).

O relevo da Serra da Aratanha caracteriza-se por uma série de elevações que desempenham um papel crucial na formação de microclimas e na distribuição da vegetação. De acordo com estudos geomorfológicos, as variações altimétricas associadas a essas elevações não apenas influenciam a temperatura e a umidade local, mas também criam condições específicas que afetam diretamente a vegetação (MARTINS et al., 2013).

Essas elevações promovem um efeito orográfico que pode levar à condensação de umidade atmosférica e à formação de microclimas mais úmidos em áreas elevadas, o que favorece a retenção de água e a diversidade ecológica (ALMEIDA et al., 2010). A interação entre o relevo e o clima é um fator essencial para a manutenção de uma vegetação rica e variada, mesmo em um ambiente semiárido. A capacidade do relevo em criar zonas de sombra e reter água durante períodos secos contribui para a existência de áreas com uma vegetação um pouco mais densa e

diversificada, em comparação com as regiões planas e de baixa altitude, que são mais severamente impactadas pela aridez (SANTOS et al., 2015).

O maciço exibe evidências muito claras de oscilações climáticas úmidas e secas. Nas fases úmidas, ocorrem processos que levam à dissecação do relevo, formando feições variadas como colinas, cristas e lombadas alongadas. Durante os períodos secos, predominam processos de morfogênese mecânica e o desenvolvimento de superfícies sedimentares, no qual são observados na cimeira e nos flancos da serra, que foram retrabalhadas durante as fases úmidas (CEARÁ, 2002).

De acordo com o Plano de Manejo da APA (SEMACE, 2015), sua implementação visa garantir a conservação dos recursos hídricos, da biodiversidade e das paisagens naturais, ao mesmo tempo em que promove o uso racional dos recursos naturais pelas populações tradicionais e comunidades do entorno.

A APA foi criada com o propósito de harmonizar a preservação ambiental com as demandas socioeconômicas das comunidades locais, essa unidade de conservação representa um modelo de gestão que busca integrar a proteção dos ecossistemas naturais com o desenvolvimento sustentável da região (CEARÁ, 2015).

Nesse contexto, a integração entre as políticas de conservação e os avanços na cartografia geomorfológica tem se mostrado essencial para uma gestão ambiental mais eficiente e fundamentada. O uso de SIGs e Modelos Numéricos de Terreno (MNT) contribui diretamente para o mapeamento preciso das feições do relevo e para a identificação de áreas prioritárias para a conservação, subsidiando ações de manejo e ordenamento territorial.

A partir da segunda metade do século XX, a cartografia geomorfológica experimentou uma significativa transformação metodológica com a incorporação de avançadas técnicas computacionais. Essa evolução tecnológica, aliada ao desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), revolucionou a forma de representação e análise do relevo. Paralelamente, a utilização de dados obtidos por sensoriamento orbital permitiu a criação de Modelos Numéricos de Terreno (MNT) com níveis de precisão inéditos, proporcionando um detalhamento sem precedentes das unidades geomorfológicas.

As análises geomorfológicas permitem que pesquisadores, técnicos e autoridades públicas enfrentem as questões de gestão territorial com diferentes

abordagens e soluções, considerando detalhadamente as características do meio físico, visando mitigar os impactos humanos, os perigos e riscos geológicos (Mandarino et al., 2021).

No âmbito do geoprocessamento, a integração e análise de dados geográficos, incluindo as correlações espaciais e temporais entre múltiplas camadas de informação, são viabilizadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Aragão, 2020). Entre as plataformas disponíveis, o QGIS se destaca como solução de código aberto amplamente adotada na comunidade acadêmica e profissional, pois reúne ferramentas avançadas para o reconhecimento de padrões espaciais e a identificação de agrupamentos de características homogêneas.

Paralelamente, a crescente disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) transformou a capacidade de representação quantitativa do relevo, permitindo investigar, com maior precisão, a influência da topografia na formação dos solos e na evolução da paisagem (Capolupo, 2021; Guha et al., 2023). Esses avanços combinados, SIG robustos e MDEs de alta qualidade, têm ampliado significativamente o potencial de estudos ambientais, ao oferecer bases analíticas sólidas para compreender processos geomorfológicos e subsidiar o planejamento territorial.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA MAPEAMENTO E DELIMITAÇÃO DO MACIÇO DE ARATANHA

A metodologia adotada neste trabalho é proposta por Barbosa e Furrier (2015) e o modelo de Goes e Xavier da Silva (1996), que propõe uma abordagem estruturada em três etapas complementares: pré-geoprocessamento, geoprocessamento e pós-geoprocessamento. Na etapa de pré-processamento, procedeu-se à obtenção de dados bibliográficos por meio de revisão de monografias, teses, dissertações, artigos científicos e periódicos, com o objetivo de selecionar estudos relacionados à caracterização e delimitação da Serra da Aratanha.

Posteriormente, para a análise espacial da área de estudo, adotou-se uma sequência metodológica bem definida para a aquisição e processamento de imagens. As imagens de satélite foram obtidas a partir da base de dados Copernicus, utilizando a plataforma Copernicus Data Space Ecosystem (2023), que disponibiliza um amplo acervo de dados orbitais, incluindo produtos pré-processados. Selecionou-se o

Copernicus GLO-30 DSM (Digital Surface Model), um modelo digital de superfície de alta precisão, disponível no formato TIF com 32 bits (float).

Desenvolvido no âmbito do programa Copernicus em parceria entre a União Europeia e a Airbus Defence and Space, esse produto apresenta resolução espacial de 30 metros e foi gerado a partir de dados de interferometria radar da missão TanDEM-X, uma colaboração entre a Agência Espacial Alemã (DLR) e a Airbus.

Entre as diversas geotecnologias disponíveis para o tratamento de dados espaciais, destaca-se o software QGIS (Quantum GIS), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto e distribuição gratuita, licenciado sob a GNU General Public License.

De acordo com Almeida (2011), o QGIS viabiliza a realização de consultas espaciais, análise interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, busca e visualização de atributos, bem como a aplicação de simbologia em dados vetoriais e raster. O software é compatível com bancos de dados geográficos como PostGIS, SpatiaLite e SQL Anywhere, além de reconhecer diversos formatos de arquivos por meio da biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library). Para o processamento dos dados, utilizou-se o software QGIS (versão 3.40.5).

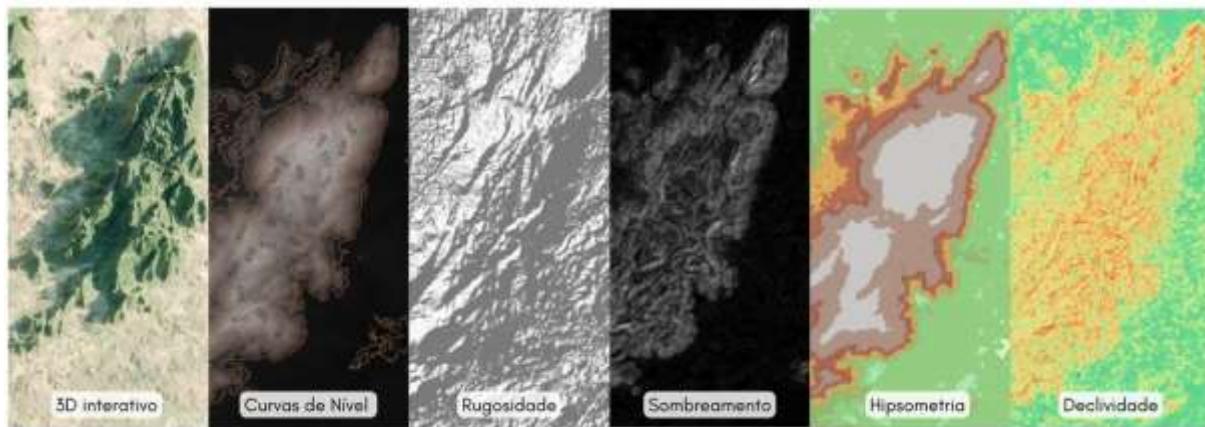
A análise digital desenvolveu-se em três fases sequenciais: primeiramente, realizou-se a composição de um mosaico contínuo a partir das imagens individuais, assegurando a cobertura integral da área investigada; em seguida, procedeu-se à sobreposição desse mosaico com camadas vetoriais em formato shapefile contendo os limites municipais da região da Serra da Aratanha e na terceira fase foi feito um recorte espacial para a delimitação precisa da área de estudo.

Na etapa subsequente de pós-processamento, os dados foram integrados e analisados mediante técnicas de geoprocessamento e modelagem digital do terreno. Essas análises permitiram a caracterização detalhada do relevo, com ênfase na identificação de feições geomorfológicas típicas de maciços residuais, particularmente topos arredondados e vertentes escarpadas.

A abordagem metodológica adotada, combinando ferramentas de geoprocessamento com análise espacial especializada, proporcionou resultados robustos e confiáveis para a investigação das características geomorfológicas da serra, oferecendo subsídios relevantes para a compreensão de sua evolução paisagística. Como demonstrado na Figura 1, esse modelo permitiu a extração

sistemática de dados altimétricos e a subsequente elaboração de mapas temáticos. A partir do MDE processado no QGIS, foram realizados procedimentos operacionais específicos para a obtenção de curvas de nível com equidistância regular; a geração de mapas de declividade; e a produção de perfis topográficos representativos.

Figura 1 – Procedimentos operacionais



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Esses produtos cartográficos, derivados diretamente do modelo digital, possibilitaram uma análise quantitativa e qualitativa do relevo da Serra da Aratânia, destacando-se suas principais feições geomorfológicas, como vertentes íngremes, topos convexos e áreas de transição para a depressão sertaneja. A precisão do MDE utilizado, com resolução espacial de 30 metros, garantiu a confiabilidade dos resultados obtidos nessas análises topográficas.

Todos os dados utilizados no estudo foram detalhados e expostos através do quadro abaixo para uma melhor compreensão:

Quadro 1 – Dados usados no presente estudo.

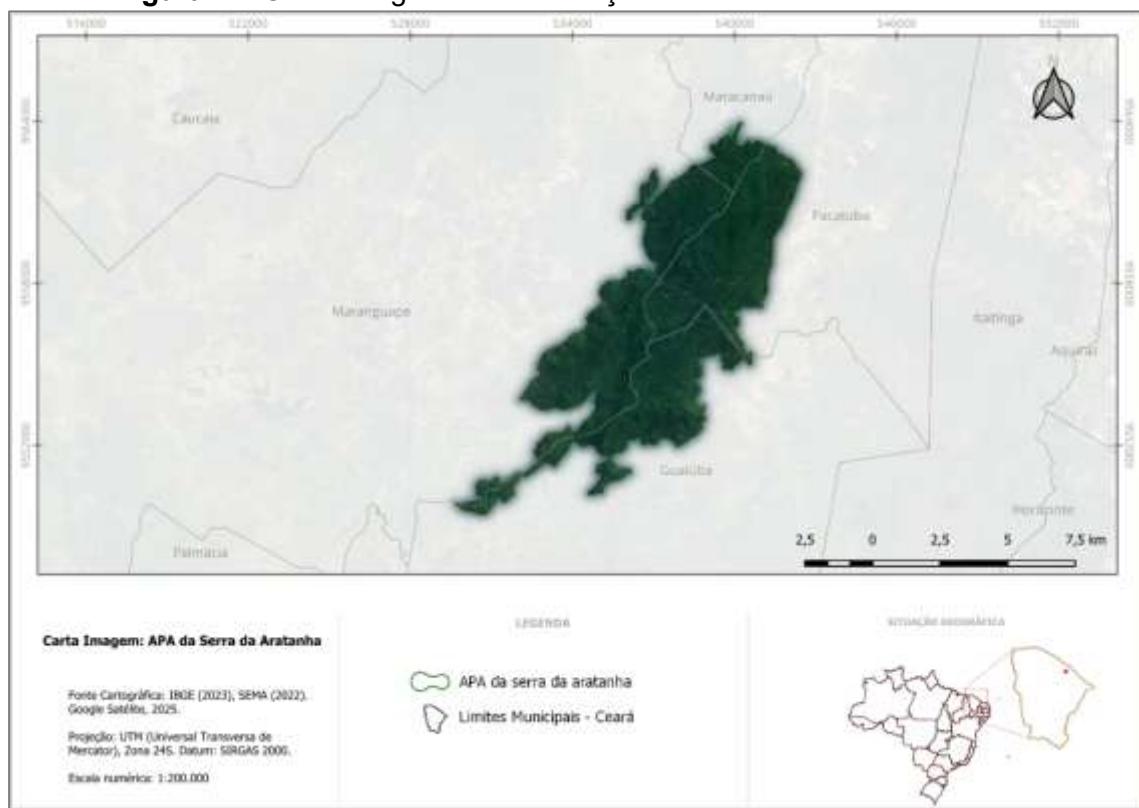
Bases Cartográficas	- Área de Preservação Ambiental - Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA, 2022) - Limites Estaduais e Federais - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). - Sistemas de Drenagens - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).
Produtos de Sensoriamento Remoto	- Imagem QuickMapServices - Copernicus GLO DSM 30m
Softwares	- QGIS versão 3.40.5 - Blender 4.1: ferramenta que permite a criação de conteúdos em 3D

Fonte: Autores (2025).

MACIÇO DE ARATANHA: DEFINIÇÃO DE LIMITES E CARACTERÍSTICAS A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A delimitação do maciço teve como base a Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra de Aratanha (figura 2), conforme o Decreto Estadual n.º 24.959/98, estabelecida nos municípios de Maranguape, Pacatuba, Guaiúba e Maracanaú, compreende uma área de 6.448,29 hectares configurando-se como Unidade de Conservação de Uso Sustentável, conforme disposto no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) através da Lei Federal nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000).

Figura 2 – Carta Imagem de Localização da APA da Serra da Aratanha



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Ao adotar a metodologia proposta por Barbosa e Furrier (2015), esta pesquisa recorreu à aplicação do terceiro táxon para a análise do relevo, priorizando a integração de imagens sombreadas, imagens de satélite e cartas topográficas como instrumentos essenciais na identificação dos padrões morfológicos. Essa abordagem permitiu a delimitação precisa de polígonos representativos das unidades morfoesculturais da área estudada.

O primeiro parâmetro estabelecido para a delimitação da Serra da Aratanha consistiu na utilização de imagens de satélite do Google Earth aplicadas ao software Blender a fim de analisar a área em formato 3D interativo, onde é possível observar as nuances e peculiaridades da elevação do terreno, como mostra a figura 3.

Figura 3 – Serra da Aratanha em 3D



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

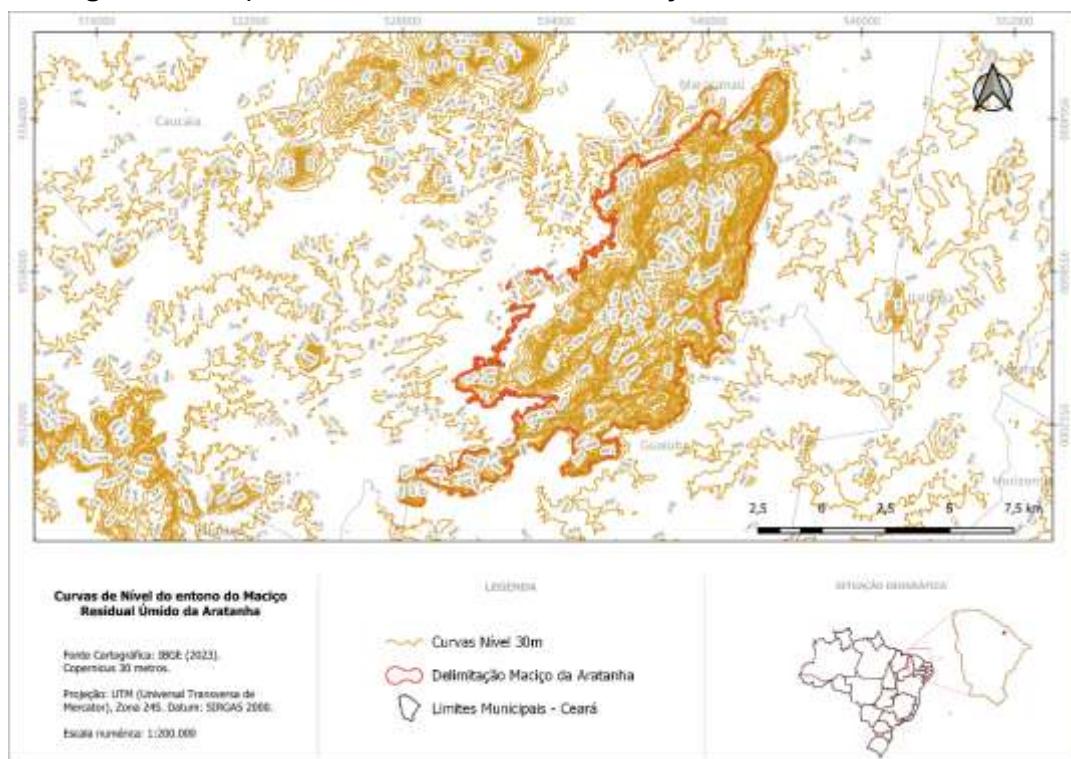
A imagem de satélite da Serra foi incorporada ao ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como base cartográfica para auxiliar nas análises morfométricas e na interpretação visual da paisagem. Sua principal função foi validar visualmente as feições geomorfológicas previamente identificadas nos produtos derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE), além de auxiliar na distinção entre diferentes formas de relevo, cobertura vegetal e padrões de uso da terra.

A sobreposição da imagem de satélite com os demais produtos geoespaciais — como curvas de nível, modelos de relevo sombreado (hillshade), mapas de rugosidade, hipsometria e declividade — permitiu uma análise mais integrada e precisa das unidades de relevo. Essa integração se mostra especialmente relevante em áreas de relevo acidentado, como é o caso da Serra da Aratanha, onde a diversidade de feições impõe desafios à delimitação morfométrica. Ao combinar diferentes camadas de informação, foi possível atenuar as limitações individuais de cada dado, fortalecendo a interpretação final.

Além disso, as imagens do Google Earth atreladas a delimitação em 3D contribuíram significativamente para a leitura integrada entre os aspectos morfológicos. Embora não constituam dados morfométricos diretos, essas imagens desempenharam papel complementar essencial na validação das análises, principalmente na etapa de refinamento da interpretação visual.

O segundo produto geoespacial empregado na pesquisa foi a extração da curva de nível correspondente à cota altimétrica de 140 metros (figura 4), a partir do MDE disponibilizado pela missão *Copernicus DEM*, com resolução espacial de 30 metros. A escolha dessa cota fundamenta-se na identificação da transição entre o sopé da serra e os patamares mais elevados, configurando-se como um importante marcador morfoescultural. Tal delimitação permitiu isolar com maior precisão a área de estudo, conferindo maior robustez à caracterização geomorfológica da Serra da Aratanha.

Figura 4 – Mapa das curvas de níveis do Maciço Residual úmido da Aratanha



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A extração da isolinhas possibilitou a definição dos limites altimétricos da base da serra, permitindo uma separação espacial mais precisa entre sua morfologia e as áreas adjacentes. A partir dessa delimitação, foi possível aprofundar a análise da

estrutura topográfica da região, abordando a distribuição altitudinal, os gradientes do relevo e as principais feições geomorfológicas.

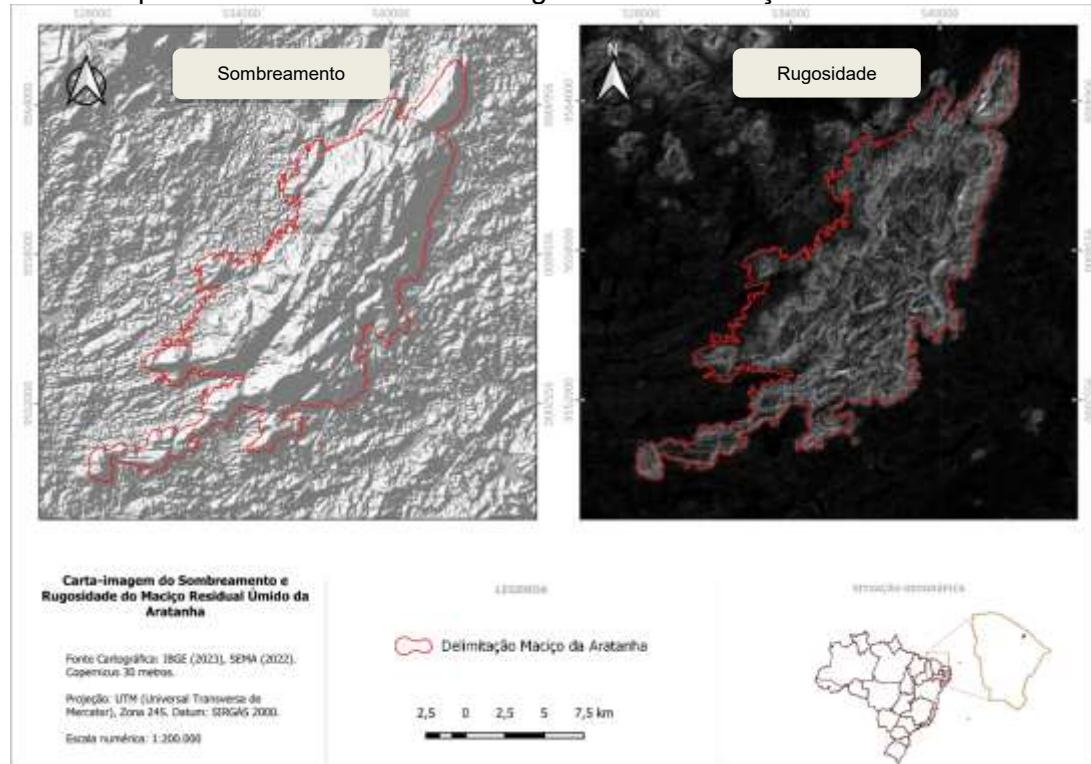
O terceiro produto geoespacial utilizado nesta pesquisa foi o índice de rugosidade do terreno (figura 5), gerado a partir do MDE, um parâmetro morfométrico essencial para compreender a heterogeneidade superficial e a complexidade do relevo. A rugosidade representa a variação de elevação entre uma célula central e suas células vizinhas, permitindo quantificar o grau de irregularidade da superfície. Valores mais elevados indicam a presença de escarpas, cristas e variações topográficas acentuadas, enquanto valores reduzidos correspondem a áreas planas ou suavemente onduladas.

O quarto produto analisado foi a imagem sombreada do terreno (*hillshade*), também gerada a partir do MDE (figura 5). Essa representação, permite realçar as formas do terreno e facilita a interpretação visual das estruturas. A *hillshade* evidencia com clareza o entalhamento dos canais de drenagem, revelando a intensa ação erosiva e a incisão fluvial que esculpem a superfície.

A análise dessa imagem também permitiu identificar nitidamente dois compartimentos geomorfológicos principais: a Depressão Sertaneja, marcada por altitudes mais baixas e relevo suavemente ondulado; e o Maciço Residual, caracterizado por escarpas elevadas e vertentes abruptas. Essa compartimentação é reforçada pelas sombras projetadas na imagem, que acentuam os contrastes topográficos e contribuem para uma visualização mais detalhada da estrutura da paisagem.

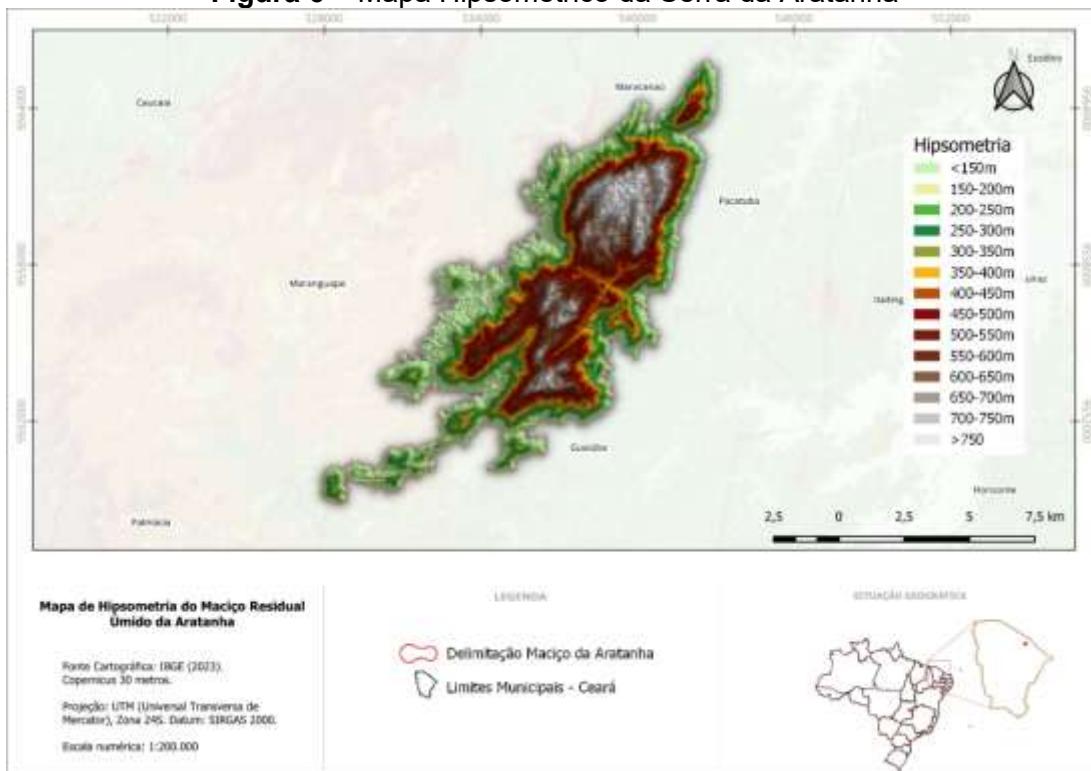
O quinto produto analisado nesta pesquisa foi a carta hipsométrica (Figura 6). Esse documento cartográfico representa a variação altitudinal da superfície terrestre por meio da classificação do relevo em diferentes faixas de altitude, associadas a uma escala cromática graduada. A carta hipsométrica possibilitou a avaliação de diversos parâmetros morfométricos da área de estudo, com destaque para a distribuição altimétrica e a quantificação percentual das áreas correspondentes a cada classe de elevação. Essa abordagem permitiu identificar com precisão as zonas de maior e menor altitude, favorecendo a compreensão da organização vertical do relevo e a diferenciação dos compartimentos morfoestruturais.

Figura 5 – Mapa do Sombreamento e da Rugosidade do Maciço residual úmido da Aratanha



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 6 – Mapa Hipsométrico da Serra da Aratanha



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As classes de altitude foram definidas conforme a tabela a seguir, e suas respectivas áreas calculadas em quilômetros quadrados (km^2) e porcentagem do total.

Tabela 1 – Distribuição das classes altimétricas

Altimetria (m)	Área (km^2)
150-200	0,5
200-250	18,2
250-300	12,0
300-350	8,8
350-400	7,0
400-450	6,5
450-500	6,9
500-550	7,7
550-600	6,1
600-650	4,9
650-700	5,5
700-750	3,5
>750	1,9
Total Geral	89,4

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise dos dados revela que a área de estudo possui relevo acidentado, com predominância de altitudes entre 200 e 350 metros, sendo particularmente expressivas as faixas de 200-250m ($18,2 \text{ km}^2$) e 250-300m ($12,0 \text{ km}^2$).

Diferentemente do contexto regional semiárido, o maciço apresenta condições microclimáticas significativamente mais úmidas, fenômeno explicado por três fatores principais, sendo eles, o efeito orográfico decorrente da altitude (com cotas superiores a 750m), o posicionamento NNE-SSW perpendicular aos ventos úmidos oceânicos, e a relativa proximidade do litoral (cerca de 40km). Esta combinação gera um ambiente com precipitações mais frequentes e intensas, menor amplitude térmica diária e maior persistência de umidade atmosférica.

As implicações deste regime climático diferenciado se manifestam em diversos aspectos geoambientais. Nos solos, observa-se maior espessura dos perfis pedológicos e menor susceptibilidade à salinização. O regime hidrológico apresenta maior capacidade de infiltração e recarga de aquíferos. A cobertura vegetal, por sua vez, se mostra mais densa e biodiversa em comparação com as áreas circunvizinhas, atuando como importante agente moderador dos processos erosivos.

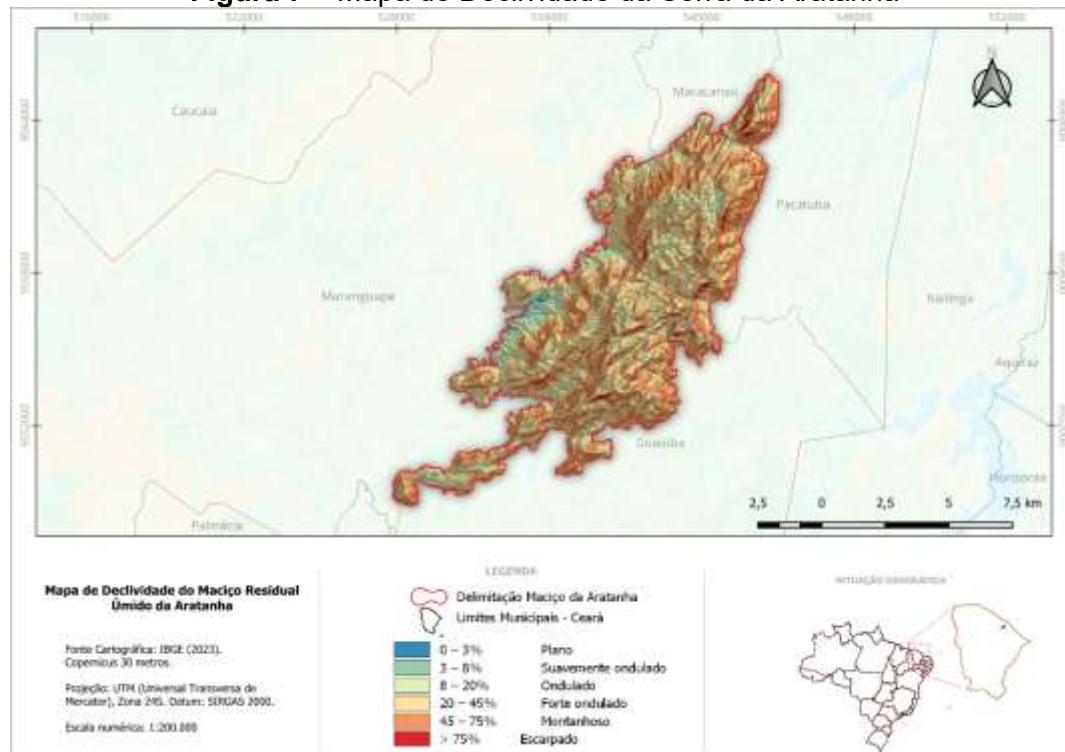
Nas cotas acima de 300 metros, os processos geomorfológicos adquirem particular intensidade. A combinação de declividades acentuadas (frequentemente

superiores a 30°), ação pluvial concentrada e decomposição acelerada das rochas favorece a ocorrência de feições deposicionais características, como fluxos de detritos em áreas de declividade suavizada. A presença de grandes blocos rochosos com evidências de movimentos de massa passados atesta a dinâmica intensa que caracteriza estas áreas mais elevadas.

Dessa forma, a interação entre o relevo e o clima no maciço resulta em uma paisagem diversificada com um claro efeito orográfico que favorece a umidade e a diversidade ecológica em áreas elevadas. O ciclo de oscilações climáticas úmidas e secas molda a morfologia do relevo, criando uma superfície irregular caracterizada por feições variadas como colinas e lombadas. A erosão e a deposição de sedimentos refletem uma superfície que evoluiu de uma elevação mais uniforme para uma topografia mais complexa.

O sexto produto analisado nesta pesquisa foi a declividade (figura 7), que mensura a inclinação das superfícies topográficas e auxilia na delimitação do maciço.

Figura 7 – Mapa de Declividade da Serra da Aratanga



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A declividade do terreno é um fator determinante na avaliação do uso da terra, impactando diretamente a eficiência agrícola, a preservação do solo e o manejo

ambiental. Para uma análise mais precisa, adotou-se a classificação da Embrapa (1978), que categoriza o relevo com base na inclinação, oferecendo insights sobre os desafios e potencialidades de cada área.

A classificação adotada dividiu o terreno em classes padronizadas de declividade: planas, suave-onduladas, onduladas, forte-onduladas, montanhosas e escarpadas. Os resultados obtidos revelam a distribuição espacial, área e percentual de cada classe na Serra da Aratanha.

Na tabela a seguir tem a distribuição dessas classes de declividade juntamente com o tipo de relevo característico para cada uma e sua área em km².

Tabela 2 – Distribuição das classes de declividade para a serra da Aratanha

Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	%
0-3	Plano	0,50	0,60
3-8	Suave-ondulado	2,94	3,4
8-20	Ondulado	14,14	16,3
20-45	Forte-ondulado	39,25	45,4
45-75	Montanhoso	26,19	30,3
>75	Forte-montanhoso	3,47	4

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

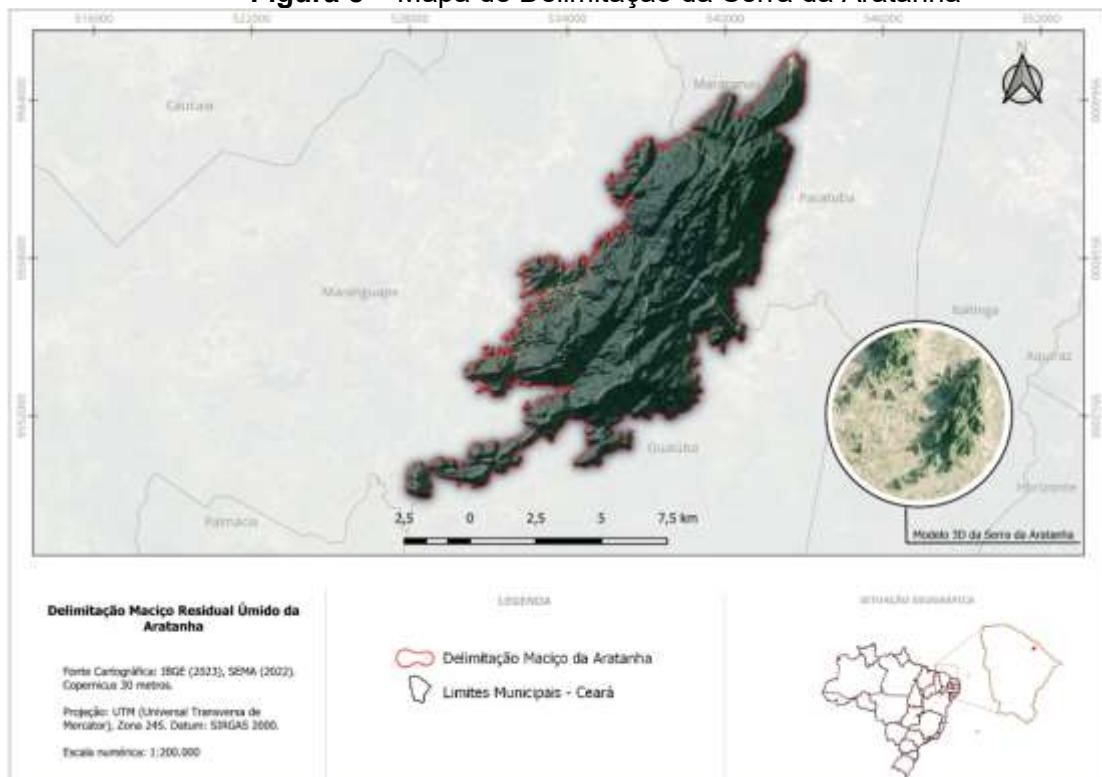
O relevo da região apresenta variações marcantes, com predominância de declividades entre 20-45% (45,4%) e 45-75% (30,3%), típicas de terrenos ondulados a montanhosos, comuns em maciços residuais úmidos. Essa configuração está ligada às rochas locais, como granitos moscovita-biotita e tonalitos biotita (TORQUATO et al., 1986). A rugosidade do terreno, que mostra a variação da topografia (RILEY; DEGLORIA; ELLIOT, 1999), é mais acentuada nos municípios de Pacatuba e Guaiúba, onde as encostas muito íngremes, com mais de 75% de inclinação, ocupam 4% da área e são classificadas como escarpas.

Por outro lado, as áreas planas (0-3%) ocupam apenas 0,6% (0,50 km²), localizadas em fundos de vales e patamares erosivos. Zonas suave-onduladas (3-8%) correspondem a 3,4% (2,94 km²), geralmente próximas a cursos d'água ou contatos litológicos. Classes onduladas (8-20%), com 16,3% (14,14 km²), formam faixas intermediárias ao redor dos núcleos elevados, com dissecação moderada.

Por fim, a classe forte-ondulada (20-45%) é a mais extensa, ocupando 45,4% (39,25 km²) e predominando nas encostas centrais, refletindo relevo de alta energia e erosão diferencial sobre rochas resistentes, como biotita granodioritos e monzogranitos.

Por fim, o sétimo produto gerado nesta pesquisa foi a delimitação da Serra da Aratanha (figura 8), integrando dados cartográficos e geoespaciais gerados nas etapas anteriores. Foram combinadas curvas de nível, sombreamento (hillshade), rugosidade, hipsometria e declividade para identificar com precisão os limites naturais da serra. Essa análise conjunta permitiu criar um mapa final que representa fielmente os contornos da Serra da Aratanha, com base em critérios técnicos e geomorfológicos.

Figura 8 – Mapa de Delimitação da Serra da Aratanha



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Essa abordagem multidimensional permitiu uma identificação mais acurada das descontinuidades no relevo, destacando os contornos geomorfológicos característicos da Serra da Aratanha em relação às áreas adjacentes. A análise topográfica evidenciou a conformação típica de um maciço residual úmido, com relevo isolado, altitudes elevadas e grande importância ecológica e climatológica para a região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A delimitação do Maciço Residual da Serra da Aratanha, com base em variáveis morfométricas e técnicas de geoprocessamento, revela-se uma etapa fundamental

para o entendimento da organização espacial e funcional dessa unidade de relevo singular no contexto do semiárido cearense. A Serra da Aratanha, enquanto brejo de altitude, constitui um verdadeiro refúgio de umidade e biodiversidade, apresentando características climáticas que contrastam fortemente com seu entorno imediato.

A utilização do Blender 3D na representação de modelos geomorfológicos evidencia-se como uma ferramenta inovadora e eficiente na visualização tridimensional do relevo, permitindo uma compreensão mais precisa e interativa das formas terrestres. Ao integrar dados topográficos, como curvas de nível e Modelos Digitais de Elevação (MDE), com recursos avançados de renderização e manipulação espacial, o Blender possibilita a criação de modelos detalhados que potencializam análises integradas.

Assim, as análises de curvas de nível, hipsometria, declividade, rugosidade, modelos de sombreamento e imagens em 3d permitiram não apenas delinear os limites físicos do maciço com maior precisão, mas também fornecer subsídios técnicos e científicos para ações de gestão ambiental e planejamento territorial.

A ausência de uma delimitação geomorfológica, com procedimentos metodológicos claros até o momento evidenciam uma lacuna importante no conhecimento aplicado à conservação da Serra da Aratanha. Este estudo, portanto, contribui com uma base cartográfica e analítica que pode orientar futuras pesquisas, iniciativas de conservação da biodiversidade, e políticas públicas voltadas à proteção e uso sustentável desse território.

Dessa forma, ressalta-se a importância de integrar abordagens morfométricas e geotecnológicas à análise do espaço geográfico, especialmente em áreas como os brejos de altitude. A continuidade desses estudos, associada à implementação de ações práticas, é essencial para garantir a preservação dos serviços ecossistêmicos oferecidos por essas paisagens únicas e para mitigar os impactos das transformações socioeconômicas sobre o equilíbrio ambiental da região.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. L. S. **Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao zoneamento ambiental:** uma análise de ferramentas e potencialidades. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ALMEIDA, E. T., MORAES, D. A., LIMA, R. J., SILVA, M. L. Impactos da variabilidade espacial e temporal da umidade em áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 45-63, 2010.

ARAGÃO, H. G. Development of a geographic Web information system (Web SIG) for the basic sanitation area using free technologies. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 6835-6840, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-108>.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. (2015). Caracterização geomorfológica e morfométrica para averiguação de atividade tectônica. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 123–149.

BÉTARD, F. et al. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semiárido do nordeste brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Revista Mercator**, v. 6, n. 12, 2007, p. 107-126. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

BRANDÃO, R. L. **Mapa geológico da região metropolitana de Fortaleza**. Texto explicativo. Fortaleza: CPRM, 1995.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 1.

CAPOLUPO, A. Melhorando a precisão do DEM global de diferenças (DoD) no Google Earth Engine para análise de detecção de mudanças 3D. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 14, p. 12332–12347, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3130063>.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente – SEMA / Superintendência do Meio Ambiente – SEMACE. **Área de Proteção Ambiental da Serra da Aratanha**. Fortaleza: 2002.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de Manejo da APA da Serra da Aratanha**. Fortaleza: SEMACE, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classificação de declividade e sua aplicação em levantamentos de solos**. Rio de Janeiro, 1978. (Boletim Técnico, n. 3).

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 112 p.

GUHA, S.; KAUSHAL, R. K.; JAIN, V. Ausência de planícies de inundação bem desenvolvidas ao longo dos rios de várzea e controles das condições hidrogeomórficas no Ghat Ocidental, Índia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 48, p. 259–281, 2023. John Wiley and Sons Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5484>.

JATOBÁ, L. **A participação da rocha na morfogênese do relevo**. Cooperação Cultural, UFRN: Recife, 1993.

- MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da região metropolitana de Fortaleza. **Revista Mercator**, v. 10, n. 23, p. 129 a 145, 2011.
- MANDARINO, A., LUINO, F., TURCONI L., FACCINI, F., 2021. Urban geomorphology of a historical citystraddling the Tanaro River. **Journal of Maps** 17, 4, p. 29-41, DOI:10.1080/17445647.2020.1746420.
- MARTINS, P. T., COSTA, C. E., FERREIRA, S. L. **Aspectos geomorfológicos e sua influência na distribuição da vegetação**. Geomorfologia e Biodiversidade, v. 19, n. 2, p. 89-105, 2013.
- MEDEIROS, L. R. de; SANTOS, D. A. dos. Modelos Digitais de Elevação: Métodos de Geração e Aplicações. **Revista Brasileira de Cartografia**, 70(3), 573-589. 2018. DOI: 10.1590/0034-7191-2018-0304.
- PEULVAST, J. P. CLAUDIO SALES, V. Reconstruindo a evolução de uma margem continental passiva: um estudo morfogenético do Nordeste brasileiro. In: Silva, J. B.; Lima, L. C.; Elias, D. (Orgs.), **Panorama da Geografia Brasileira**, São Paulo: Annablume, 2006. p. 47-99.
- PITOMBEIRA, J. P. A.; AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A. A new record of continental arc magmatism in the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): evidence from the Pacatuba Maranguape Complex. **Precambrian Research**, v. 359, p. 1-28, 2021.
- RILEY, S. J.; DEGLORIA S. D.; ELLIOT, R. A Terrain Ruggedness Index that quantifies topographic heterogeneity. **intermountain Journal of sciences**, v. 5, n. 1-4, p. 23-27, 1999.
- SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B. A Província Borborema. In: ALMEIDA, F. M.; HASSUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.
- SANTOS, F. R., ALMEIDA, E. T., SILVA, A. F. Efeitos do relevo na vegetação e no microclima da caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 38, n. 3, p. 543-558, 2015.
- SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente – Ceará. Plano de Manejo da APA da Serra da Aratanha. Decreto nº 24.959, de 05 de junho de 1998. Ações de manejo, conservação, zoneamento e uso sustentável. Fortaleza, 2015.
- SOUZA, M. J. M.; OLIVEIRA, V. P. V. Os enclaves úmidos e subúmidos do semiárido do nordeste brasileiro. **Mercator (Fortaleza)**, Ano 05, n. 09. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.
- TORQUATO, J. R. F.; PEDREIRA, L. H.; KAWASHITA, K.; BARBOSA, H. S. P. **Rb/Sr and K/Ar determinations of Monguba and Pendanga rocks, Ceará**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, 1986, Goiânia – GO. Anais... Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 1986.