

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ALINE VARGAS DE MORAES

**TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO PARA O LEVANTAMENTO DE FEIÇÕES
GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
BODOQUENA/MS**

AQUIDAUANA, MS

2025

ALINE VARGAS DE MORAES

**TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE
SENSORIAMENTO REMOTO PARA O LEVANTAMENTO DE FEIÇÕES
GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA
BODOQUENA/MS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Geografia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia do Câmpus de Aquidauana, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação da Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho.

AQUIDAUANA, MS

2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALINE VARGAS DE MORAES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Geografia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia do Câmpus de Aquidauana, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação da Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho.

Resultado:

Aquidauana, 27 de junho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho.

UFMS/CPAQ

Componente da Banca: Prof. Dr.: Sandro Sidnei Vargas de Cristo

Examinador externo: UFT

Componente da Banca: Prof. Dr.: Vitor Matheus Bacani.

Examinador interno: UFMS/CPAQ

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por Sua presença constante em minha vida. Em cada etapa desta jornada, pude sentir Sua bondade, misericórdia e cuidado, Foi Ele quem me sustentou e guiou até aqui.

À minha mãe, exemplo de amor, força e dedicação, minha eterna gratidão. À minha família, especialmente aos meus irmãos, à minha vó Ruth Mercado Suárez e à minha tia Pérsida Vargas Mercado, pelo carinho, apoio e orações que me acompanharam durante todo o percurso do mestrado.

Ao meu esposo, Luiz Felipe Oviedo das Neves, agradeço profundamente por estar ao meu lado em todos os momentos. Sua paciência, apoio incondicional e compreensão diante das minhas ansiedades foram fundamentais para que eu conseguisse seguir adiante.

Sou imensamente grata aos meus amigos Cleudinéia Santos Domingos Ruiz, Denilson Rocha dos Santos, Rafael de Souza Vieira, Donizeth Ferreira e Adilson Cardoso, por estarem presentes nesta caminhada. Em especial, à Cleudinéia, que foi um presente de Deus em minha vida. Sua amizade, cuidado e presença constante foram respostas às orações da minha mãe, que mesmo distante mais de 300 km, encontrou consolo em saber que alguém cuidava de mim com tanto carinho.

Também quero destacar o Denilson, que, com sua generosidade e apoio incondicional, foi uma verdadeira bênção em minha vida. Sua presença constante, assim como a de sua família, me trouxe força, acolhimento e tranquilidade nos momentos mais desafiadores dessa jornada.

Agradeço também a todos que oraram por mim desde a graduação, de modo especial, à família da Helena Regina Barizan de Oliveira e aos irmãos da Igreja Evangélica Neo Testamentária em Corumbá, bem como à Igreja Batista Central em Aquidauana, que sempre me acolheram com orações, palavras de fé e encorajamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha gratidão pela concessão da bolsa de estudo, que viabilizou minha dedicação à pesquisa.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), pela autorização e apoio à realização desta pesquisa no Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

Por fim, deixo minha sincera gratidão à minha orientadora, Prof.^a Dra. Elisângela Martins de Carvalho, que foi mais do que uma orientadora, uma amiga presente e

compreensiva, sempre disposta a ajudar, desde os tempos da graduação até a conclusão desta dissertação.

A todos vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

Esta pesquisa utilizou técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto para o levantamento de feições geológicas e geomorfológicas do Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSBq), Mato Grosso do Sul. A partir da interpretação espectral e morfológica das imagens Landsat 8 e do Modelo Digital de Terreno, foram identificadas e mapeadas as principais unidades geológicas, destacando-se a predominância da Formação Bocaina, que ocupa cerca de 95,8% da área do parque, seguida pelos Depósitos Aluvionares (0,91%), Formação Cerradinho (2,3%) e Formação Xaraiés (0,91%). Após a delimitação de zonas homólogas baseadas em padrões de relevo e drenagem, a área ocupada pela Formação Bocaina foi ajustada para 97,97%, com redução significativa da Formação Cerradinho para 0,11%. A análise geológica evidenciou a complexidade estrutural da área, com presença de falhas tectônicas que explicam a sobreposição e exposição de diferentes litologias, incluindo folhelhos e filitos não previstos nos mapas oficiais. A caracterização geomorfológica ressaltou a influência das litologias calcárias na modelagem do relevo, com destaque para feições cársticas como carste labiríntico e poligonal, lapiás e relevos ruiformes, além de escarpas e vales profundos associados à Serra da Bodoquena. A aplicação de aberturas topográficas permitiu a identificação precisa de cristas, vales e escarpas, contribuindo para a caracterização do relevo. O trabalho de campo realizado na Trilha Dente de Cão validou a presença de lapiás em diferentes estágios evolutivos, reforçando a integração entre dados remotos e observações in loco. Estes resultados ampliam e detalham os mapeamentos geológicos e geomorfológicos prévios, fornecendo subsídios essenciais para a revisão do plano de manejo e o zoneamento ambiental do parque, com foco na conservação e uso sustentável do Parque.

Palavras – Chave: Processamento Digital de Imagens, geologia e geomorfologia, Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

ABSTRACT

This research employed digital image processing techniques on remote sensing data to map geological and geomorphological features of the Serra da Bodoquena National Park (PNSBq), Mato Grosso do Sul, Brazil. Through spectral and morphological interpretation of Landsat 8 imagery and the Digital Terrain Model, the main geological units were identified and mapped, highlighting the predominance of the Bocaina Formation, which covers approximately 95.8% of the park area, followed by Alluvial Deposits (0.91%), Cerradinho Formation (2.3%), and Xaraiés Formation (0.91%). After delineating homologous zones based on relief and drainage patterns, the area occupied by the Bocaina Formation was adjusted to 97.97%, with a significant reduction of the Cerradinho Formation to 0.11%. The geological analysis revealed structural complexity with the presence of tectonic faults explaining the superposition and exposure of different lithologies, including phyllites and schists not shown in official maps. The geomorphological characterization emphasized the influence of carbonate lithologies on landscape shaping, highlighting karst features such as labyrinthine and polygonal karst, lapiaz, and ruiniform reliefs, as well as escarpments and deep valleys associated with the Serra da Bodoquena. The application of topographic openings enabled precise identification of ridges, valleys, and escarpments, contributing to the terrain characterization. Fieldwork carried out on the Dente de Cão Trail validated the presence of lapiaz at different evolutionary stages, reinforcing the integration of remote sensing data and in situ observations. These results expand and detail previous geological and geomorphological mappings, providing essential support for revising the park's management plan and environmental zoning, focusing on conservation and sustainable use of the park.

Keywords: Digital Image Processing, Geology and Geomorphology, Serra da Bodoquena National Park.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Parque Nacional da Serra da Bodoquena	14
Figura 2 - Propriedades da onda de energia eletromagnética.....	27
Figura 3 - Espectro eletromagnético	28
Figura 4 - Assinatura espectral da água, solo e vegetação.	30
Figura 5 - Tipos de resolução espectral.....	32
Figura 6 - Sistema de componentes do Processamento Digital de Imagem.....	34
Figura 7 - Estrutura de uma imagem.....	35
Figura 8 - Combinação das cores RGB	37
Figura 9 - Mapa de Uso Sustentável e Proteção Integral do PNSBq.	48
Figura 10 - Fluxograma Metodológico	52
Figura 11 - órbita/ponto 226_074, porção norte	54
Figura 12 - - órbita/ponto 226_075, porção sul.....	55
Figura 13 - Imagens do sensor OLI/Landsat 8.....	56
Figura 14 - Resultado da razão entre as bandas 7 e 5	57
Figura 15 – Abertura Topográfica.....	59
Figura 16 - Parâmetros estabelecidos para a obtenção das aberturas topográficas.....	60
Figura 17 - Critérios para classificação da drenagem	61
Figura 18 - Representação das formas de relevo.....	61
Figura 19 - Trajeto Bonito.....	62
Figura 20 - Trilha Dente de Cão.....	63
Figura 21 - Mapa Geológico do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.....	65
Figura 22 - Mapa Hipsométrico do PNSBq.	67
Figura 23 - Comparação entre as linhas	69
Figura 24 - Comparação entre os mapas.	70
Figura 25 - Análise das zonas homólogas extraídas.	71
Figura 26 - Novo cálculo para zonas delimitadas no limite do PNSBq.	73
Figura 27 - Rochas encontradas na Trilha Dente de Cão.....	75
Figura 28 - Rochas encontradas na trilha Dente de Cão.	76
Figura 29 - Mapa Geomorfológico do PNSBq.....	77
Figura 30 - Carste labiríntico e poligonal (CLCP).....	80

Figura 31 - Características do relevo nos fragmentos sul (abrangência do rio Perdido) e norte (abrangência do rio Salobra)	81
Figura 32 - Aberturas Topográficas.	82
Figura 33 - Formas de relevo.	83
Figura 34 - Feições do relevo no PNSBq	84
Figura 35 - Razão entre bandas e destaque para áreas de interesse.	85
Figura 36 - Localização dos lapiás.	87
Figura 37 - Exposição calcária com formação de caneluras	88
Figura 38 - Formação de lapiás dente de dragão ou Dente de cão	88
Figura 39 - Estágios evolutivos dos lapiás	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das selecionadas do satélite OLI/Landsat 8.....	53
Tabela 2 - Geologia da área do PNSBq.....	66
Tabela 3 - Novo cálculo para zonas delimitadas no limite do PNSBq.	74
Tabela 4 - Unidades Geomorfológicas do PNSBq.....	78
Tabela 5 - Valores de reflectância das amostras 1, 2 e 3.	86

LISTA DE SIGLAS

BDIA - Banco de Informações Ambientais

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMbio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PDI - Processamento Digital de Imagem

PNSBq - Parque Nacional da Serra da Bodoquena

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SR - Sensoriamento Remoto

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

ZA - Zona de Amortecimento

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Geografia e Paisagem.....	17
3.2	Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Estudo das Paisagens	24
3.3	Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.....	33
3.4	Planejamento e gestão de áreas protegidas.....	39
4	METODOLOGIA	46
4.1	Área de estudo.....	46
4.1.1	Conflitos no Parque Nacional da Serra da Bodoquena.....	47
4.2	Aspectos Físicos Gerais.....	49
4.2.1	Clima	49
4.2.2	Vegetação	50
4.2.3	Solos	50
4.2.4	Geologia	51
4.2.5	Geomorfologia.....	51
4.3	Proposta Metodológica.....	51
4.4	Procedimentos Técnicos.....	52
4.4.1	Processamento digital das Imagens Landsat 8	53
4.4.2	Fotogeologia.....	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
5.1	Geologia	64
5.1.2	Zonas Homólogas.....	68
5.2	Geomorfologia.....	76
5.2.1	Carste.....	78
5.2.2	Aberturas topográficas.....	81
5.2.3	Identificação de calcários para mapeamento de lapiás	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
7	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Áreas protegidas são primordiais na conservação da biodiversidade e na gestão sustentável dos recursos naturais, representando um esforço global para mitigar os impactos ambientais, especialmente considerando que as intensas alterações espaciais provocadas pela ação humana têm resultado na perda de características naturais das paisagens.

As áreas protegidas englobam Unidades de Conservação da Natureza (UCs), Mosaicos de Unidades de Conservação da Natureza, Corredores Ecológicos e outras categorias que promovem a proteção, a gestão e o uso dos recursos naturais (MMA, 2020).

Nesse contexto, o uso da tecnologia torna-se indispensável no monitoramento dessas áreas, especialmente as voltadas para a representação e quantificação da superfície terrestre, como o Sensoriamento Remoto (SR). Essa tecnologia permite o acompanhamento de alterações na cobertura vegetal, na qualidade dos corpos hídricos e na ocupação do solo, por meio de imagens de satélite e drones. Os dados coletados podem ser utilizados para planejar ações de recuperação ambiental, monitorar a biodiversidade e orientar políticas públicas voltadas à sustentabilidade (PACHECO, et al., 2020).

As imagens adquiridas por SR podem ser aprimoradas por meio do Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto (PDI). O PDI compõe um conjunto de técnicas que facilita a identificação e extração de informações de uma imagem bruta, levando à criação de outras imagens com maior qualidade visual. Isso auxilia na interpretação dos componentes da superfície terrestre (CRÓSTA, 1992).

Essa possibilidade de observação da superfície é viabilizada pela existência de sensores que possuem diferentes bandas espectrais, como o espectro visível, o infravermelho e o infravermelho de ondas curtas (MIRANDA et al., 2016). Essas bandas captam energia eletromagnética em dezenas de faixas espectrais com comprimentos de ondas específicos, agrupando diferentes tipos de radiação eletromagnética (MULLER, 2021).

Dessa maneira, o PDI permite que materiais da superfície terrestre, como rochas, solos, vegetação e corpos d'água, sejam realçados, pois cada material possui diferentes respostas espectrais, sendo possível realizar uma análise comportamental da refletância e da radiância dos alvos a serem analisados (MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019).

Assim, o uso das técnicas do PDI possibilita a elaboração de mapas detalhados que auxiliam na delimitação dos limites das áreas protegidas, na definição da relação entre esses

espaços e as atividades humanas no entorno, além de contribuir para a avaliação do estado de conservação dessas localidades.

Com base nesse cenário, a proposta desta pesquisa é contribuir para os estudos sobre o meio físico, em particular a geologia e geomorfologia do Parque Nacional da Serra da Bodoquena/MS, por meio da aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto (PDI). A necessidade de informações mais específicas dos aspectos geológicos e geomorfológicos, justifica a necessidade dessa abordagem, permitindo uma análise detalhada desses aspectos.

A justificativa também está alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15: Vida Terrestre, que busca proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres. A geração de dados e sua análise contribuem para a conservação do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, uma área protegida que abriga biomas de grande importância, como Cerrado e Mata Atlântica, além de receber influências do bioma Pantanal. As informações serão essenciais para o manejo ambiental, a preservação da biodiversidade e a mitigação de impactos, fortalecendo a gestão do Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSBq).

Além disso, a Serra da Bodoquena foi reconhecida como uma área de extrema importância biológica e prioritária para a conservação da biodiversidade de acordo com a última atualização de Áreas Prioritárias para a Conservação dos Biomas Cerrado e Pantanal (MMA,2018).

Esse reconhecimento reforça a necessidade de estudos aprofundados sobre a geomorfologia e a geologia da região, a fim de subsidiar ações de conservação e planejamento territorial. Outro aspecto relevante é que o Parque faz limite com a Terra Indígena Kadiwéu, o que aumenta a importância de informações para a gestão integrada do território e a proteção dos recursos naturais.

Ademais, esse levantamento é importante para subsidiar a revisão do plano de manejo do Parque, garantindo que as decisões de conservação e uso sustentável dos recursos naturais sejam baseadas em informações detalhadas.

De acordo com o Plano de Manejo (2013), o PNSBq é caracterizado por um ambiente cárstico e abriga os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Dividido em dois fragmentos, norte e sul, o Parque possui uma área total de 76.481 hectares, englobando os municípios de

Bodoquena, Bonito e Jardim (Figura 1). Essa área apresenta um mosaico de ecossistemas, proporcionando uma rica diversidade.

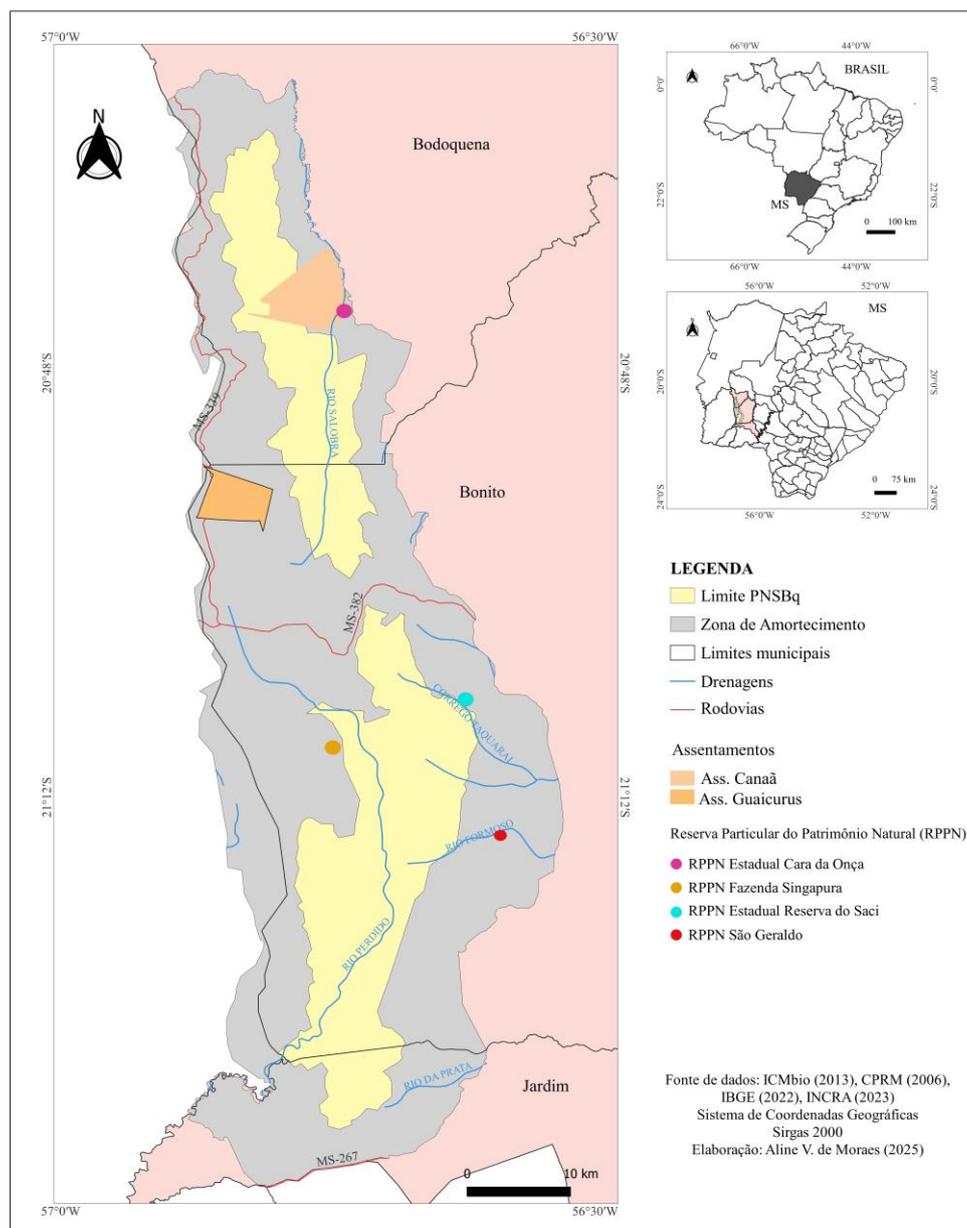


Figura 1 - Mapa de localização do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

O ambiente cárstico do Parque é desenvolvido sobre as rochas do Grupo Corumbá, unidade neoproterozóica que pertence à Faixa de Dobramentos Paraguai (SALLUN FILHO, 2004). O Grupo Corumbá possui grande abrangência de litologias calcárias, que permitem a formação de tufas, dolinas, cavernas e lapiás.

Marques (2022, p.36) destaca que “O Parque Nacional da Serra da Bodoquena foi a primeira UC de proteção integral criada após a aprovação da Lei Federal nº 9.985/2000, a qual criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)”.

De acordo com essa lei, uma UC de proteção integral, na qual os parques nacionais se inserem, possui áreas de grande relevância ecológica, com o objetivo principal de preservar a natureza, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais. Assim, o SNUC tem como finalidade a proteção e preservação da diversidade biológica, dos ecossistemas naturais e dos recursos naturais, bem como o desenvolvimento de atividades de educação ambiental, pesquisa científica e turismo ecológico, entre outros objetivos (Lei Federal nº 9.985/2000).

Dessa forma, a criação de um Parque Nacional protege a biodiversidade e a geodiversidade, sendo fundamental na conservação da natureza e na preservação de ambientes únicos e frágeis. Além disso, os parques possibilitam a realização de pesquisas científicas, educação ambiental, turismo e contribui para a economia da região (ROCHA et al., 2020).

A predominância de rochas calcárias no PNSBq acentua sua fragilidade ambiental, especialmente devido ao predomínio de rochas calcárias, que demandam maior cuidado do ponto de vista da conservação ambiental.

Dessa maneira, ao considerar a constante visitação e as peculiaridades do PNSBq, torna-se evidente a necessidade de pesquisas voltadas ao meio físico. Essas investigações são fundamentais para subsidiar decisões sobre o uso do Parque e para o monitoramento de zonas com fragilidades naturais especialmente pelos aspectos litológicos e geomorfológicos encontrados, bem como pelas interferências antrópicas que ocorrem no seu entorno.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar técnicas de Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto para o levantamento de feições geológicas e geomorfológicas do Parque Nacional Da Serra Da Bodoquena/MS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os aspectos geológicos e geomorfológicos do Parque Nacional da Serra da Bodoquena do através do PDI;
- Extrair informações geomorfológicas, utilizando técnicas como segmentação de imagem com auxílio do Modelo Digital de Terreno;
- Aplicar técnicas de fotogeologia para auxiliar no mapeamento geológico e geomorfológico;
- Verificar a eficácia do PDI aplicado na análise dos aspectos de geológicos e geomorfológicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Geografia e Paisagem

A paisagem é uma das categorias de análise da Geografia, abrangendo elementos naturais, sociais e culturais. Desde o século XIX, a paisagem passou de um simples conjunto de elementos visíveis para uma categoria analítica complexa.

A discussão sobre o conceito de paisagem não se limita apenas à Geografia, estendendo-se a várias outras ciências. Essa temática está ligada à consolidação da Geografia como ciência no século XIX, até então, a paisagem era tida como um conjunto de elementos e formas que caracterizam uma determinada parte da superfície terrestre (VERDUM, 2012).

A paisagem como categoria de análise da Geografia possui várias definições, Vitte (2007) considera que essa dualidade de significados, é influenciada pelas correntes do pensamento geográfico, cada corrente apresenta contextos históricos e culturais específicos.

No senso comum, a paisagem é a extensão de território que o campo de visão alcança podendo conter diferentes perspectivas, porém isso vai muito mais além, incluindo elementos do presente e do passado, nesse contexto, a paisagem para o Geógrafo deve ser o resultado de interações naturais, sociais e culturais (CAETANO, 2022).

De acordo com Verdum (2012) o conceito de paisagem está presente desde a antiguidade até sua formalização como uma área acadêmica na modernidade, que ainda carrega a imprecisão do termo, o que permite interpretações variadas.

Bolós (1992) auxilia na compreensão do arcabouço teórico sobre a evolução do conceito de paisagem. Segundo o autor, de 1850 a 1920, ocorreu a gênese das primeiras ideias voltadas para o aspecto natural; de 1920 a 1930, houve um desenvolvimento biogeomorfológico, abrangendo estudos sobre os aspectos biológicos e físicos; no período de 1930 a 1955, surgiu uma concepção físico-geográfica, durante o qual já haviam sido desenvolvidos conceitos em pequena escala sobre paisagem, região, zonas, etc.; de 1955 a 1970, surgiram análises estruturais-morfológicas, voltadas para a análise de problemas em nível regional, como estudos de taxonomia e cartografia; posteriormente, após 1970, a paisagem passou a ser analisada de maneira funcional, considerando suas inter-relações ecológicas, sociais e econômicas.

O autor Azis Ab Sáber também conceitua a paisagem como herança deixada pelos processos naturais no qual o espaço habitado reflete o passado. Essa herança abrange tanto os processos fisiográficos e biológicos que moldam o espaço quanto à noção de patrimônio

compartilhado pelas comunidades ao longo da história. A paisagem é, assim, considerada uma sucessão de legados, incorporando aspectos naturais e culturais que influenciam a atuação e identidade das comunidades que historicamente a habitam (AB SÁBER, 2003).

Cabe ressaltar a preocupação em não confundir espaço e paisagem. Segundo Maximiano (2002), o espaço é o objeto de estudo da Geografia, enquanto a paisagem pode ser compreendida por suas dimensões ou aspectos multidimensionais, englobando elementos naturais, culturais, sociais e suas interações na análise de um lugar. Porém a definição de espaço também possui interpretações variadas.

Verdum (2012, p. 23) explora a evolução da concepção da paisagem na ciência, destacando as associações do termo com diversos conceitos que trazem a ideia de um ponto de referência, como “país, lugar, unidade territorial e porção da superfície terrestre”. Verdum aponta que os Geógrafos passaram a analisar os elementos da paisagem a partir dos seguintes conceitos:

Forma e magnitude e, assim, obter uma classificação das paisagens. Portanto, é de fundamental importância que a paisagem seja considerada como o conjunto dos elementos da natureza capazes de serem observados a partir de um ponto de referência. Além disso, na leitura da paisagem seria possível definir as formas resultantes da associação do ser humano com os demais elementos da natureza (VERDUM, 2012 p. 23).

Ainda para esse autor, a partir do momento em que a paisagem emerge como um referencial tanto para a arte ou para análise da sociedade e natureza é apresentado duas construções lógicas em sua definição como:

Imagem que representa a vista de um recorte espacial, expressa na arte produzida a partir do séc. XVII, com significado pictórico/subjetivo; e porção da superfície terrestre, em seu conjunto, sendo o produto de uma área modificada pelas forças geológicas/geomorfológicas, com significado objetivo (VERDUM, 2012 p. 23).

Logo, entende-se que a definição de paisagem pode abranger tanto uma perspectiva subjetiva e artística, quanto uma perspectiva objetiva e física, dependendo do contexto em que é considerada.

Assim, a apreensão da paisagem é vinculada à posição e contexto de quem a observa. Santos (1988) salienta que “nossa visão depende da localização em que se está... A paisagem toma escalas diferentes e se apresenta de formas diversas aos nossos olhos”, o autor ainda destaca que a dimensão da paisagem está diretamente correlacionada à dimensão da percepção humana, isto é, àquilo que é captado pelos sentidos.

Um dos pioneiros a abordar o conceito de paisagem na Geografia foi o naturalista e Geógrafo do século XIX Alexander Von Humboldt, que enfatizava a importância de considerar a interação entre os elementos naturais e humanos na formação da paisagem. (CHAVES; SOUZA, 2021).

Em seu próprio texto, Humboldt se preocupava em evitar que a investigação da "Física do Mundo" se transformasse em um ensaio que simplificasse todos os fenômenos sensoriais por meio de um reduzido conjunto de princípios abstratos, desprovidos de uma base mais substancial além da razão pura. A concepção de "Física do Mundo" explorada por Humboldt refere-se a uma perspectiva que integra a Geografia Física, abrangendo não apenas a descrição dos espaços, mas também a análise dos corpos presentes nesses espaços específicos. (HUMBOLDT, 1982).

Outros grandes contribuintes para os estudos da paisagem na Geografia foram Vidal de Friedrich Ratzel e Carl Ritter “[...] pensadores clássicos, do final do século XVIII e início do século XIX, que utilizaram o conceito da paisagem em suas descrições de áreas distintas da superfície terrestre” (PUNTEL, 2012 p. 25).

A proposta de Ritter é antropocêntrica e regional, valorizando a relação homem x natureza. Ele procurava explicar a evolução da humanidade, relacionando homem e meio natural, descrevendo a sociedade. O naturalista Friedrich Ratzel (1844-1904) tinha como método a análise empírica, pautada na observação e descrição, privilegiando a visão naturalista, porém ele também trabalhava aspectos naturais e humanos como um conjunto e não como opostos (PUNTEL, 2012 p. 26).

Nessa perspectiva a paisagem é vista como o resultado da interação entre a sociedade e a natureza, possuindo forma e marca que são moldadas pela interação dinâmica entre elementos naturais e culturais (SUER, 1982).

Nas décadas de 1960 e 1980, ocorreram mudanças paradigmáticas que influenciaram a visão do espaço, levando a sua análise como um conjunto estruturado de objetos e atributos (VITTE, 2007). Na leitura da paisagem dentro da Geografia física, Vitte (2007) faz uma análise partindo do contexto histórico da transição da Astrologia para a revolução newtoniana e destaca a influência de autores como Goethe e Richthofen, que fundamentaram a Geografia como a ciência da superfície terrestre, enfocando as interações causais nesse espaço. Os estudos dessas interações fizeram surgir o conceito de georelevo sendo associado à diferenciação da superfície terrestre resultante de forças endógenas e exógenas.

Para Medeiros (1999) a superfície terrestre é moldada por um equilíbrio dinâmico entre forças internas e externas. As forças internas, como vulcânicas e tectônicas, atuam

alcançando um estado de equilíbrio rápido com as forças externas, como o clima e a gravidade. Esse equilíbrio possui ordem e interdependência, permitindo análises sob a Teoria Geral dos Sistemas. Por outro lado, eventos catastróficos, como erupções vulcânicas e terremotos, causam desequilíbrios prolongados, resultando em períodos de desordem (MEDEIROS, 1999).

Seguindo essa perspectiva, Ferreira (2010, p. 191) aponta que:

Atualmente, essa visão representa a abordagem utilizada pela maioria dos estudos de classificação de unidades de paisagem. Ou seja, o compromisso de entender a ordem de um sistema segundo seus padrões de regularidade ou aleatoriedade tem sido o arcabouço teórico mais familiar para tratar a complexidade da funcionalidade das paisagens em diferentes graus de humanização.

A Geografia passou a buscar uma abordagem holística e integrativa sobre sociedade e natureza buscando superar a fragmentação e setorização que existia entre Geografia física e humana.

A abordagem sistêmica originada da Teoria Geral dos Sistemas tornou-se muito utilizada nos estudos da paisagem e nas questões ambientais. Nesse período, surgiram metodologias específicas, como o Geossistema, originado na antiga União Soviética e associado ao pesquisador Victor Sotchava. Para Sotchava, o Geossistema possui capacidade de classificar e compreender a paisagem terrestre como sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados (FERREIRA, 2010).

Sotchava dividiu a terra em domínios, propondo uma classificação de Geossistemas com base em homogeneidade e diferenciação. Nessa perspectiva os Geossistemas são sistemas físicos ambientais abertos, influenciados por fatores econômicos e sociais, apesar de sua natureza, porém essa metodologia recebeu muitas críticas pela sua imprecisão com relação à taxonomia da paisagem e pela sua generalização (FERREIRA, 2010).

Outra metodologia foi apresentada por Georges Bertrand que definia a paisagem como um conjunto único e indissociável. Essa definição exigiu a formulação de um esboço teórico-metodológico (MEDEIROS; OLIVEIRA; DINIZ, 2018).

Bertrand (2004, p. 141) salientava que o modelo soviético de Geossistêma “tentava abordar as paisagens sob o aspecto estritamente quantitativo”. Assim, para ele, a paisagem na Geografia é:

Uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo

dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p.2).

No Brasil, o Geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro contribuiu com seus estudos sobre paisagem e o Geossistema. Para ele o Geossistema é um sistema constituído por elementos humanos, físicos, químicos e biológicos que interagem entre si. Entender essas inter-relações que ocorrem no espaço é fundamental para conseguir sentir e perceber as paisagens em todas as suas dimensões (MONTEIRO, 1978).

Monteiro (1978) desenvolveu um modelo que avalia a dinâmica temporal e espacial dos elementos do Geossistema, considerando a influência da ação antrópica. Suas contribuições abrem possibilidades para análises temporais-evolutivas, destacando a transição de Geossistemas primitivos para derivados sob ação humana e enfatizando a importância das relações entre sociedade e natureza para decisões sustentáveis nas regiões.

Essas e outras metodologias a respeito da paisagem são significativas, mas Ferreira (2010, p. 205) ressalta que:

É importante considerar as inúmeras limitações de qualquer modelo. É preciso, ainda, perseguir o entendimento das subjetividades e incorporar a essência do agir humano como parte da dinâmica da paisagem. A realidade nunca é pronta e a estrutura da paisagem nunca é imutável.

Assim, ao longo do tempo, o conceito de paisagem na Geografia evoluiu para uma compreensão integrada sendo ampliada para considerar as interações e as transformações mútuas entre as dimensões naturais e humanas (SCHIER, 2003).

A compreensão integrada trata-se da concepção de Análise Integrada da Paisagem muito estudada por Bertrand, essa concepção contribuiu para a renovação da Geografia no século XX (MORAES, 1994).

Bertrand (2004, p. 141) destaca que “é preciso frisar bem que não se trata somente da paisagem “natural”, mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica”.

Para Conti (2014, p. 244):

O tratamento da paisagem como realidade integrada e dinâmica concorre para acentuar a unidade da Geografia e diluir as fronteiras entre o social e o natural, robustecendo a singularidade de uma ciência que associa de forma inteligente fatos heterogêneos e diacrônicos e, por isso mesmo, não se confunde com nenhuma outra.

Entre os Geógrafos existe um consenso em relação à paisagem, mesmo que tenha sido abordada com ênfases distintas. A perspectiva compartilhada é de que a paisagem é resultado

da interação dinâmica entre aspectos naturais, biológicos e influências humanas. Essa concepção vai além de considerar a paisagem apenas como um fenômeno natural, reconhecendo explicitamente a inclusão da existência humana na sua formação e configuração (MAXIMIANO, 2004). Dessa forma, a paisagem é entendida como um sistema complexo, onde as influências humanas interferem na composição e transformação ao longo do tempo.

Com o avanço das tecnologias computacionais e das técnicas no final do século XX e início do século XXI, foram surgindo ferramentas que auxiliam no estudo e monitoramento das paisagens e da superfície terrestre de modo geral. Com o aprimoramento do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas, os sensores dos satélites permitiam registrar dados de grandes porções da superfície terrestre, porém ainda se tornavam limitados em relação a estudos com escala detalhada (RIBEIRO et al., 2019; GUERRA; LOUREIRO, 2021).

Contudo, segundo Guerra; Loureiro (2021), a verdadeira revolução ocorreu com a introdução do LIDAR (Light Detection and Ranging), um sistema de sensoriamento capaz de fornecer dados com precisão centimétrica e milimétrica. Essa tecnologia, aliada aos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, trouxe uma abordagem inovadora às análises da paisagem.

Em um levantamento realizado por Neves e Salinas (2017), constatou-se que, entre os anos de 2006 e 2016, houve avanços significativos nos estudos com uma abordagem integradora para a compreensão das paisagens na Geografia Física. Os autores observaram um aumento expressivo na adoção de técnicas como Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento nas análises desse período.

No contexto da influência humana na alteração da paisagem, o emprego dessas técnicas é fundamental para compreender a dinâmica e o padrão espacial da mesma. Ribeiro et al., (2019) destacam que o Sensoriamento Remoto e outras formas de imageamento terrestre possibilitam a obtenção de dados rápidos sobre grandes áreas da superfície terrestre. Este avanço tecnológico possibilitou aos pesquisadores analisar padrões espaciais com maior acurácia e menor custo, facilitando estudos sobre a paisagem em diversas escalas.

Através dos dados de Sensoriamento Remoto, como as imagens de satélite, é possível obter informações sobre a evolução da mancha urbana, áreas desmatadas, áreas de inundação, componentes físicos como rochas, corpos hídricos, padrões de relevo, vegetação, e uso e ocupação da terra, porém Suertegaray (2018, p. 101) ressalta que as imagens “[...] não nos

dirá da atuação de outros processos naturais (como intensidade de chuvas) ou de processos sociais que expliquem as razões econômico-sociais do desmatamento, da evolução física da “mancha” urbana, da diferenciação do espaço urbano enfim...”.

Portanto, é fundamental reconhecer que o Sensoriamento Remoto, embora seja uma boa ferramenta para a análise da paisagem, não pode fornecer uma compreensão completa e detalhada por si só, sendo necessário complementar as informações obtidas por meio de imagens de satélite com dados de campo, estudos socioeconômicos e outras abordagens multidisciplinares.

Em conjunto com o Sensoriamento Remoto tem-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) que oferece as ferramentas para manipular e analisar os dados georreferenciados facilitando a elaboração de mapeamentos, cruzamento de informações, quantificação de áreas e volumes, e a criação de modelos bidimensionais ou tridimensionais do terreno.

Cada paisagem possui características distintas, uma identidade própria e exerce uma função específica de acordo com as condições do local, podendo ser estética, natural, política, estratégica, econômica, cultural ou histórica. Logo, as paisagens são mais do que simples cenários, possuem propósitos e organizações que refletem a relação complexa entre sociedade e meio ambiente (PUNTEL, 2012).

Como já expressei, a paisagem reflete a percepção do observador, podendo ser concreta no sentido de extensão cartesiana, ou integrada no sentido do estudo de seus componentes físicos (geomorfologia, geologia, vegetação, solos, hidrografia) ou ainda podendo integrar as atividades humanas que interferem no equilíbrio dinâmico dos ambientes alterando as paisagens.

Verifica-se que o conceito de paisagem evoluiu, passando de uma visão descritiva e estática para uma abordagem dinâmica e integrada. Autores como Humboldt, Ritter e Ratzel contribuíram para a fundamentação inicial desse conceito, enfatizando a relação entre o meio natural e a sociedade.

O avanço tecnológico e a adoção de ferramentas como Sensoriamento Remoto e SIG, ampliaram as possibilidades de análise da paisagem, permitindo observações em diferentes escalas espaciais e temporais. No entanto, como apontado por Suertegaray (2018), é essencial que essas ferramentas sejam complementadas por análises de campo e estudos socioeconômicos para uma compreensão mais holística da paisagem.

Dessa forma, percebe-se que a paisagem, mais do que um conjunto de formas visíveis, é uma construção teórica e metodológica que reflete a interação entre sociedade e natureza. A multiplicidade de abordagens sobre o tema demonstra que a paisagem não pode ser analisada sob uma única perspectiva, mas sim por meio de uma visão integradora que considere tanto os aspectos físicos e biológicos quanto as transformações sociais e culturais ao longo do tempo.

3.2 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Estudo das Paisagens

A compreensão dos processos ambientais e sua relação com as atividades humanas são vitais para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas permitindo o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e manejo dos recursos naturais, contribuindo para a preservação da biodiversidade.

O meio ambiente exibe uma dinâmica própria, mantendo equilíbrio entre seus componentes por meio de interações e trocas energéticas, contudo, a crescente interferência humana, motivada pela exploração de recursos naturais, tem provocado alterações significativas nessa dinâmica (SCHOLZ, 2020).

Neste contexto, conhecer os condicionantes ambientais e socioeconômicos por meio da análise de informações espaciais auxilia no desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e preservação das paisagens e dos recursos disponíveis, tornando-se um importante subsídio para a gestão e o planejamento ambiental/territorial.

Existem ferramentas que auxiliam na coleta de tais informações, bem como no seu tratamento, um exemplo é o Geoprocessamento, que permite a análise espacial de dados georreferenciados, facilitando a compreensão das relações entre os condicionantes ambientais e socioeconômicos.

Rosa (2013, p.59) define Geoprocessamento como sendo:

[...] conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo Geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com Cartografia Digital, Processamento Digital de Imagens e Sistemas de Informação Geográfica.

De acordo com o INPE (2006) as tarefas relacionadas ao Geoprocessamento são geralmente realizadas por sistemas especializados, denominados Sistemas de Informação Geoespacial (SIG).

Rosa (2013, p. 60) define SIG como:

[...] sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias. Portanto, o sistema de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes.

Existem diversas fontes de dados utilizados em SIG, desde cartas topográficas em diferentes escalas até a obtenção de dados da superfície terrestre através do Sensoriamento Remoto que fornecem imagens captadas por sensores remotos a bordo de satélites também com diferentes resoluções (BRITO; ROSA, 1994).

Diante desse contexto, será abordado o Sensoriamento Remoto, que tem sido cada vez mais utilizado no estudo das paisagens e na análise da superfície da Terra de maneira geral, pois permite a aquisição sistemática de dados geoespaciais.

Nos estudos geomorfológicos, os dados de Sensoriamento Remoto revolucionaram a forma de estudar o relevo terrestre. Novos sensores oferecem imagens de alta resolução espacial, espectral e temporal que permitem a criação de modelos em 3D do terreno. Essas tecnologias, aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitam a análise automática de variáveis geomorfológicas, como altitude, declividade e orientação de vertentes, tornando o mapeamento e o estudo do relevo preciso e eficiente (FLORENZANO, 2008).

Na Geologia os dados de Sensoriamento Remoto permitem a identificação de estruturas geológicas, falhas, dobras, e padrões de drenagem associados a diferentes tipos de rochas, permitem diferenciar minerais e rochas com base em suas assinaturas espectrais, auxiliando na delimitação de unidades geológicas e facilita a análise de regiões de difícil acesso, complementando os levantamentos de campo (PARANHOS FILHO, 2020).

Logo, os dados de Sensoriamento Remoto são fundamentais para a cartografia geológica e geomorfológica, pois permitem a elaboração de mapas detalhados, arquivos vetoriais e bases de dados que integram diversas informações do terreno como a identificação de unidades geológicas, a delimitação de formas de relevo e a compreensão de processos geomorfológicos (CPRM, 2020; FLORENZANO, 2008).

Gonçalves (2023, p.149) aponta que “o Sensoriamento Remoto e os SIGs se complementam nas mais variadas áreas, como pesquisa, ensino, planejamento, monitoramento, gestão, execução, entre outras”.

Isso se deve à versatilidade dos satélites, que podem capturar uma variedade de informações, à sua capacidade de cobrir grandes áreas da Terra e à possibilidade de realizar observações repetidas ao longo do tempo (GAIDA et al., 2020).

Quando se aborda Sensoriamento Remoto, a definição comumente empregada é que se trata de uma técnica que envolve a aquisição de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato físico direto através do uso de sensores instalados em satélites, aeronaves ou outras plataformas remotas, que capturam dados ou imagens para análise (MENESES, 2012; ROSA, 2013).

Meneses (2012, p. 3) define o Sensoriamento Remoto como “[...] uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

Essa medição é realizada por meio de sensores que detectam e registram a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre, como rochas, minerais, solos, vegetação, corpos d’água, entre outros.

Florenzano (2011, p.10) acentua que a energia refletida ou emitida e captada por sensores em satélites artificiais “[...] é transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra, equipadas com enormes antenas parabólicas. Os sinais enviados para essas estações são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens”.

A energia utilizada em Sensoriamento Remoto é a radiação eletromagnética (REM) como mencionada. Essa energia pode ser compreendida como uma onda que se propaga, caracterizada pelo comprimento de onda e pela frequência que, ao interagir com a matéria pode ser absorvida, refletida ou transmitida (SOUZA, 2017).

Quartarolli; Vicente; Araújo (2014, p. 63) consideram a radiação eletromagnética como sendo:

A forma pela qual a energia é transmitida por meio de um campo eletromagnético variável, no qual os campos elétricos e magnéticos têm direções perpendiculares entre si. A energia produzida pelo Sol chega à Terra por esse modo de transmissão. A luz é a forma mais conhecida de radiação eletromagnética e corresponde à parte da radiação eletromagnética à qual o olho humano é sensível.

Baptista (2021, p.39) pontua que “a energia eletromagnética ou radiante é a energia transportada na forma de ondas eletromagnéticas e não necessita de um meio físico para se propagar. É através dela que a informação é transmitida de um objeto ao sensor”.

[...] a geração da REM acontece quando uma carga elétrica é acelerada, criando uma perturbação que se propaga pelo espaço e possui duas propriedades, o comprimento de onda e a frequência. O comprimento de onda (λ) é a distância de um pico de onda ao outro, enquanto a frequência (ν) é medida pelo número das ondas que passam por um ponto fixo em um segundo. Quanto maior for o comprimento de onda da radiação, menor será sua frequência. (QUARTAROLI; VICENTE; ARAÚJO, 2014, p. 63).

A unidade de medida da frequência é o hertz (Hz), além disso, a amplitude (A), outra propriedade importante, é definida como a altura de cada pico, representando metade da distância entre o pico máximo e o pico mínimo (LIU, 2015). A relação entre essas três propriedades da radiação eletromagnética é ilustrada na figura 2.

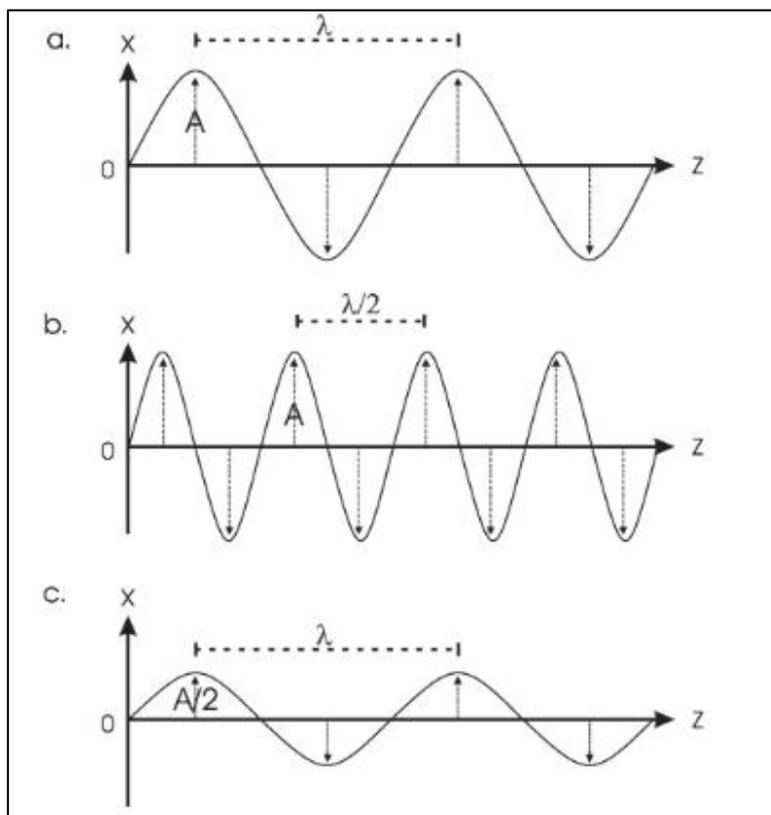


Figura 2 - Propriedades da onda de energia eletromagnética: a) a amplitude = A, a frequência = ν e o comprimento da onda = λ ; b) a amplitude = A, a frequência = 2ν e o comprimento da onda = $\lambda/2$; c) a amplitude = $A/2$, a frequência = ν e o comprimento da onda = λ . Fonte (LIU, 2015).

O comprimento de onda da radiação pode ser representado pelo espectro eletromagnético (Figura 3). O espectro eletromagnético refere-se ao conjunto da REM, com

todas as ondas eletromagnéticas possíveis, organizadas com base em seus comprimentos ou frequências (CONCEIÇÃO; COSTA, 2013).

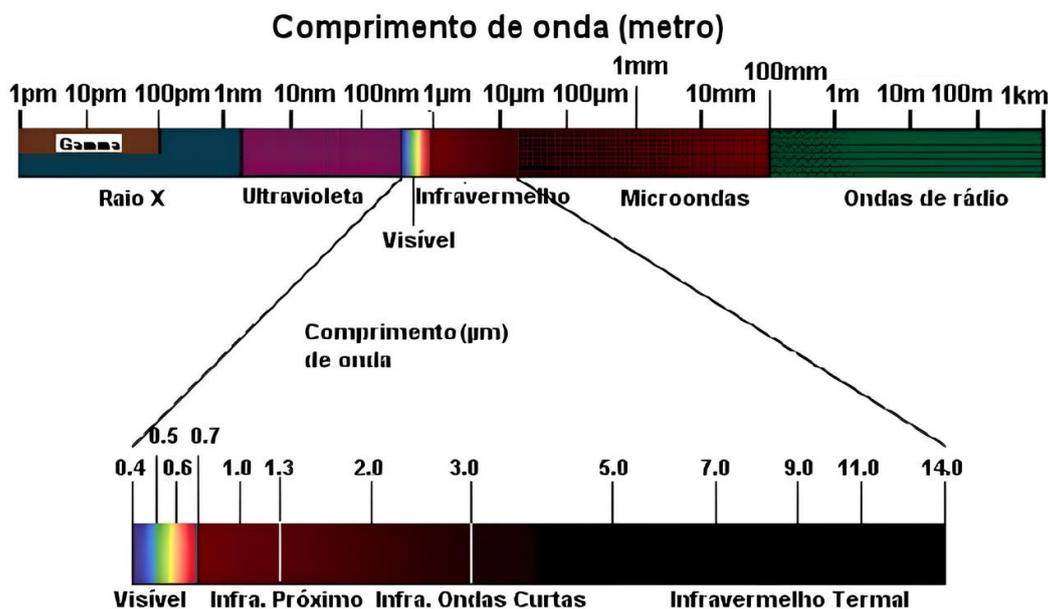


Figura 3 - Espectro eletromagnético. Fonte: Baptista (2021).

O espectro inicia com o raio gama e o raio X, com comprimentos da ordem do picômetro (pm) ou 10-12m, em seguida vem a região do ultravioleta e a região da luz visível e pelo infravermelho expressos em nanômetros (nm) ou 10-9m e pelo micrômetro (μm) ou 10-6m. A partir das micro-ondas os comprimentos de onda são expressos em milímetros (mm) ou 10-3m e as ondas de rádio variam do metro (m) ao quilômetro (km) (BAPTISTA, 2021).

No Sensoriamento Remoto são trabalhadas as seguintes faixas do espectro eletromagnético (Figura 2): visível (0,4 a 0,76 μm), faixa que o olho humano detecta; Infravermelho próximo (0,76 a 1,2 μm) é a faixa onde ocorrem bandas de absorção que podem afetar a passagem da radiação; infravermelho de ondas curtas (1,2 a 3 μm) é a região espectral muito usada para estudos de rochas e minerais; infravermelho médio (3 a 5 μm) é a faixa que possui uso limitado no Sensoriamento Remoto por emitirem pouca radiação e é mais relevante para aplicações que envolvem a detecção de fontes de calor; infravermelho termal (8 a 14 μm) é a faixa é usada para detectar radiação térmica emitida por objetos com base em sua temperatura superficial (MENESES, 2012; BAPTSTA, 2021).

A interação da radiação eletromagnética (REM) com a matéria pode passar por quatro processos principais: emissão, reflexão, transmissão e absorção. Esses processos variam em intensidade de acordo com as características físicas e químicas da matéria, ocorrendo em

diferentes regiões do espectro eletromagnético. Ao registrar o fluxo radiante proveniente da matéria, é possível obter informações sobre suas características físicas, como dimensão, forma, temperatura e cor, além de características químicas, como a composição (QUARTAROLLI; VICENTE; ARAÚJO, 2014).

No espectro eletromagnético, são definidas as bandas espectrais, que representam intervalos entre dois comprimentos de onda (Ex: banda do visível, banda do infravermelho, banda do infravermelho próximo). Essas bandas correspondem a regiões específicas do espectro eletromagnético utilizadas para capturar informações sobre a superfície terrestre (BAPTISTA, 2021). Assim, os sensores que captam a energia refletida ou emitida pelos objetos nas regiões espectrais através de imagens estarão gerando uma imagem para cada banda espectral.

Existem dois tipos de sensores: passivos e ativos. Os sensores passivos não emitem energia, em vez disso, registram a REM naturalmente emitida ou refletida pelos objetos na superfície terrestre. Exemplos incluem câmeras fotográficas e sensores ópticos em satélites. Já os sensores ativos emitem sua própria fonte de energia, interagindo com os objetos ou alvos em estudo (vegetação, corpos d'água, rochas, etc.). Um exemplo é o radar, que emite pulsos de micro-ondas (GOMES; CUBAS, 2021).

A energia solar que incide sobre a superfície é refletida em direção ao sensor, e a energia emitida pela superfície terrestre também pode ser captada pelo sensor. Assim, quando a energia eletromagnética atravessa a atmosfera está sujeita a dois fenômenos: espalhamento atmosférico e absorção. Essas interações atmosféricas podem influenciar a energia final registrada pelo sensor do satélite (FLORENZANO, 2011).

Baptista (2021, p. 52) acentua que esses fenômenos ocorrem, pois:

A atmosfera é formada por gases e por uma porção não gasosa (líquida e sólida) chamada de aerossol. Tanto os gases como os aerossóis interferem na radiação incidente ou refletida absorvendo-a ou espalhando-a. Portanto há uma alteração na informação obtida de forma remota.

O estudo da interação da REM com os objetos da superfície terrestre é dado pelo comportamento espectral dos alvos que “pode ser definido como a medida de reflectância deste alvo ao longo do espectro eletromagnético” (ROSA, 2007, p. 41).

A capacidade de um objeto em absorver a energia radiante é denominada absorptância, enquanto sua capacidade de transmitir essa energia é chamada de transmitância. A cor de um

objeto resulta da interação deste com a luz em uma determinada região do espectro eletromagnético, que é refletida pelo alvo (GOMES; CUBA, 2021).

O conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético é conhecido como a assinatura espectral do objeto. A assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto (MORAES, 2008, p. 10).

As assinaturas espectrais podem representadas por meio de gráficos como no exemplo da figura 4.

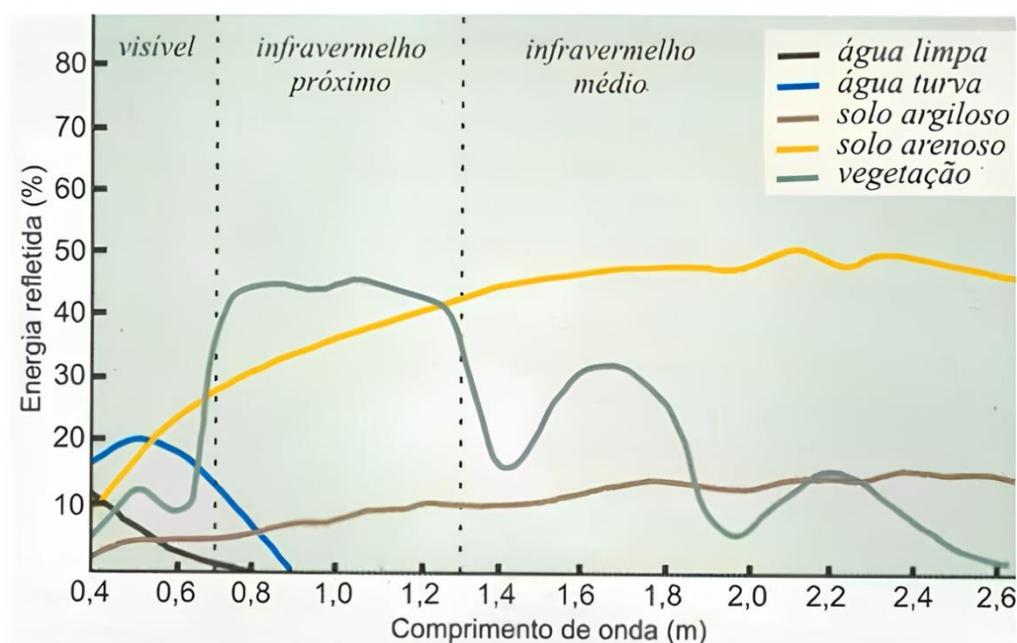


Figura 4 - Assinatura espectral da água, solo e vegetação. Fonte: Florenzano (2011).

No eixo x, encontram-se os comprimentos de onda que distinguem os tipos de energia eletromagnética, enquanto no eixo y está representado o valor da reflectância, geralmente expresso em porcentagem.

A análise das assinaturas espectrais destacadas na Figura 4 mostra que a vegetação, na faixa do infravermelho próximo, apresenta maior reflectância de energia, atribuída principalmente à presença de clorofila. Observa-se que a curva representativa do solo demonstra uma reflectância inferior em comparação com a vegetação. Em relação à água limpa, tem-se uma baixa reflectância na região visível e ausência de reflectância na região do infravermelho, indicando absorção de energia. Vale ressaltar que a composição e concentração variadas de materiais na água influenciam seu comportamento espectral, especialmente na faixa visível (FLORENZANO, 2011).

A leitura espectral captada não é específica para um único objeto, mas sim uma combinação das assinaturas espectrais de todos os elementos presentes na cena. Isso ressalta a importância de interpretar os dados considerando a variedade de objetos bem como fatores que pode interferir na geração da imagem e que podem influenciar na análise e interpretação corretas das informações.

Assim, é fundamental compreender como a radiação eletromagnética e sua interação com os objetos da superfície terrestre, resultando na geração de energia captada por sensores. Koch; Mather (2011, p. 13) reforçam que “compreender a forma como os dados obtidos por Sensoriamento Remoto são adquiridos por um sensor a bordo de uma aeronave ou satélite exige conhecimento básico da física envolvida”.

O sensor imageador registra a energia eletromagnética da radiação de pequenas amostras de área da superfície terrestre, ou célula de resolução (IFOV), convertendo-a, através dos detectores, em um sinal elétrico cuja intensidade é correspondente à intensidade da radiação de cada célula de resolução no terreno. No processo de formação da imagem, o sinal de cada célula de resolução no terreno será definido como o valor digital (Digital Number, DN) do pixel na imagem de satélite (OLIVEIRA, 2020, p. 243).

Partindo disso, um sistema sensor possui quatro resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. A resolução espacial é a menor área imageada pelo sensor “definida pela relação entre a distância entre o sistema óptico e os detectores e a altitude do sensor em relação à superfície terrestre” (BAPTISTA, 2021, p. 63).

Dependendo da resolução espacial, é possível visualizar maiores ou menores detalhes de uma área em uma imagem de satélite, por exemplo, uma imagem “com uma resolução espacial em torno de 1 m, pode-se identificar as árvores de um pomar, as casas e os edifícios de uma cidade, enquanto com uma resolução de 30 m, provavelmente será identificado o pomar, a mancha urbana correspondente à área ocupada pela cidade” (FLORENZANO, 2011, p. 17).

Os sensores imageadores multiespectrais geram imagens na forma de matriz de números digitais como produto, cada número é associado a um pixel, ou seja, os elementos que compõe a área serão apresentados como um valor digital (CRÓSTA, 1992).

A resolução espectral é à capacidade de um sensor em distinguir e medir a reflectância em diferentes faixas do espectro eletromagnético, quanto mais estreita for a banda espectral, maior será a capacidade do sensor em discernir detalhes específicos nas características de reflectância dos alvos, é utilizada para identificar padrões distintos de reflectância dos

materiais presentes na cena observada (LIU, 2015). A figura 5 representa os diferentes tipos de resolução espectral que possibilita identificar e registrar as diferenças espectrais dos alvos.

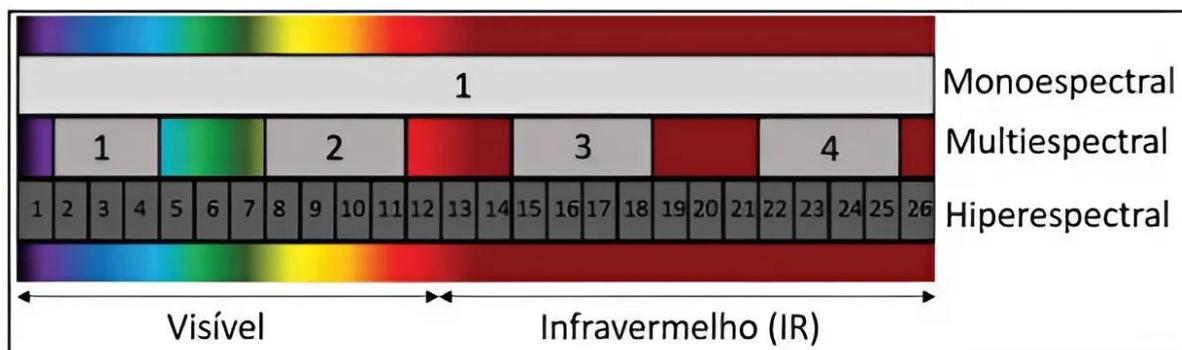


Figura 5 - Tipos de resolução espectral. Fonte: Lira et al., (2016).

Sensores monoespectrais captam apenas uma banda, como é o caso da banda pancromática, que mede intensidades de radiação no intervalo de comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo. Sensores multiespectrais geram imagens com poucas bandas, geralmente de 3 a 20, como no exemplo acima. Por outro lado, os sensores hiperespectrais possuem alta resolução espectral, registrando dados de forma contínua e com maior número de bandas que devem estar próximas entre si (GOMES; CUBAS, 2021; LIRA et al., 2016).

A resolução radiométrica se refere à quantidade de níveis de cinza ou bits utilizados para expressar as variações na intensidade da energia coletada por um sensor em cada pixel de uma imagem. Quanto maior o número de níveis, maior é a capacidade de representar detalhes e nuances na intensidade, resultando em uma imagem com melhor qualidade visual e maior resolução radiométrica (QUARTAROLLI; VICENTE; ARAÚJO, 2014).

A última resolução é a resolução temporal que se refere ao intervalo de tempo que um sensor demora em registrar duas imagens para uma mesma área geográfica (CRÓSTA, 1992).

O uso de imagens orbitais, dependendo de sua resolução e do objetivo, representa uma oportunidade para aprimorar o mapeamento cartográfico. Além disso, a redução de custos operacionais traz vantagens, especialmente em projetos de grande porte que exigem uma quantidade considerável de imagens.

Com o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento utilizado em conjunto, é viável realizar o monitoramento ambiental e o planejamento territorial de maneira eficaz, fornecendo dados geoespaciais para o manejo de recursos naturais e auxiliando na implementação de

medidas de conservação que respondem dinamicamente às mudanças na paisagem e ao impacto das atividades humanas.

3.3 Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto

A integração de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) potencializa ainda mais os estudos geológicos e geomorfológicos, pois permite a sobreposição de múltiplas camadas de dados, facilitando análises espaciais avançadas e a visualização tridimensional da topografia terrestre.

As técnicas do PDI envolvem a utilização de algoritmos para a correção, aprimoramento e análise dos dados coletados por sensores remotos. Essas técnicas podem ser aplicadas a qualquer tipo de imagem digital, desde que esta esteja estruturada digitalmente em uma grade regular (grid) ou matriz de números digitais (CRÓSTA, 1992).

Diante disso, a abordagem do processamento digital é fundamental no estudo das paisagens, permitindo a análise e interpretação de dados geoespaciais que oferece uma série de benefícios para a compreensão e monitoramento das paisagens através das técnicas que buscam melhorar as imagens (AMARAL et al, 2019).

Para Landovsky (2003, p. 18) “monitorar a paisagem vem da necessidade de entender o meio e os efeitos do ser humano no ambiente. E isto conduz a aspectos cada vez mais amplos nas pesquisas e estudos referentes à paisagem”.

Nesse contexto, serão abordadas as imagens digitais provenientes de sensores remotos a bordo de satélites, que capturam imagens multiespectrais. Essas imagens têm papel fundamental em diversas áreas, como monitoramento ambiental, cartografia, estudos geológicos e geomorfológicos.

Os trabalhos de Souza Filho et al., (2004) e Romão; Cunha (2012) demonstram a aplicação do Sensoriamento Remoto na Cartografia Geomorfológica e Geológica. O primeiro utiliza imagens do satélite Landsat para analisar a variabilidade morfológica de pontais arenosos na planície costeira de Caravelas, destacando a importância das imagens multiespectrais no monitoramento de mudanças costeiras. Já o segundo discute como a cartografia geológica, aliada ao SR e ao SIG, contribui para o planejamento territorial e a gestão de recursos naturais, ressaltando a relevância dessas tecnologias na atualização e precisão dos mapas geológicos.

Zanotta; Zortea; Ferreira (2019, p. 8) ressaltam a importância da utilização do PDI:

As imagens geradas pelo Sensoriamento Remoto atualmente disponível contêm informações que vão muito além da capacidade natural de percepção e de extração dos seres humanos. Daí a necessidade fundamental de aplicar técnicas de processamento digital a fim de explorar as regiões do espectro eletromagnético em que a visão humana não registra a energia, juntamente com todo o potencial de informação contido nas imagens adquiridas pelos sensores nessas regiões, que são de crucial importância para a identificação e o monitoramento de materiais e de fenômenos na superfície da Terra e também de outros corpos planetários.

O PDI possui um sistema de componentes básicos apresentados na figura 6. Esses componentes são de uso geral em computadores com hardware voltado para o processamento de imagens.

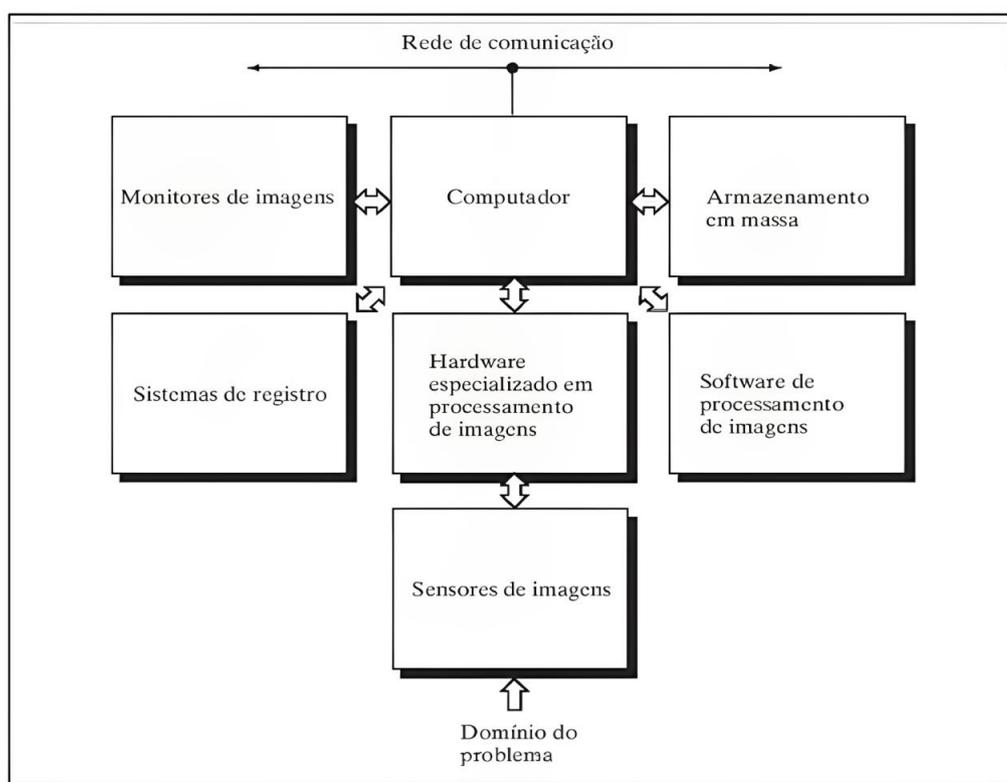


Figura 6 - Sistema de componentes do Processamento Digital de Imagem. Fonte: Gonzalez; Woods (2009).

O hardware especializado realiza operações específicas nas imagens, e computadores que coordenam o processamento. O software de processamento executa tarefas como filtros e correção de distorções, enquanto o armazenamento em massa guarda os dados. Monitores exibem as imagens processadas, e sistemas de registro, como impressoras, gravam as imagens. Uma rede de comunicação facilita a transferência eficiente de dados entre todos esses componentes. (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A partir desses conceitos, ao utilizar imagens de sensoriamento remoto é necessário levar em consideração duas características principais, estrutura e resolução, sendo a base para compreender o PDI.

As imagens de sensoriamento remoto são organizadas em uma grade de pixels com coordenadas "x" e "y". Cada pixel tem um valor "z" ou DN (Número Digital) que indica a intensidade da energia eletromagnética. Essas imagens formam matrizes "x" por "y" com níveis de cinza, podendo ter milhares de linhas e colunas. O valor DN varia de 0 (preto) a 255 (branco), representando o brilho de cada pixel (CRÓSTA, 1992). A figura 7 mostra uma imagem preta e branca e sua matriz numérica correspondente.

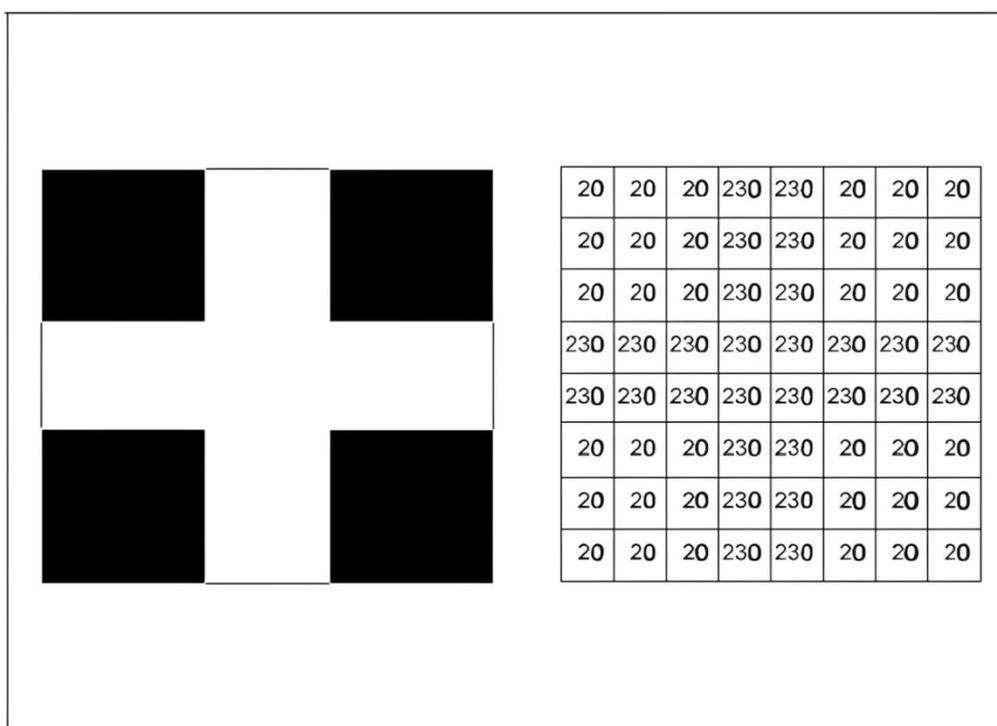


Figura 7 - Estrutura de uma imagem: a) imagem em preto e branco. b) Matriz numérica. Fonte: Crósta (1992).

A intensidade dos tons de cinza dos pixels em uma imagem é representada pelo histograma, que mostra a quantidade de pixels para cada nível de intensidade. Analisando o histograma, é possível identificar características da imagem, como o espalhamento dos valores de Número Digital (DN). Um maior espalhamento indica melhor discriminação dos objetos na imagem (GONÇALVES, 2023).

O histograma é essencial para discriminar elementos distintos, como corpos d'água, áreas de vegetação e construções urbanas. Por exemplo, ao analisar o histograma de uma imagem de satélite, um pico nos valores de DN pode indicar a presença de vegetação densa,

enquanto valores mais baixos podem representar áreas urbanas ou solo exposto. Ajustando o contraste com base no histograma, é possível melhorar a distinção entre esses elementos, facilitando a identificação e o mapeamento das características da paisagem.

Ao se tratar de histogramas, devem-se considerar dois conceitos: a média e a moda. “Média: representa a média aritmética de um conjunto de valores (DNs, por exemplo); num histograma, é o "centro de gravidade" do mesmo. Moda: representa o valor mais comum de um conjunto de valores; num histograma, é o ponto mais alto do gráfico” (CRÓSTA, 1992, p. 33).

Além da análise e manipulação do histograma para melhorar a qualidade visual ou destacar determinado objeto presente na imagem, existem outras técnicas que compõem o Processamento Digital de Imagens (PDI), tais como o aumento de contraste, filtragem de frequências espaciais, operações aritméticas em imagens, classificação de imagens, correção geométrica e registro de imagens.

O aumento de contraste melhora a visibilidade das informações em uma imagem, tornando as diferenças de intensidade mais claras. Na prática, ele ajusta a escala de cinza, redistribuindo melhor os níveis no histograma. Isso envolve mapear os valores de cinza da imagem original para a faixa máxima do dispositivo de visualização, de 0 a 255, ajustando cada valor de acordo com uma função de transferência (SANTOS; PELUZIO; SAITO, 2010).

Dessa maneira, o aumento de contraste e a análise de histogramas ajudam a distinguir diferentes formas de relevo e padrões de drenagem, fundamentais para o estudo dos processos de modelagem da superfície terrestre.

Dependendo do satélite utilizado para aquisição de imagens, as bandas espectrais podem variar. No entanto, é possível ajustar o contraste em cada banda espectral disponível para criar escalas de cinza ou fazer combinações de bandas e gerar cores.

Diante disso tem-se a Teoria Básica das Cores – espaço RGB que descreve a representação das cores pela combinação de três componentes: vermelho, verde e azul. Diferentes intensidades dessas cores criam uma ampla gama de cores (Figura 8). A combinação de luzes azul, verde e vermelho resulta em branco, enquanto pares dessas cores geram ciano, magenta e amarelo (MENESES, 2012).

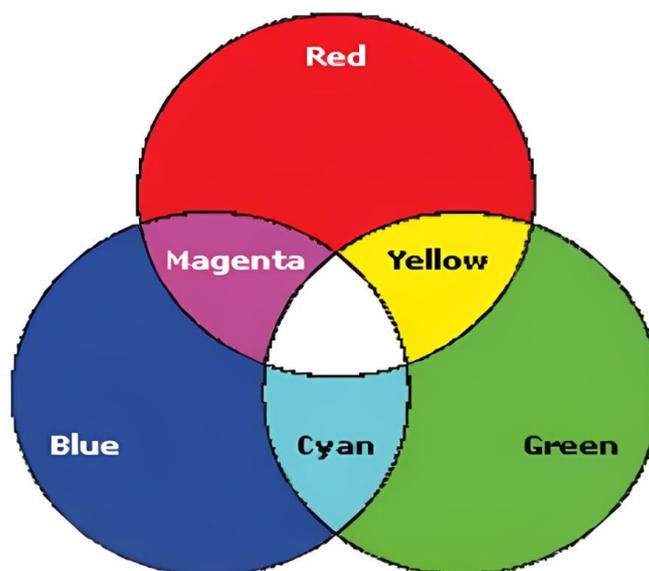


Figura 8 - Combinação das cores RGB, gerando as cores ciano, magenta e amarelo. Fonte: Meneses (2012).

O espaço de cores HSI (Matiz, Saturação e Intensidade) é uma representação alternativa ao modelo RGB que se aproxima da percepção humana de cores. No HSI, o componente Matiz define a cor pura ou o ângulo no círculo cromático, Saturação mede a pureza ou vivacidade da cor, e Intensidade representa o brilho. Este modelo é particularmente útil na análise de imagens digitais, pois permite ajustes mais intuitivos de tonalidade e saturação sem alterar o brilho, facilitando a manipulação de cores de maneira que seja natural para a visão humana (INPE, 2006).

Para aprimorar a análise de imagens de satélite, técnicas de filtragem de frequências espaciais podem ser utilizadas. Essas técnicas empregam máscaras sobre os pixels da imagem considerando os pixels vizinhos para realçar ou suavizar características. Um exemplo é o uso de filtros lineares, como os passa-baixa, que suavizam a imagem e reduzem ruídos ao preservar componentes de baixa frequência, e os passa-alta, que realçam bordas ao destacar componentes de alta frequência (NOVO, 2010).

A filtragem pode ser aplicada para identificar formações geológicas distintas e delinear falhas e fraturas. Filtros passa-alta são particularmente úteis para realçar bordas e discontinuidades que podem indicar a presença de estruturas geológicas importantes.

Diferentemente da filtragem, tem-se as operações aritméticas que são realizadas pixel a pixel, independentemente dos pixels vizinhos. As principais operações incluem adição,

subtração, multiplicação e divisão. A adição combina valores para realçar características semelhantes; a subtração destaca diferenças espectrais, facilitando a identificação de variações na cobertura terrestre; a multiplicação amplifica contrastes, melhorando a qualidade visual das imagens; e a divisão distribui valores em classes, sendo essencial para criar índices como o NDVI, que compara a vegetação com base em diferentes bandas espectrais. Essas operações são importantes para interpretar e melhorar as imagens, permitindo aplicações variadas, desde a detecção de tipos de vegetação até a identificação de alterações ambientais (GOLÇALVES, 2023).

A próxima técnica do PDI é a classificação de imagens, que envolve a atribuição de categorias ou classes a diferentes regiões de uma imagem com base em suas características espectrais, resultando em um mapa temático. Essa etapa é precedida pela segmentação de imagens, onde a imagem é dividida em regiões homogêneas facilitando a aplicação dos métodos de classificação, como a classificação supervisionada e não supervisionada (FLORENZANO, 2011).

Para garantir a precisão das informações cartográficas representadas nesses mapas, é fundamental realizar a correção geométrica das imagens. A correção geométrica ajusta as imagens para que correspondam às propriedades de escala e projeção de um mapa, corrigindo distorções espaciais (CRÓSTA, 1992).²⁸

Diante desse contexto, as técnicas que compõem o PDI são fundamentais para a análise e interpretação de imagens digitais em diversas áreas. Por exemplo, na geologia e geomorfologia, o PDI pode ser aplicado para realçar diferentes tipos de formações rochosas, identificar falhas geológicas, ou mapear áreas com diferentes propriedades do solo. Na geomorfologia, a técnica pode ser utilizada para destacar diferentes formas de relevo, como planícies, montanhas, vales, ou para analisar padrões de drenagem em uma bacia hidrográfica (SALDANHA; FREITAS, 2009).

A interpretação geológica com base em padrões geomorfológicos traz informações sobre a composição e características das rochas em uma região, por exemplo, a presença de drenagem densa, relevo ondulado, sugerem rochas impermeáveis e pouco resistentes. Já uma drenagem com baixa densidade, relevo abrupto indicam rochas porosas e resistentes à erosão.

Quando a drenagem é de baixa densidade, controlada e clara, associada a relevo em crista, aponta para rochas permeáveis. Por fim, drenagem com média densidade, relevo

ondulado, lineações frequentes sugere rochas metamórficas suscetíveis à erosão (ARCANJO, 2011).

Além disso, o PDI pode ser aplicado em modelos digitais como o Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE), aprimorando a qualidade dos dados, identificando características topográficas específicas e realizando análises detalhadas do terreno que auxiliam na interpretação de elementos específicos da paisagem.

Esses modelos podem ser combinados com imagens de satélite através da superposição, prática que se tornou comum com o avanço do sensoriamento remoto e a digitalização de dados. Isso é especialmente útil para resolver problemas de interpretação de imagens causados pelo relevo (ASPIAZÚ; ALVES; VALENTE, 1990).

Diante do exposto, salienta-se que a capacidade de realçar características específicas, identificar padrões e realizar análises detalhadas do terreno torna o PDI uma ferramenta indispensável para o monitoramento e compreensão do ambiente. Com o avanço contínuo da tecnologia de sensoriamento remoto e a digitalização de dados, o PDI tem um potencial imenso para aprofundar o conhecimento sobre a superfície terrestre.

3.4 Planejamento e gestão de áreas protegidas

O planejamento e gestão de áreas protegidas constituem um pilar para a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais. Essas áreas, que podem variar desde parques nacionais até Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), são estabelecidas com o objetivo de proteger ecossistemas sensíveis, espécies ameaçadas e paisagens de valor inestimável.

Diante disso, as políticas públicas territoriais, como a criação de unidades de conservação da natureza e áreas de preservação permanente, são fundamentais para a proteção ambiental (VALLEJO, 2013).

A Lei Federal 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), prioriza a biodiversidade, a recuperação de recursos naturais e a promoção de atividades educativas, recreativas e econômicas compatíveis, desde que não causem impactos significativos ao meio ambiente. Segundo Braghini e Vilar (2013) atualmente, a gestão das unidades de conservação (UCs) é conduzida por funcionários designados e conselhos gestores.

De acordo com Benjamin (2006) no plano biológico, a principal característica do SNUC é a adoção do modelo ecossistêmico de conservação da natureza, isto é, a rejeição da

tutela isolada e individual de espécies ou reinos em favor de uma visão mais ampla, que leva em consideração a dimensão e complexidade do ecossistema.

O estabelecimento e a evolução das áreas protegidas são influenciados pela interação entre política, economia, demandas sociais e preocupações ambientais. Esses elementos moldam não apenas a definição espacial das áreas protegidas, mas também determinam sua eficácia na conservação dos recursos (PADUA, PUREZA e PELLIN, 2015).

No contexto histórico brasileiro, somente na década de 1930, com o início do governo de Getúlio Vargas, foi decretado o primeiro Código Florestal (Decreto nº 23.793). Esse marco legislativo reconheceu a importância da conservação dos recursos naturais, como solos, águas e vegetação, estabelecendo medidas para sua proteção. Esse decreto representou um ponto inicial importante na legislação ambiental brasileira, contribuindo para o estabelecimento de políticas de conservação e uso sustentável dos recursos naturais no país.

Posteriormente, o Código Florestal vigente (Lei nº 4.771), promulgado em 1965 por iniciativa do Executivo, estabelecia a criação de unidades de conservação com diferentes finalidades, divididas entre aquelas de uso indireto, como parques nacionais e reservas biológicas, e aquelas de uso direto, como florestas nacionais, reservas florestais e parques de caça (CASES, 2012).

Por outro lado, o Decreto-Lei nº 1.922, de 05 de junho de 1973, foi um marco importante na história da conservação ambiental. Esse período foi marcado por uma crescente preocupação com a perda de biodiversidade e a degradação dos ecossistemas naturais, principalmente devido ao avanço da agricultura, da pecuária e da exploração de recursos naturais.

Leuzinger (2012) destaca que, em 1982, o Brasil buscou não apenas a definição de critérios técnico-científicos para a indicação e implantação de Unidades de Conservação da Natureza (UCs), mas também a criação de novas categorias de manejo, tal reorganização conceitual culminou na divisão das Unidades de Conservação da Natureza em duas categorias principais: as de proteção integral e as de uso sustentável.

As UCs de proteção integral têm como principal objetivo preservar ecossistemas naturais, sem permitir atividades que causem impacto direto nos recursos naturais. Já as UCs de uso sustentável visam conciliar a conservação ambiental com o uso racional de parte dos recursos naturais, permitindo atividades como a pesca e o extrativismo.

Essa divisão é fundamental para promover a conservação ambiental enquanto se atende às necessidades socioeconômicas das comunidades que dependem desses recursos. (FONSECA; LAMAS; KASEKER, 2016).

Na década de 2000 com os resultados obtidos e documentos firmados durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi estabelecida a Lei nº 9.985/2000. Segundo Santilli (2005), as leis ambientais editadas a partir de 1990 rompem com a orientação anterior de ênfase ao controle e repressão de práticas lesivas ao meio ambiente, inaugurando mecanismos e instrumentos de gestão compartilhada de bens que denomina socioambientais.

De acordo com Cerezini; Castro (2022) o SNUC, constituído pelo conjunto das UCs federais, estaduais e municipais, tem como principal objetivo a manutenção da diversidade biológica no território nacional e estabelece as diferentes categorias de UCs, estruturadas de acordo com seus objetivos de manejo e tipos de uso.

Além disso, o SNUC estabelece os critérios e procedimentos para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação de acordo com o quadro 1, bem como define os instrumentos de manejo e o papel dos órgãos responsáveis pela sua administração, como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e as secretarias estaduais de meio ambiente.

Quadro 1 - Disposições gerais e manejo das UCs de acordo com o SNUC.

UCs de Proteção Integral de acordo com o capítulo III do SNUC	
Categoria	Objetivo
Parque	Art. 11 - Preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.
Estação Ecológica	Art. 9 - Preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.
Monumento Natural	Art. 12 - Preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.
Refúgio de Vida Silvestre	Art. 13 - Proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.
Normas para a Gestão de UCs de acordo com o Artigo 2º	
Manejo	VIII - Todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas.
Uso Indireto	IX - Aquele que não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais.
Uso Direto	X - Aquele que envolve coleta e uso, comercial ou não, dos recursos naturais.
Uso Sustentável	XI - Exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.
Recuperação	XIII - Restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.
Restauração	XIV - Restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original.
Zoneamento	XVI - Definição de setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz.
Plano de Manejo	XVII - Documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade.
Zona de Amortecimento	XVIII - O entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.
Corredores Ecológicos	XIX - porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

Fonte: Adaptado da Lei nº 9.985/2000.

O crescimento das UCs e das áreas que elas abrangem representa um avanço na conservação ambiental, porém existem desafios, pois a expansão tanto em quantidade quanto em variedade de UCs resulta em uma complexidade cada vez maior no sistema de gestão

ambiental. Lidar com esses desafios exige estratégias que assegurem eficácia na conservação dos recursos naturais, equilibrando preservação ambiental com o uso sustentável dos ecossistemas protegidos. (DRUMMOND; FRANCO; OLIVEIRA, 2010).

Planejamentos ambientais visam normatizar territórios complexos e, para tanto, necessitam estar suficientemente ligados à realidade em seus múltiplos aspectos. Visam também interpretar o meio em relação à sua composição, estrutura, processo e função, como um todo e um contínuo no espaço (SANTOS, 2004).

Dessa forma, o planejamento e gestão de uma unidade de conservação buscam pela maximização da conservação da biodiversidade e na criação de oportunidades para os usuários, especialmente nas categorias que permitem visitação.

Conforme destacado por Nogueira et al. (2018), a estruturação dos processos de manejo é essencial para equilibrar a preservação ambiental com o uso sustentável dos recursos naturais, beneficiando tanto a natureza quanto as comunidades locais.

Antunes; Torres; Scalco (2012) enfatizam a importância do planejamento cuidadoso para o ecoturismo em áreas naturais, pois desenvolver práticas turísticas responsáveis não apenas promove o uso consciente dos recursos, mas também contribui para a valorização e conservação dos ecossistemas, minimizando impactos adversos.

Padua; Chiaravalloti (2012) ressaltam que o conhecimento, seja tradicional ou científico, desempenha importante papel no manejo das unidades de conservação. A integração desses tipos de conhecimento, desenvolvidos ao longo de séculos, aumenta a eficácia das ações de conservação.

Cases (2012) destaca a importância da elaboração de planos de manejo rigorosos para unidades de conservação de proteção integral em que todas as atividades devem ser cuidadosamente planejadas para assegurar a integridade dos recursos que se pretende proteger.

Segundo Santos (2020), os limites de uma UC podem ser estabelecidos durante sua criação ou posteriormente, no processo de elaboração do Plano de Manejo. Esse plano, um documento técnico previsto pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), fundamenta-se nos objetivos da UC para definir o zoneamento e estabelecer normas que orientem o uso da área e o manejo dos recursos naturais, além de promover sua integração à vida econômica e social das comunidades vizinhas (Lei nº 9.985/2000).

Além disso, de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), torna-se necessário a definição e regulamentação da zona de amortecimento, fundamental para proteger os limites das unidades de conservação e mitigar os impactos negativos das atividades externas sobre essas áreas protegidas.

De acordo com a Lei nº 9.985/2000, a zona de amortecimento é definida como uma área situada ao redor de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.

Essa definição destaca a importância da zona de amortecimento como uma área de transição entre as atividades humanas e as áreas protegidas, onde são estabelecidas medidas para proteger a integridade dos ecossistemas e recursos naturais.

A definição de normas de uso, ocupação e monitoramento das Zonas de Amortecimento (ZA) é importante para prevenir a ocupação inadequada nos limites das Unidades de Conservação (UC). As ZAs estão sujeitas a um zoneamento específico que regula seu uso podendo permitir ou restringir certas atividades econômicas e o parcelamento do solo, garantindo que as ZAs cumpram sua função de conservação ambiental (BRANDÃO et al. 2021).

Um dos principais desafios no uso da terra em zonas de amortecimento é equilibrar as necessidades econômicas das comunidades locais com os objetivos de conservação, pois podem surgir conflitos quando há restrições ao uso da terra que afetam o sustento das pessoas. Nesse contexto, é essencial envolver as comunidades no planejamento e na tomada de decisões para encontrar soluções que beneficiem tanto as pessoas quanto o meio ambiente (BATISTA; FARIA; TIBIRIÇÁ, 2020).

Por isso, é fundamental que os gestores tenham conhecimento dos principais instrumentos das políticas públicas relacionadas às áreas de conservação ambiental, bem como suas relações com outras políticas afins. Só assim, a gestão da unidade poderá se dar de modo articulado às demais (RAMOS, 2012).

Integrar o uso de tecnologias no processo de gestão das UCs, também se torna uma oportunidade para engajar as comunidades locais na conservação ambiental. Isso pode ser feito ao compartilhar os dados obtidos e ao demonstrar, visualmente, os impactos das atividades humanas e os benefícios da conservação. Assim, torna-se viável desenvolver

soluções que sejam economicamente viáveis para as comunidades e que, ao mesmo tempo, garantam a proteção do meio ambiente para as gerações futuras.

Tecnologias como o Sensoriamento Remoto permitem a coleta de dados sem interferência direta no local, o que é essencial para áreas de difícil acesso ou para minimizar o impacto humano. Ao processar e interpretar imagens obtidas remotamente é possível obter informações úteis para o planejamento e gestão das UCs permitindo a realização de um diagnóstico ambiental detalhado, que serve como base para a elaboração de um plano de manejo eficaz.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O Parque Nacional da Serra da Bodoquena (Figura 1) engloba um planalto carbonático que se encontra como divisor de águas entre a bacia do rio Paraguai e as sub-bacias dos rios Apa e Miranda (BRASIL, 1982). A origem da Serra da Bodoquena pode ser explicada pela movimentação de massas continentais.

Segundo Boggiani et al. (2009) há aproximadamente 580 a 540 milhões de anos, houve deposição de carbonatos no período Neoproterozóico, após isso, o supercontinente Rodinia se dividiu e abriu um oceano. Os autores ainda descrevem que:

Por volta de 520-530 milhões de anos atrás, as massas continentais, antes separadas, passaram-se a se aproximar e os sedimentos anteriormente depositados foram intensamente dobrados e onde era um oceano formou-se elevada cadeia de montanhas (Faixa de Dobramentos Paraguai) com as rochas carbonáticas ficando expostas e sujeitas à erosão até os tempos atuais (BOGGIANI et al., 2009 p. 10).

Essa Faixa de Dobramentos Paraguai que aflora na região é denominada de Serra da Bodoquena de acordo com Campanha et al., (2011, p. 80):

Situa-se na borda sul do Cráton Amazônico e a leste do bloco cratônico do Rio Apa, formando um arco com a convexidade voltada para os núcleos cratônicos, tem comprimento aproximado de 1.000 km e caracteriza-se por intensa deformação linear polifásica, longos falhamentos inversos e/ou empurrão. Encontra-se exposta em duas grandes regiões, a porção setentrional, em Mato Grosso, e a porção meridional, aflorante na Serra da Bodoquena e maciço de Urucum (Corumbá), em Mato Grosso do Sul.

Após a exposição desse estreito planalto carbonático, o trabalho das águas tanto da chuva quanto dos rios locais, ajudou a moldar a paisagem, pois as principais rochas carbonáticas que formam o planalto (calcários e dolomitos) são dissolvidas devido à reação química entre o ácido carbônico e o carbonato de cálcio, originando relevos cársticos incluindo cavernas, lapiás, tufas, sumidouros, ressurgências e outras feições (BRASIL, 1982).

Como visto, a drenagem local tem grande influência na geologia e conseqüentemente no tipo de relevo encontrado. Sallun Filho; Boggiani; Karmann (2004) destacam que o fragmento sul da Serra da Bodoquena (área de abrangência do Rio Perdido) apresenta relevo predominantemente cárstico com presença de aquíferos e relevo suave em comparação ao fragmento norte (abrangência do Rio Salobra) que apresenta características fluviais e formações de escarpas íngremes e estreitas.

Na área de estudo, a drenagem superficial direciona-se majoritariamente para duas importantes bacias: ao norte, em direção ao rio Salobra, e ao sul, ao rio Perdido. Esses sistemas fluviais possuem aquíferos importantes para a captação e o armazenamento das águas pluviais, contribuindo para a dinâmica hídrica. Entre os principais cursos d'água que nascem no interior do PNSBq, destacam-se os córregos Jatobá e Tarumã, além do rio Aquidabã. Já na borda oriental, sobressaem os rios da Prata, Formoso e Peixe. O rio Salobra, notável por seu cânion, e o rio Perdido, que eventualmente desaparece no rio Apa, são elementos marcantes da paisagem do Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PLANO DE MANEJO, 2013).

4.1.1 Conflitos no Parque Nacional da Serra da Bodoquena

Na zona de amortecimento, existem áreas de uso sustentável, o que permite a exploração controlada dos recursos naturais, enquanto o planalto da Serra da Bodoquena, dentro dos limites do Parque, é classificado como Proteção Integral, com o objetivo de garantir a conservação total da área. Na ZA existem quatro RPPNs e dois assentamentos (Figura 9).

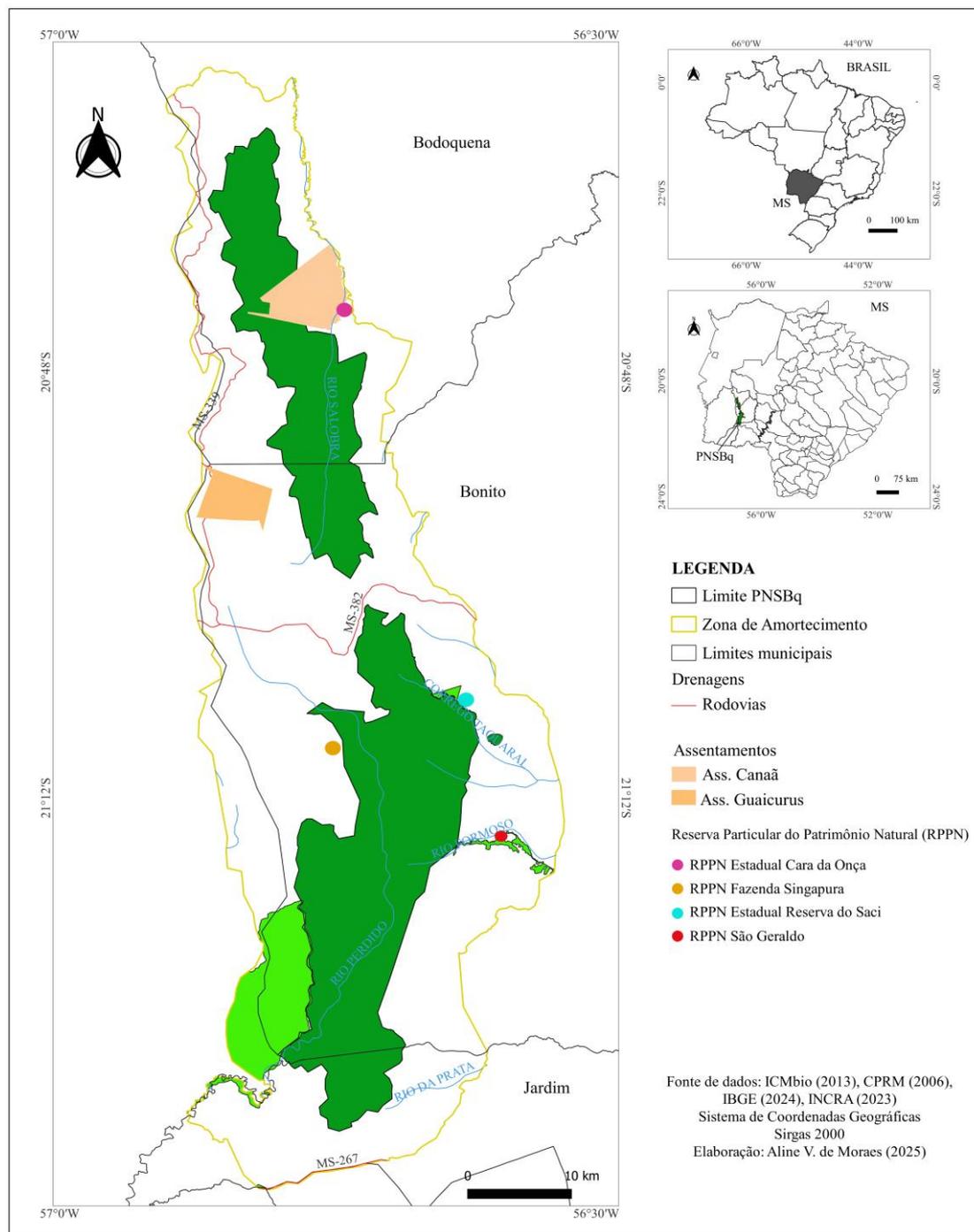


Figura 9 - Mapa de Uso Sustentável e Proteção Integral do PNSBq.

Apesar de a zona de amortecimento do PNSBq contar com áreas de uso sustentável e de proteção integral, ainda existem conflitos relacionados à exploração dos recursos naturais, ao uso do solo e à preservação ambiental, especialmente devido à proximidade com atividades agrícolas e territórios indígenas.

Brambilla (2007) destaca em sua pesquisa a percepção ambiental que os produtores rurais da região têm sobre o PNSBq e seu impacto no desenvolvimento local. A pesquisa mostra que, embora muitos reconheçam a importância da conservação e estejam dispostos a colaborar com a proteção da área, existem preocupações com a falta de manejo adequado das terras indenizadas pelo governo. Essa situação torna o Parque vulnerável a invasões, extração ilegal de vegetação nativa, caça e pastoreio irregular de gado.

Outra questão conflitante se deu devido à sobreposição do Parque com o Assentamento Canaã, criado como parte de uma política de reforma agrária. A criação do Parque gerou dificuldades para os moradores, que já estavam estabelecidos na área. A imposição de restrições ao uso da terra, sem um plano adequado de realocação ou compensação, gerou insegurança fundiária e prejudicou a economia local, que dependia principalmente da pecuária. O governo não ofereceu um suporte eficaz para os assentados, criando um impasse entre a conservação ambiental e os direitos territoriais dos moradores, que precisavam de alternativas sustentáveis para continuar sua subsistência sem prejudicar o meio ambiente (RIBEIRO, 2010).

Marques (2022) aponta que um dos principais conflitos é o impacto da agricultura mecanizada e o uso excessivo de defensivos agrícolas, que afetam negativamente os ecossistemas frágeis da região, especialmente os ambientes cársticos.

A autora ainda ressalta que a Serra da Bodoquena faz divisa com a Terra Indígena Kadiwéu, o que implica em uma sobreposição de interesses entre as atividades de conservação e as comunidades indígenas locais. Embora não entre em detalhes sobre os conflitos diretamente, a proximidade entre o Parque e a terra indígena pode gerar desafios relacionados à gestão de recursos naturais, direitos territoriais e uso sustentável dos recursos, considerando a importância dos territórios indígenas para a preservação cultural e ambiental.

Os conflitos no Parque Nacional da Serra da Bodoquena, desde a sua criação, refletem a difícil tentativa de equilibrar a conservação ambiental com as necessidades econômicas e territoriais das comunidades locais, evidenciando a complexidade da gestão de áreas de proteção em regiões com intensa atividade humana.

4.2 Aspectos Físicos Gerais do Parque Nacional da Serra da Bodoquena

4.2.1 Clima

O clima do PNSBq é do tipo Aw, caracterizado por savana tropical, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação anual varia entre 1.000 e 2.000 mm, concentrando-se

principalmente entre outubro e abril. No restante do ano, a chuva é escassa e rara. As temperaturas médias mensais ficam acima de 18°C, sendo que o mês mais quente antecede o período de maior pluviosidade. Em junho e julho, ocorrem as temperaturas mais baixas, com mínimas absolutas frequentemente abaixo de 0°C na Serra da Bodoquena (JUSTO, 2000).

4.2.2 Vegetação

A vegetação dentro do limite do PNSBq é composta por Floresta Estacional Decidual Submontana, que ocupa 92,3% da área total (673,101 km²), Floresta Estacional Semidecidual Aluvial com 0,16% da área total (1,184 km²), Savana Arborizada, com 0,54% da área total (3,944 km²), Savana Florestada, que corresponde a 0,42% da área total (3,078 km²), Savana Gramíneo-Lenhosa, que ocupa 1,27% da área total (9,254 km²), e pastagens, que representam 5,3% da área total (38,953 km²).

A Floresta Estacional Semidecidual Submontana é uma formação que ocorre em áreas montanhosas e de planalto, com vegetação adaptada às mudanças sazonais de clima e a diferentes condições edáficas, é importante na transição entre diferentes tipos de ecossistemas e é caracterizada pela presença de várias espécies de árvores com características típicas tanto da floresta tropical quanto das áreas mais secas (IBGE, 2012).

A Floresta Estacional Semidecidual Aluvial é uma formação florestal adaptada a condições de alternância entre alagamento e seca, é uma formação ribeirinha com estrutura semelhante a mata ciliar (Pereira, 2009).

A savana arborizada é caracterizada por árvores baixas e espaçadas, com um denso estrato herbáceo, e ocorre em áreas de clima tropical estacional e solos profundos. Já a savana florestada possui uma vegetação mais densa, com árvores maiores e semelhantes às florestas estacionais, mas com uma composição florística distinta. Por fim, a savana gramíneo-lenhosa, ou campo-limpo de cerrado, apresenta uma predominância de gramíneas entremeadas por plantas lenhosas raquíticas e é adaptada ao fogo e ao pastoreio, com solo pobre em nutrientes e clima tropical com estação seca (IBGE, 2012).

4.2.3 Solos

No limite do PNSBq estão presentes 8 classes de solos, sendo elas: Gleissolo, Chernossolos, Nitossolo, Argissolo, Neossolos e vertissolo, que foram descritas de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Na Zona de Amortecimento encontram-se o Neossolo Litólico Eutrófico, Neossolo Regolítico Eutrófico e os Vertissolos Háplicos Carbonáticos (BDIA, 2021).

4.2.4 Geologia

Dentro do limite do PNSBq são encontradas 4 formações geológicas com suas datações marcadas em períodos distintos, sendo: Depósitos Aluvionares (Quaternário), Formação Xaraiés (Quaternário), Formação Bocaina (Neoproterozóico) e Formação Cerradinho (Neoproterozóico) (BRASIL, 2006).

4.2.5 Geomorfologia

O limite do PNSBq está dividido em duas regiões geomorfológicas: Região Planalto da Bodoquena e Depressões Sul-Matogrossenses. A primeira região compreende a Serra da Bodoquena e a segunda a Depressão do Rio da Prata (BDIA, 2021).

4.3 Proposta Metodológica

A proposta metodológica consiste em aplicar as técnicas do Processamento Digital de Imagens com base em Crósta (1992), as quais visam melhorar a qualidade da imagem digital, refinando sua estrutura geométrica e espectral. Essas técnicas foram aplicadas na área de estudo, visando a identificação de feições geológicas e geomorfológicas, por meio do uso de imagens Landsat 8 e Modelo Digital de Terreno (MDT).

As técnicas que foram aplicadas nas imagens do landsat 8 são: correção atmosférica, realce de contraste, composição colorida e aritmética entre bandas.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi empregado para auxiliar na etapa de fotogeologia e na análise geomorfológica, com a intenção de visualizar estruturas ou lineamentos, bem como na análise da rede de drenagem. A figura 10 apresenta o fluxograma da proposta metodológica.

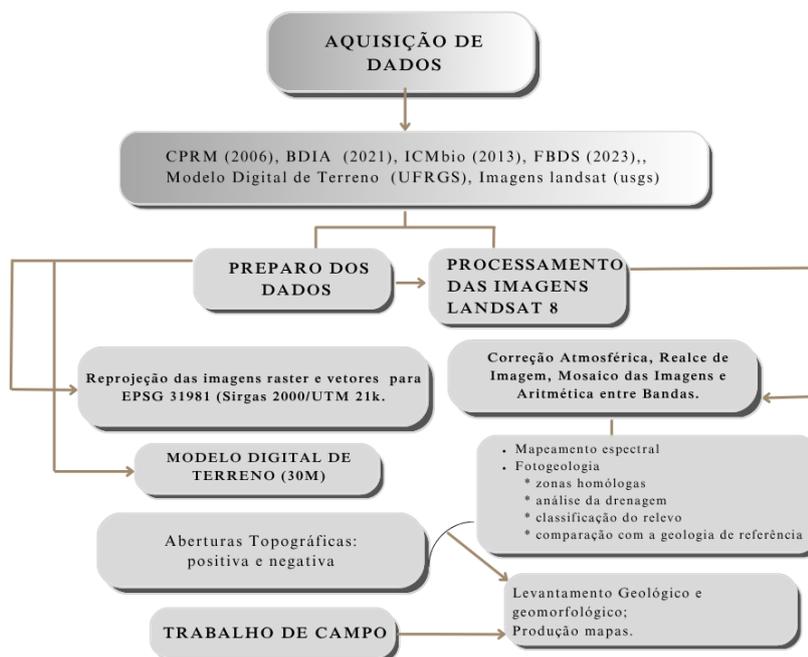


Figura 10 - Fluxograma Metodológico. Elaborado pelo autor (2025).

4.4 Procedimentos Técnicos

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado como base geológica o mapa geológico do Estado do Mato Grosso do Sul na escala de 1:1.000.000, disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006). A base geomorfológica foi obtida a partir do Banco de Informações Ambientais (BDIA, 2021), que utiliza escala de 1:250.000.

Optou-se pela base geológica da CPRM, mesmo em uma escala pequena, devido à riqueza de informações que ela apresenta. Como destacado por Paranhos Filho (2020, p.47), “o mapa da CPRM, apesar da escala, oferece um nível de detalhamento adequado sem comprometer a qualidade das informações”, garantindo uma visão abrangente e confiável da geologia local.

Os limites do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, juntamente com sua Zona de Amortecimento (ZA), foram adquiridos no site do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio, 2013). As rodovias foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), enquanto a rede de drenagem da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2023).

O Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado foi adquirido no site da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (<https://www.ufrgs.br/hge/anadem-modelo-digital->

de-terreno-mdt/). O MDT foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus GLO-30, com a remoção do viés causado pela vegetação.

As imagens do satélite Landsat 8 utilizadas neste estudo foram adquiridas no portal United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer e correspondem à data de 26 de agosto de 2022. Essas imagens foram geradas pelo satélite nesta data e posteriormente obtidas para análise. Foram utilizadas duas cenas correspondentes às órbitas/pontos 226_074 e 226_075, que abrangem toda a área de pesquisa.

A escolha dessa data se deve ao fato de corresponder ao período seco na região, o que favorece a análise, pois há menor cobertura de nuvens e reduzida interferência da vegetação densa, permitindo melhor identificação das feições do terreno.

O Landsat 8 possui uma resolução espacial de 30 metros e conta com 11 bandas espectrais, das quais foram selecionadas as bandas 4 (Red), 5 (NIR), 6 (SWIR-1) e 7 (SWIR-2) (Tabela 1) devido à sua relevância para análises geológicas e geomorfológicas. Essas bandas são especialmente úteis para a identificação de diferentes tipos de solo e rochas, bem como para o mapeamento de feições estruturais na superfície terrestre.

Tabela 1 - Características das selecionadas do satélite OLI/Landsat 8.

Bandas Landsat-8/sensor OLI	Resolução Espacial	Faixa Espectral (μm)
Banda 4	30 metros	Red 0.636 - 0.673
Banda 5	30 metros	NIR 0.851 - 0.879
Banda 6	30 metros	SWIR-1 1.566 - 1.651
Banda 7	30 metros	SWIR-2 2.11 - 2.300

Elaborado pelo autor (2025).

As imagens foram reprojatadas para a projeção local por meio do processamento em lote. O parque encontra-se na zona 21k sendo reprojatado para Sirgas 2000/Zona UTM 21S EPSG 31981. Todos os procedimentos do PDI e recortes foram realizados no Software Qgis na versão 3.22.

4.4.1 Processamento digital das Imagens Landsat 8

Após a aquisição das imagens Landsat 8 da área de estudo, que abrangem duas cenas diferentes, cada uma correspondente a uma órbita/ponto específica, o primeiro passo foi realizar a correção atmosférica de cada cena separadamente garantindo a consistência dos dados antes de integrá-los em um mosaico e recortar para a área de estudo.

A aplicação da correção atmosférica remove os efeitos da atmosfera que possam distorcer as informações espectrais. Utilizando o método de Subtração do Objeto Escuro (Dark Object Subtraction - DOS), elaborado por Chavez, 1988, a correção atmosférica foi

realizada no QGIS 3.22 com o auxílio do plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), que facilita a automação do processo e o ajuste dos parâmetros necessários.

Para melhorar a visualização da imagem, foi utilizado o ajuste automático de contraste chamado “Cumulativa corte de Contagem”, oferecido pelo QGIS. Esse método se mostrou eficaz, pois ajusta o intervalo de valores mínimo e máximo, realçando os tons de cinza.

A correção atmosférica e o ajuste de contraste nas imagens de satélite aprimoram a capacidade de analisar aspectos geológicos e geomorfológicos da superfície terrestre, pois aumentam a clareza das texturas do terreno permitindo melhor identificação de feições como falhas, fraturas, diferentes formações rochosas e formas de relevo, como vales, encostas e estruturas de erosão, contribuindo para uma interpretação visual mais precisa das imagens orbitais.

A Figura 11 apresenta as imagens do satélite landsat 8, bandas 4, 5, 6 e 7 com correção atmosférica e ajuste de contraste para a órbita/ponto 226_074, que abrange a porção norte do Parque. Já a Figura 12 apresenta as mesmas bandas corrigidas e com ajuste, porém para a cena da órbita/ponto 226_075, que compreende a porção sul do parque.

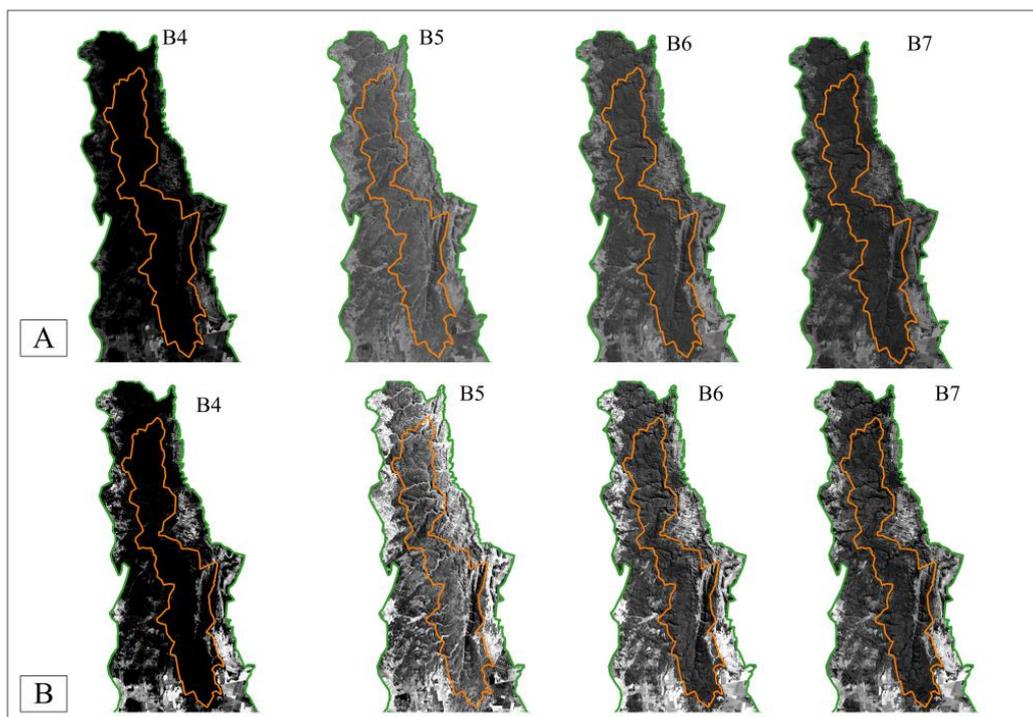


Figura 11 - órbita/ponto 226_074, porção norte, data de geração das imagens 26/08/2022. A) bandas 4, 5, 6 e 7 do OLI/landsat 8 com atmosfera corrigida e B) com realce de contraste. Elaborado pelo autor (2025).

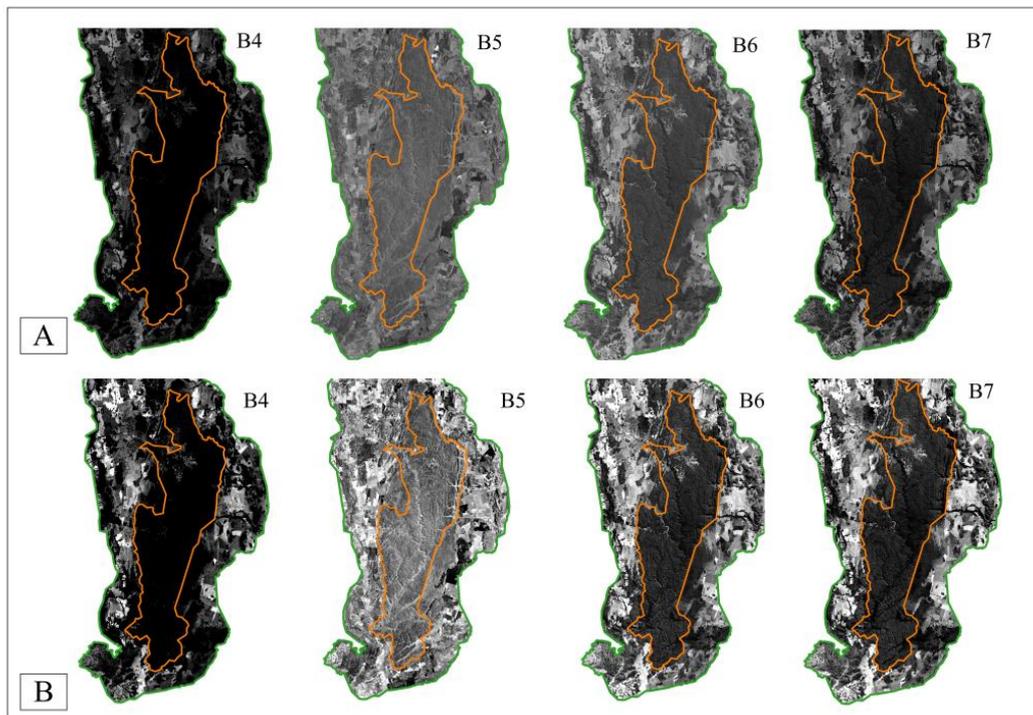


Figura 12 - - órbita/ponto 226_075, porção sul, data de geração das imagens 26/08/2022. A) bandas 4, 5, 6 e 7 do OLI/landsat 8 com atmosfera corrigida e B) com realce de contraste. Elaborado pelo autor (2025).

Após a correção atmosférica, as cenas foram mosaicadas para realizar a composição colorida das imagens, primeiramente foram combinadas as bandas R5G6B4 e depois as bandas R7G6B4 (Figura 13).

A correção atmosférica pelo método DOS1 aplicada às composições coloridas resultou em melhorias na qualidade das imagens. Na composição R5G6B4, a correção atenuou a interferência atmosférica e houve o aumento de contraste, especialmente nas áreas de vegetação e solo exposto, onde as cores se tornaram mais vivas e saturadas.

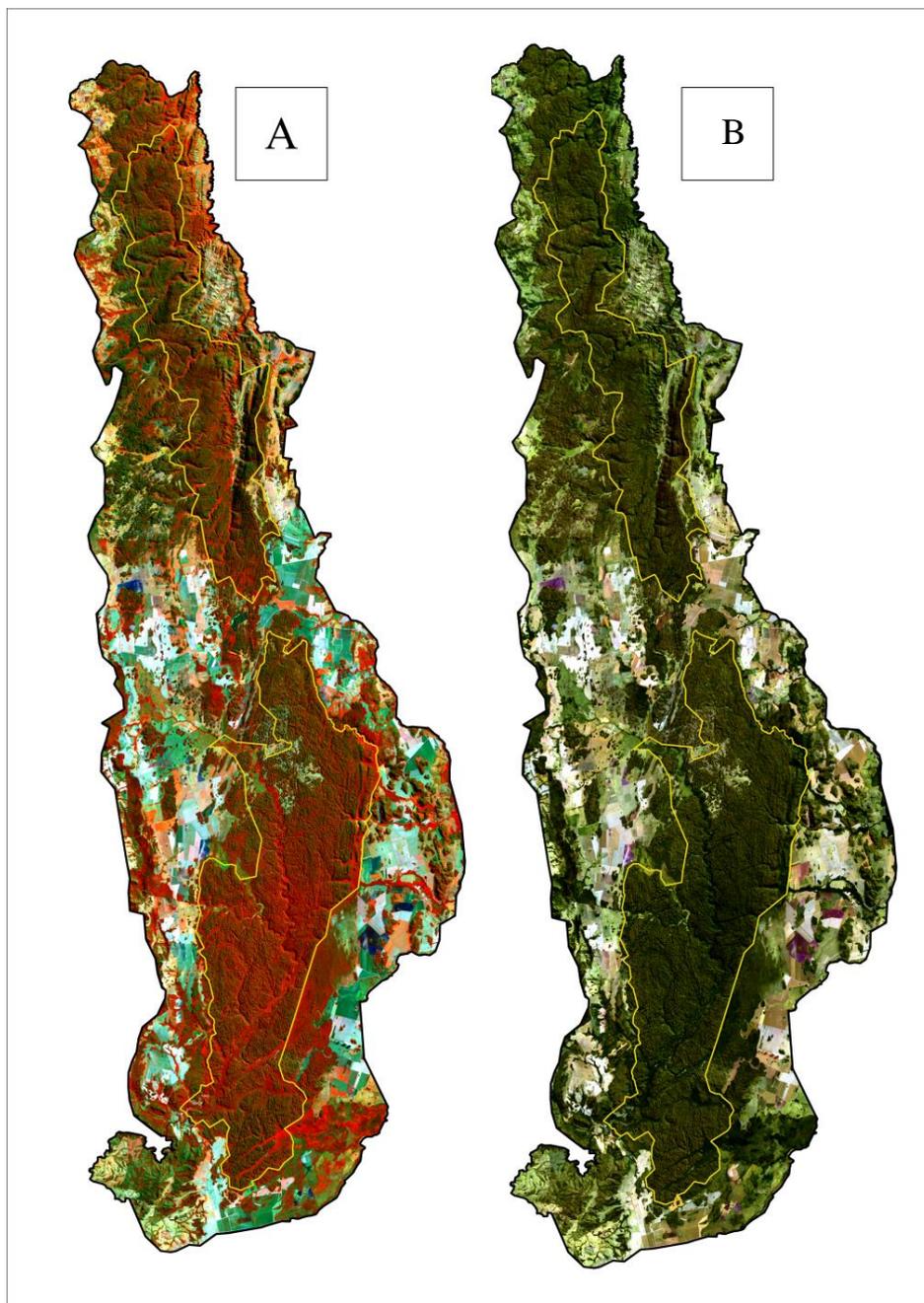


Figura 13 - Imagens do sensor OLI/Landsat 8, data de geração das Imagens: 26/08/2022. A) Composição R5G6B4 com correção atmosférica utilizando o método DOS1. B) Composição R7G6B4 com correção atmosférica pelo mesmo método. Elaborado pelo autor (2025).

A aritmética entre bandas foi utilizada para auxiliar na identificação de áreas com menor cobertura vegetal dentro do Parque, servindo como ferramenta para a delimitação de possíveis afloramentos calcários. A análise permitiu destacar áreas com potencial para a ocorrência de formações características de ambientes cársticos, como lápias, conforme os resultados que serão apresentados a seguir.

De acordo com Meneses, Almeida e Baptista (2019), o calcário apresenta maior refletância nas bandas infravermelhas. Dessa forma foi utilizado a banda 7 (SWIR 2) e 5 (NIR) para identificar calcário exposto realizando a razão entre as bandas:

$$Razão = \frac{SWIR\ 2}{NIR}$$

Em que,

SWIR 2: infravermelho de onda curta 2;

NIR: infravermelho próximo

Os resultados obtidos a partir dessa razão podem ser observados na Figura 14, na qual serão destacadas as áreas com maior probabilidade de presença de calcário exposto.

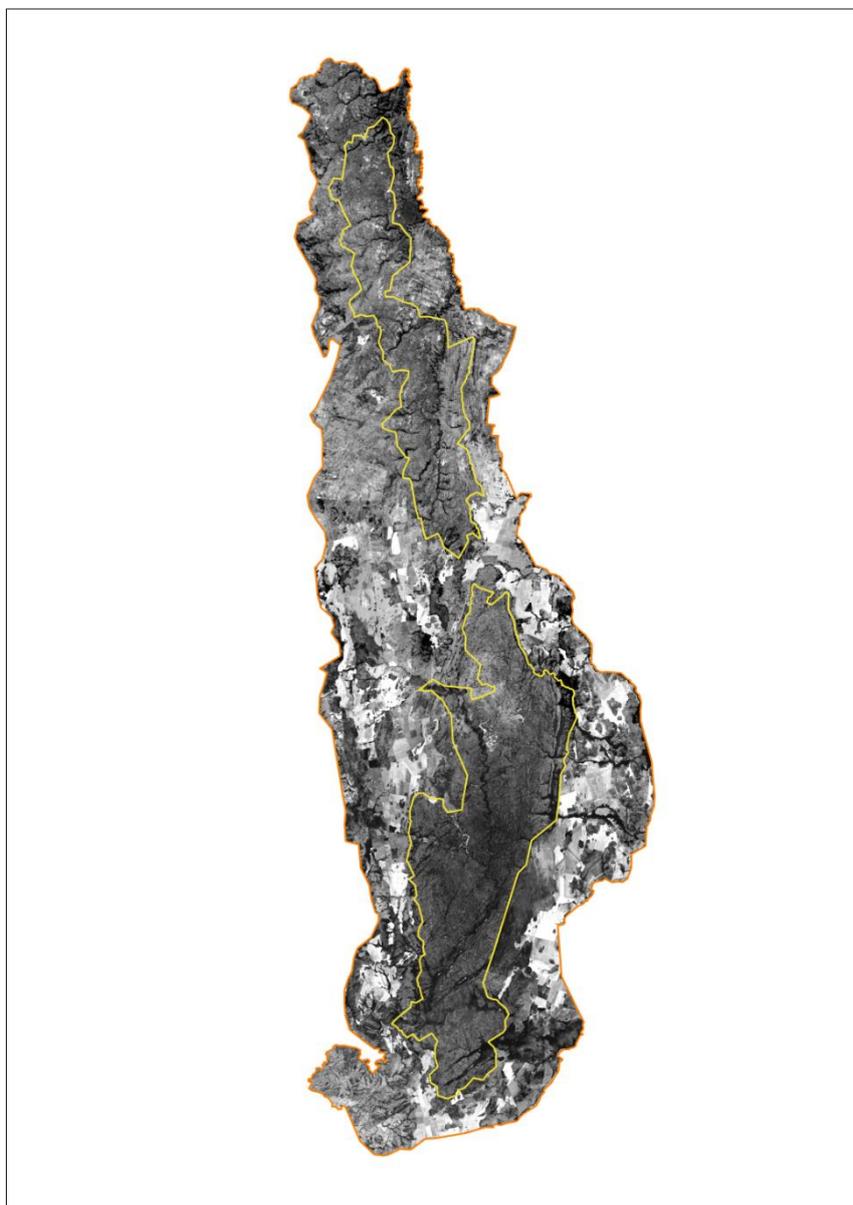


Figura 14 - Resultado da razão entre as bandas 7 e 5. Elaborado pelo autor (2025).

Após a identificação das áreas com maior refletância associadas ao calcário exposto, essas regiões foram separadas para análise. Para melhor visualização e diferenciação dos alvos, foi utilizada a composição colorida R7G6B4 (Figura 13b).

A banda 7 corresponde ao infravermelho de ondas curtas 2 (SWIR 2) e captura informações na faixa de comprimento de onda de 2,11 a 2,300 μm , a banda 6 corresponde ao infravermelho de ondas curtas 1 (SWIR 1) com comprimentos de onda de aproximadamente 1,57 a 1,75 μm e a banda 4 corresponde vermelho com comprimentos de onda de aproximadamente 0,64 a 0,67 μm .

Essa composição foi analisada juntamente com o resultado da razão entre as bandas, permitindo realçar as áreas de possível afloramento de calcário. Em seguida, com o auxílio do plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), foram geradas amostras de treinamento e assinaturas espectrais, possibilitando a análise do gráfico de reflectância e a confirmação da presença de calcário exposto.

4.4.2 Fotogeologia

A fotogeologia, que incorpora o processo de segmentação, é uma técnica que envolve a interpretação visual de características geológicas a partir de imagens de satélite ou fotografias aéreas, auxiliando na identificação de estruturas geológicas e na análise da formação do relevo, exigindo, assim, conhecimento em geomorfologia. Essa técnica baseia-se no “estabelecimento de conjuntos homólogos ou zonas homólogas, que consiste no estudo das propriedades do relevo e dos elementos texturais e estruturais” (ARCANJO, 2011, p. 30).

- **Zonas homólogas, análise do relevo e da rede drenagem**

A definição das zonas homólogas seguiu os procedimentos metodológicos aplicados por Paranhos Filho (2020), utilizando a interpretação integrada de imagens de satélite e do Modelo Digital do Terreno (MDT). Foram empregadas as composições coloridas RGB 764 (cores naturais) e RGB 564 (realce de feições estruturais) apresentadas na figura 13, permitindo a identificação de padrões de resposta espectral característicos de cada zona.

Para a análise das formas de relevo, foi utilizado o parâmetro de abertura topográfica, conforme proposto por Yokoyama; Shirasawa; Pike (2002) utilizando o MDT. Esse método permite evidenciar concavidades e convexidades da superfície, sendo uma alternativa às técnicas tradicionais de sombreamento de relevo, que dependem da posição da iluminação.

A abertura topográfica é dividida em dois componentes principais (Figura 15):

- **Abertura positiva (Op):** Representa o ângulo zenital máximo visível a partir de um ponto do terreno, ou seja, a abertura do céu acima desse ponto. Valores altos de Op indicam áreas expostas, como topos de morros e cristas.
- **Abertura negativa (On):** Representa o ângulo nadiral máximo visível abaixo do ponto de observação, ou seja, a obstrução do horizonte devido à presença de formas negativas do relevo, como vales e depressões.

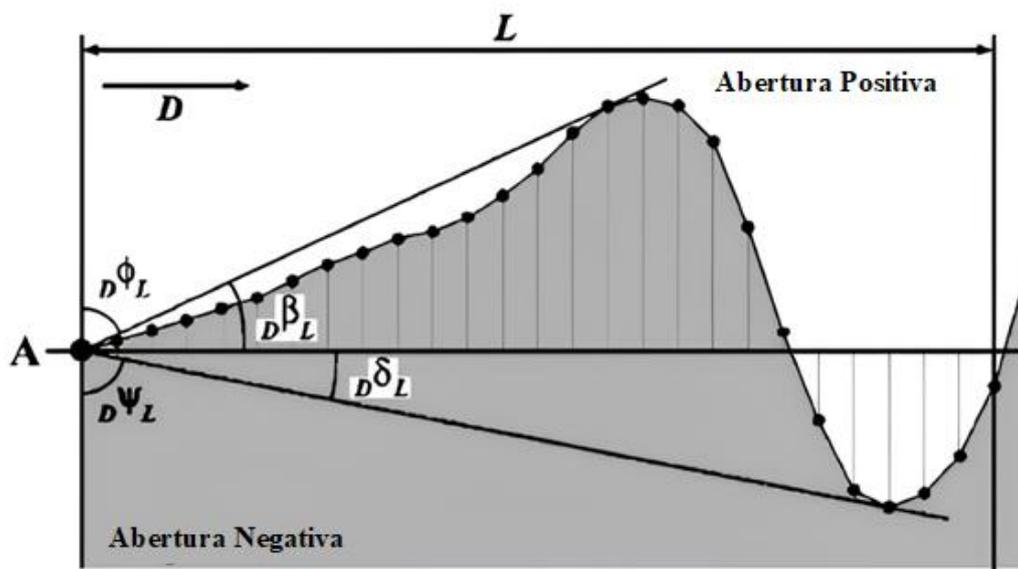


Figura 15 – Abertura Topográfica. Abertura da superfície é representada pelos ângulos, zenital ($D\phi_L$) e nadir ($D\psi_L$), calculados em oito direções (D) dentro de um limite radial (L) ao redor do ponto central (A). Os ângulos de elevação ($D\beta_L$) e ($D\delta_L$) variam conforme a topografia do terreno, sendo positivos ou negativos. Fonte: YOKOYAMA; Shirasawa; Pike (2002).

Essa abordagem foi implementada no software QGIS, por meio da ferramenta "Topographic Openness", que faz parte dos algoritmos do SAGA GIS. A automação do cálculo e a aplicação prática desse método foram aplicadas por Daxer (2020), facilitando sua aplicação em análises geomorfológicas.

Os parâmetros de cálculo (Figura 16) seguiram as recomendações de Yokoyama, Shirasawa; Pike (2002) e Daxer (2020), com um limite radial de 2000 metros e divisão do cálculo em oito setores azimutais. Como resultado, foram gerados os mapas de abertura positiva e abertura que serviram como base para a interpretação das formas do relevo, auxiliando na identificação de feições como cristas e vales, bem como na análise da morfologia da paisagem.

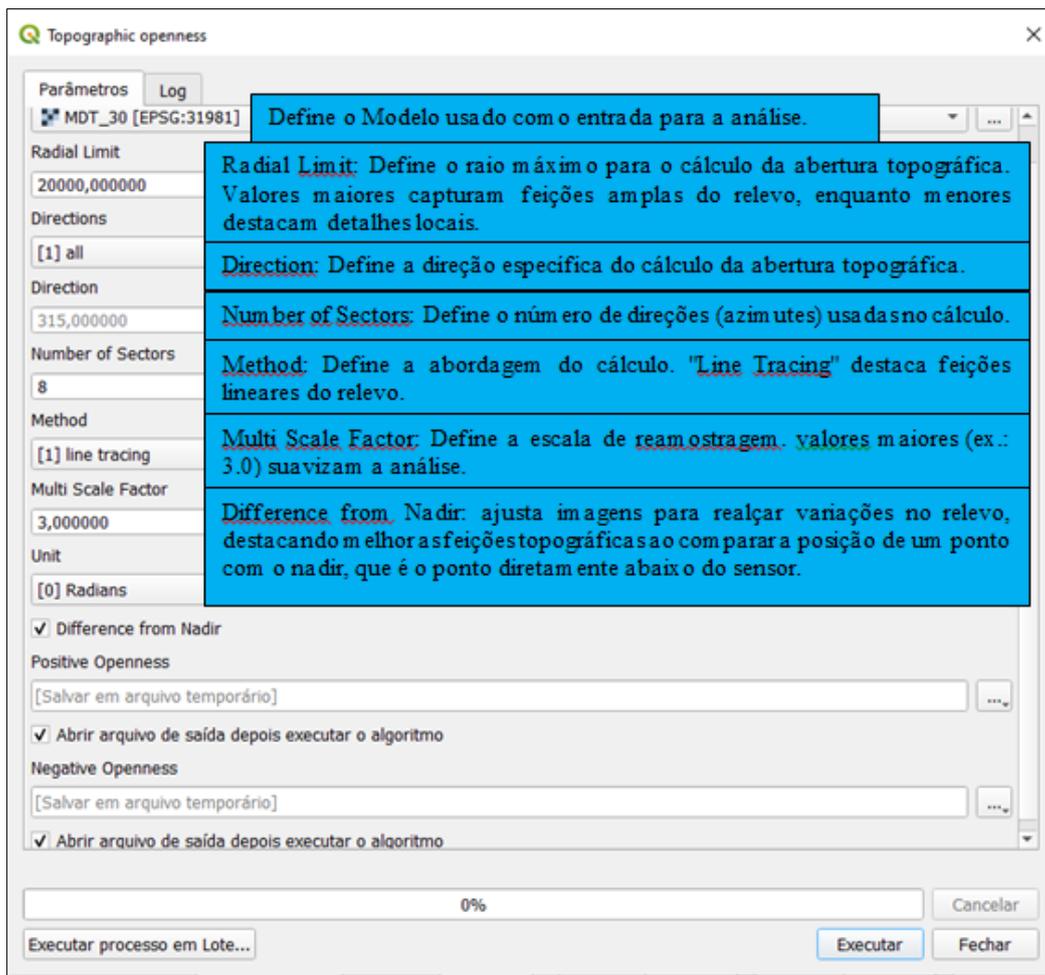


Figura 16 - Parâmetros estabelecidos para a obtenção das aberturas topográficas.

A análise considerou ainda a textura do relevo e o padrão de drenagem, conforme descrito por Paranhos Filho (2020), identificando variações na densidade e organização espacial das feições geomorfológicas.

A análise da rede de drenagem foi realizada utilizando a rede de drenagem da FBDS (2023), na qual algumas linhas de drenagem foram reajustadas com base nas imagens do Landsat 8. A classificação da drenagem foi realizada seguindo os critérios estabelecidos na figura 17.

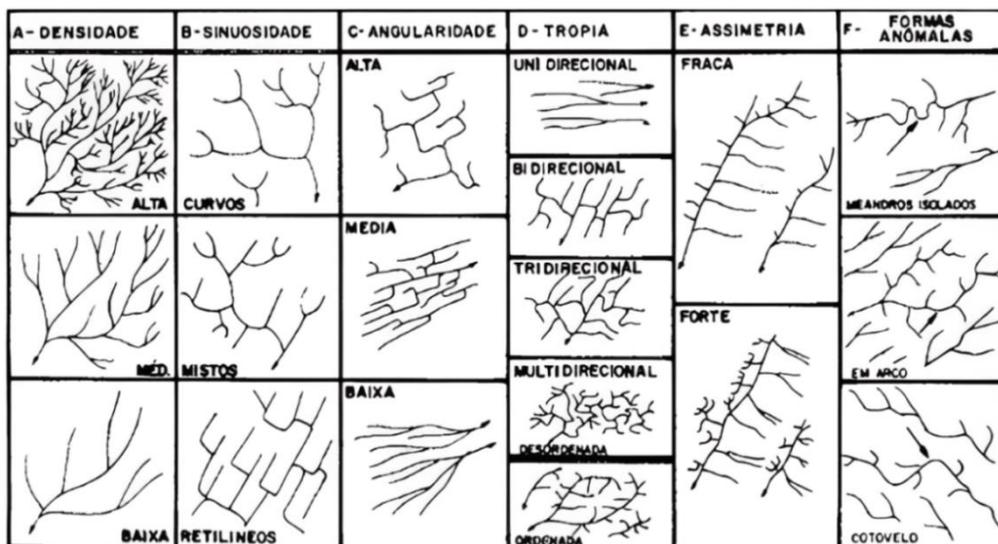


Figura 17 - Critérios para classificação da drenagem. Fonte: Soares e Fiori (1976).

Para a classificação do relevo deve-se levar em consideração propriedades de densidade de textura, quebra positiva, quebra negativa, assimetria e formas das encostas (Figura 18).

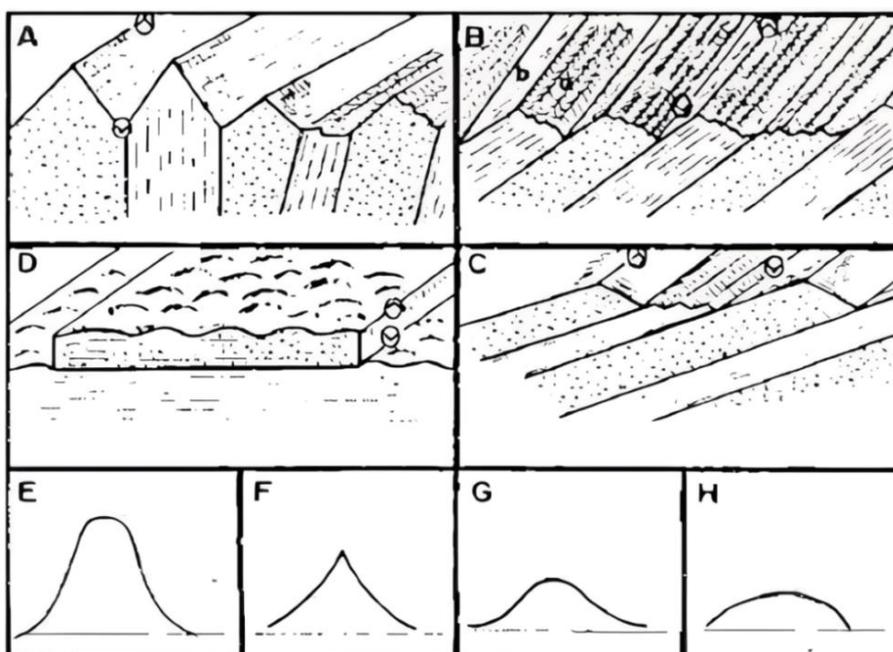


Figura 18 - Representação das formas de relevo em diferentes padrões de estrutura geológica: Densidade de textura de relevo: alta (a) e baixa (b); quebras positivas (Λ) e negativas (V); Assimetria do relevo: simétrico (A), fracamente assimétrico (B), moderadamente assimétrico (C), fortemente assimétrico (D); Tipo de encosta: côncavo-retilíneo-convexa (E), côncava (F), côncavoconvexa (G) e convexa (H). Fonte: Soares; Fiori (1976).

Com o auxílio dos dados do MDT e da rede de drenagem, iniciou-se o processo de segmentação da composição colorida R5G6B4 para a delimitação das zonas homólogas. Para

isso, foi criada uma nova camada vetorial do tipo linha, considerando critérios como cor, textura, repetição de formas e estruturas semelhantes na cena. As linhas geradas foram posteriormente comparadas com a geologia de referência da CPRM (2006).

O processo de segmentação foi iniciado pelas bordas da imagem, pois existem áreas muito pequenas que trouxeram certa dificuldade na delimitação devido aos pixels que extrapolam quando se aplica zoom.

4.5 Trabalho de campo

A primeira etapa do trabalho de campo foi realizada em 23 de abril de 2024 na Trilha Dente de Cão, localizada no fragmento sul do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, no município de Bodoquena. O principal objetivo foi a observação do relevo e da paisagem, além da verificação da presença de lapiás identificados previamente por meio da razão entre bandas espectrais.

A saída de campo partiu da cidade de Bonito (MS) pela MS-178 em direção à trilha Dente de Cão. O trajeto (Figura 19), de aproximadamente 60 km, seguiu via Fazenda Remanso, passando por áreas de vegetação característica da região e terrenos representativos da geomorfologia local.



Figura 19 - Trajeto Bonito. Fonte: Google Earth (2024).

A Trilha Dente de Cão (Figura 20) possui aproximadamente 2 km de extensão e é uma das mais desafiadoras do Parque Nacional da Serra da Bodoquena devido à sua alta

declividade. O trajeto de ida e volta teve duração de cerca de quatro horas com altitudes que variam entre 280 a 440 metros.

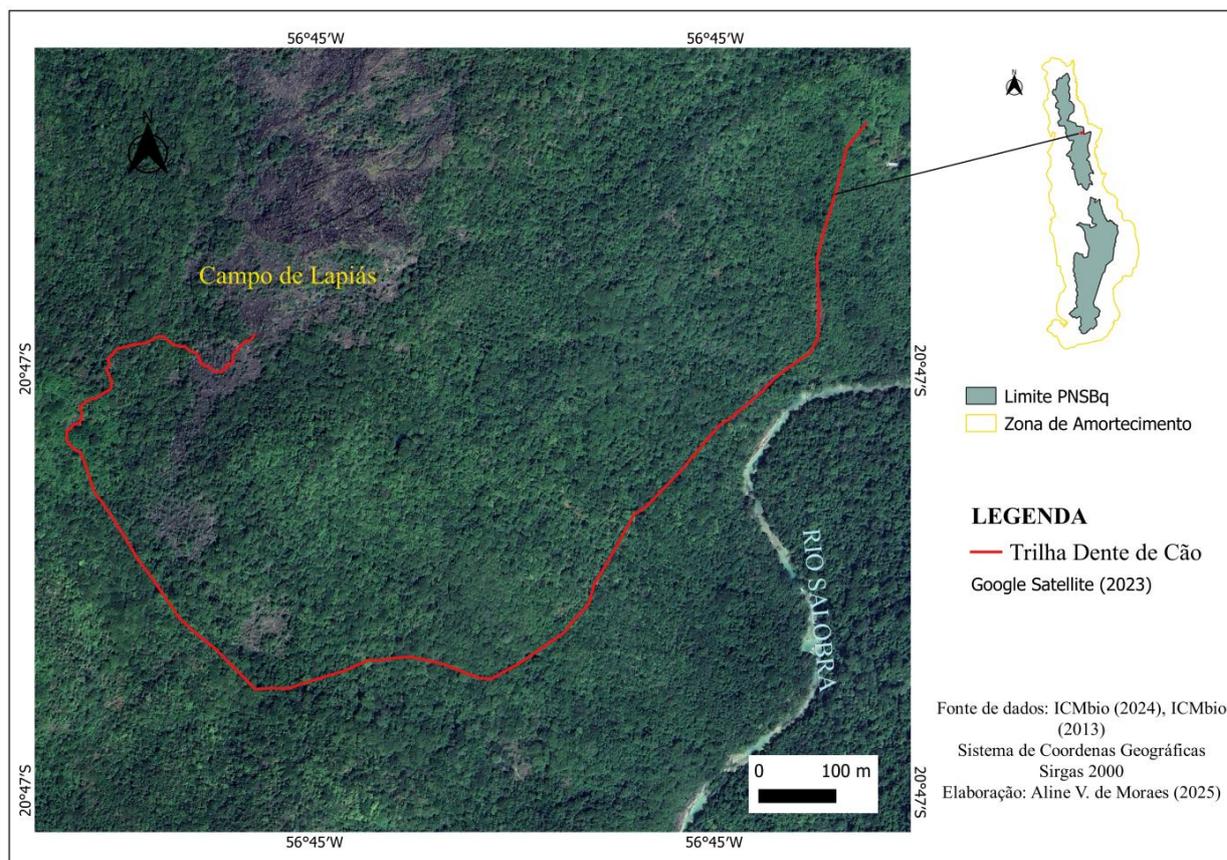


Figura 20 - Trilha Dente de Cão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Geologia

A partir da compilação dos dados de geologia, foi identificada a presença de quatro classes geológicas dentro dos limites do Parque: Depósitos Aluvionares (Quaternário), Formação Xaraiés (Quaternário), Formação Bocaina (Neoproterozóico) e Formação Cerradinho (Neoproterozóico) (Figura 21).

O perímetro que abrange a ZA, também é marcado pelos Depósitos Aluvionares, Formação Xaraiés, Bocaina, Cerradinho, além de outras litologias (Figura 21), como as pertencentes ao Grupo Cuiabá (filito, mármore, metagrauvaca, quartzito, quartzito conglomerático, quartzito grafitoso e xisto), Grupo Alto Tereré (quartzito), Granito Alumiador (biotita granito, granófiro, microgranito), Formação Puga (Arenito, Lamito, Diamictito), Maciço Rio Apa (biotita gnaisse, hornblenda gnaisse), Unidade Metavulcano-Sedimentar Rio Bacuri (anfíbólio xisto) e Formação Tamengo (dolomito, arenito e brechas carbonáticas).

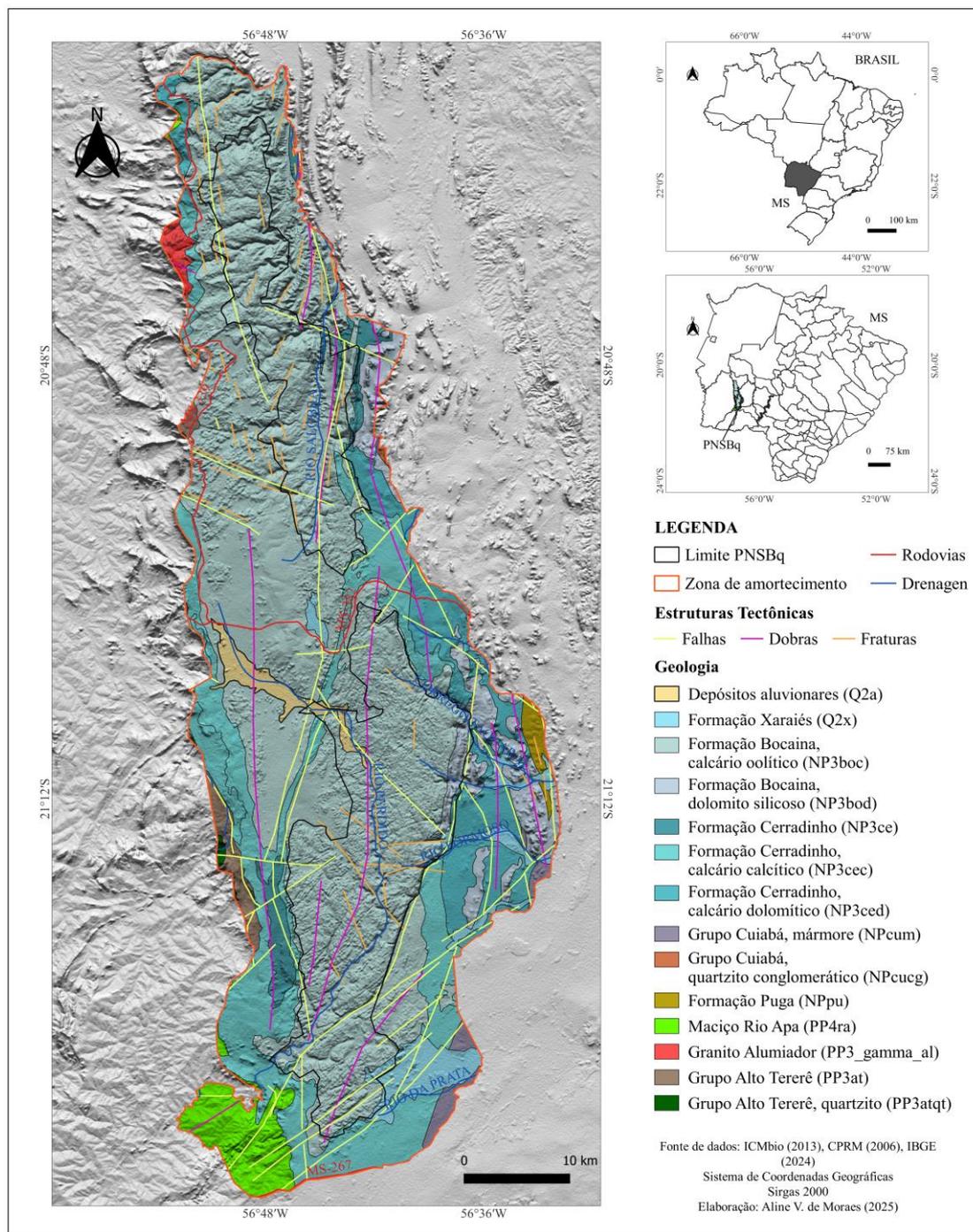


Figura 21 - Mapa Geológico do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

A formação de maior abrangência no limite do PNSBq é a Formação Bocaina com 95% de área ocupada (tabela 2), é marcada pelas rochas sedimentares - calcários oolíticos de norte a sul e dolomitos silicosos em pequena quantidade na porção oriental do fragmento norte e na porção nordeste do fragmento sul.

Tabela 2 - Geologia da área do PNSBq.

Geologia	Área km²	Porcentagem de área ocupada (%)
Depósitos Aluvionares	7	0,91 %
Formação Xaraiés	7	0,91 %
Formação Bocaiana	737	95,8 %
Formação Cerradinho	18	2,3%
TOTAL	769	100%

Elaborado pelo autor (2025).

Segundo Winge (2018) o termo oolítico refere-se a grãos redondos de tamanho igual a areia (0,25 a 2mm) formados por precipitação química inorgânica e pelo trabalho dos rios que depositam pouco sedimento clástico, é constituído de carbonato e quando litificados formam calcários oolíticos. Já os dolomitos dessa Formação ocorrem sobrepostos, por falhas inversas, pelas rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá e formam morrarias e morros isolados (BRASIL, 2020).

A análise hipsométrica (Figura 22) mostra que, dentro dos limites do Parque, as elevações variam entre 100 a >800 metros. As maiores elevações, localizadas entre 700 e >800 metros, são predominantemente ocupadas pelos calcários oolíticos e dolomíticos da Formação Bocaiana.

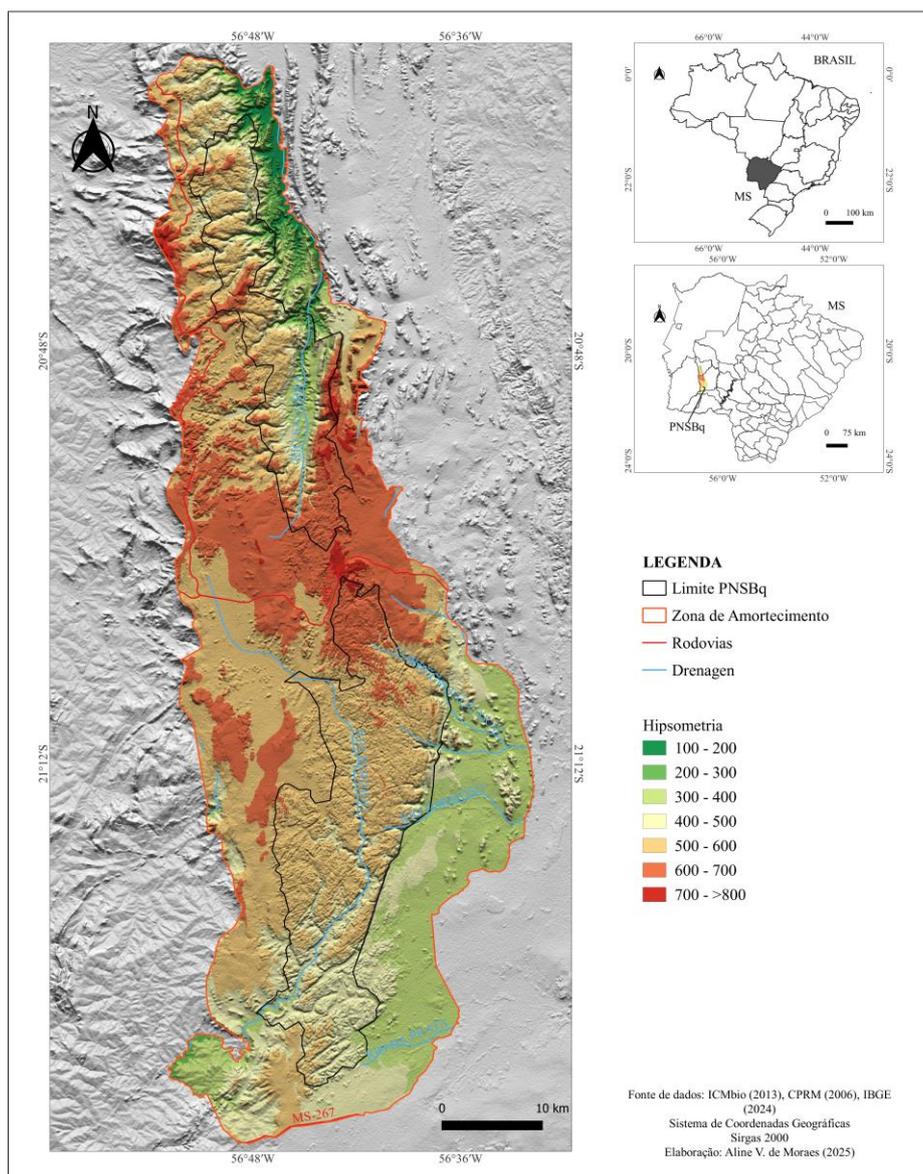


Figura 22 - Mapa Hipsométrico do PNSBq.

A predominância dos calcários da Formação Bocaina é fundamental para delimitar áreas de alta fragilidade física-ambiental à dissolução cárstica, por sua solubilidade e fraturamento, favorecem a formação de dolinas, cavernas e lapiás, feições que impactam diretamente a estabilidade do terreno. No contexto do PNSBq, essas formações estão diretamente associadas a importantes atrativos turísticos, como grutas e trilhas em relevo acidentado, o que torna essencial o mapeamento de suas áreas de ocorrência para orientar o manejo e prevenir danos estruturais, deslizamentos ou contaminações dos aquíferos.

Já a Formação Cerradinho ocupa 2,3% da área, é constituída principalmente por calcários calcíticos e dolomíticos localizados nas bordas de ambos os fragmentos, atingindo elevações que variam entre 400 e 500 metros.

Brasil (2020) destaca que os dolomitos que ocorrem nas bordas da Serra da Bodoquena são cinza claros, maciços, em lâminas ou delgadas camadas alternadas ritmicamente com os calcários podendo apresentar raramente estromatólitos em ambas as rochas.

Por apresentar composição química diferente, os calcários dolomíticos e calcíticos possuem grau de resistência também diferente. Calcários calcíticos são compostos principalmente de calcita e podem apresentar uma variedade de texturas, geralmente possui grau de dureza 3. Já os calcários dolomíticos cujo constituinte principal é a dolomita $[CaMg(CO_3)_2]$ possui grau de dureza 4 (SAMPAIO; ALMEIDA, 2005).

De acordo com Brasil (1982) ambos os calcários se dissolvem pelo contato com a água. Porém a composição química e resistência do calcário calcítico o deixa mais suscetível ao desgaste tanto pela água da chuva como pelos rios que cortam a Serra da Bodoquena o que propicia a formação de cavernas, lapiás e cânions.

A Formação Xaraiés, com 0,91% de área ocupada, abrange a porção sul recebendo grande influência do Rio da Prata e porção sudeste entre o Rio Formoso e o Córrego Formosinho, ambos se localizam no fragmento sul (Figura 22). Essa formação é constituída de tufas calcária, conglomerados calcíferos compostos por seixos e matacões de composição variada (BRASIL, 2020). As altimetrias são menores, variando entre 200 à 400 metros.

Os Depósitos aluvionares, também ocupando 0,91% da área, são compostos predominantemente por areias, subordinadamente cascalho e lentes silto-argilosas (BRASIL, 2020). Esses depósitos são influenciados pela drenagem, principalmente a do Rio Perdido e com altimetrias variando entre 400 à 500 metros.

5.1.2 Zonas Homólogas

Com a elaboração do mapa geológico e as imagens do satélite Landsat 8 devidamente processadas obteve-se as zonas homólogas considerando as formas de relevo e os padrões de drenagem. As zonas foram comparadas com o mapa geológico de referência da CPRM (2006), ressalta-se que a delimitação das zonas homólogas tem como objetivo trazer detalhamento da área de estudo buscando ampliar as informações disponíveis.

A figura 23 apresenta o processo de segmentação realizado por meio da interpretação visual da imagem, com as zonas já demarcadas (as linhas laranja indicam a segmentação e as linhas pretas representam as unidades geológicas da CPRM), algumas discrepâncias foram observadas como os limites entre as Formações Cerradinho e Bocaina no Planalto da Bodoquena que corresponde ao limite do Parque. Além disso, nota-se um deslocamento das linhas que delimitam os limites entre as formações em relação ao mapa original.

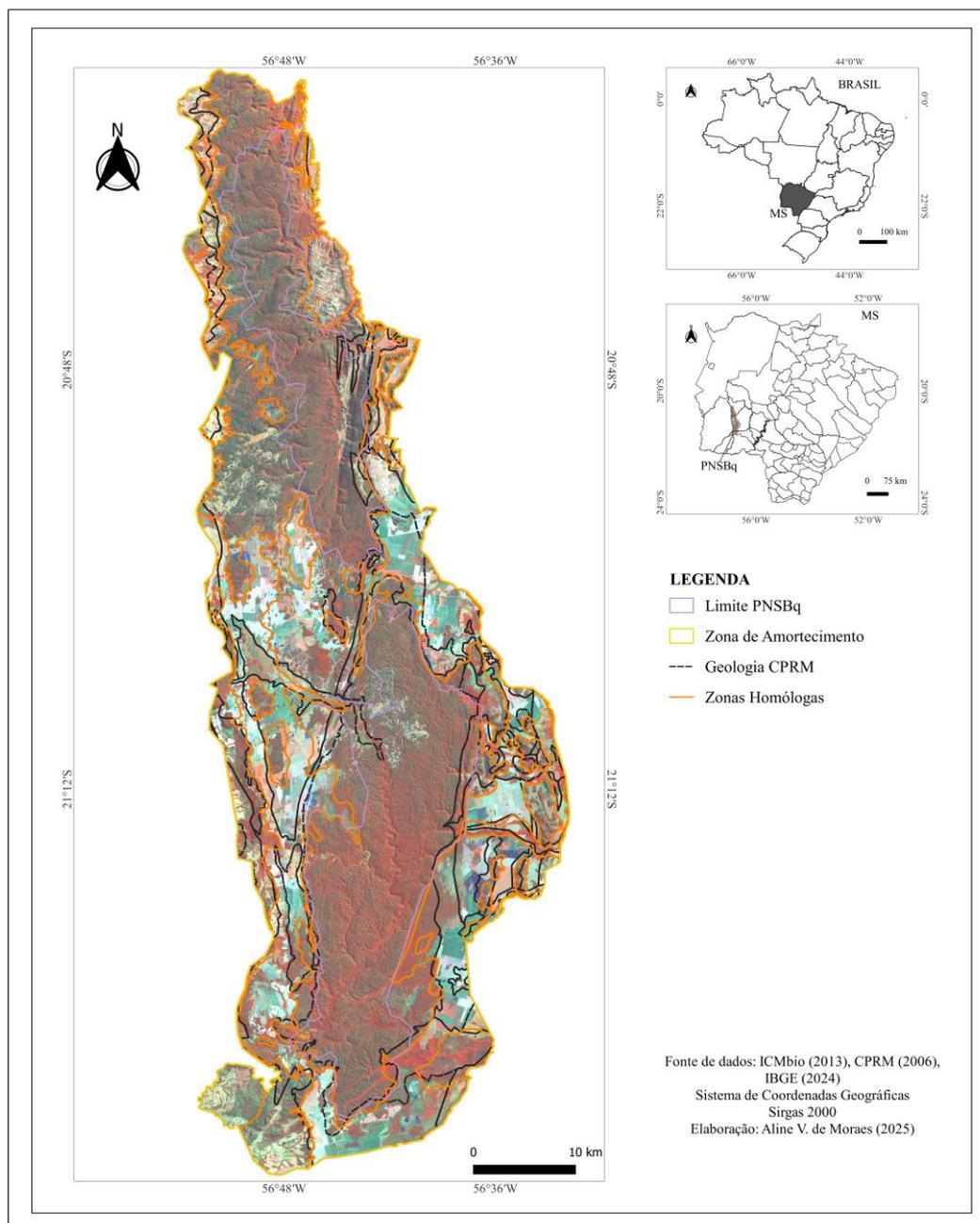


Figura 23 - Comparação entre as linhas do mapa geológico da CPRM e as linhas geradas neste trabalho.

No mapa oficial, observa-se a presença do Grupo Cuiabá na borda oriental da ZA, caracterizado por mármores, quartzitos e conglomerados (Figura 24a). No entanto, as zonas homólogas delimitadas para a área de estudo, essa unidade não foi identificada, sendo ocupadas pelas Formações Xaraiés, Bocaina e Cerradinho. As linhas utilizadas na delimitação das zonas homólogas foram convertidas em polígonos, resultando na elaboração de um novo mapa para comparação (Figura 24b).

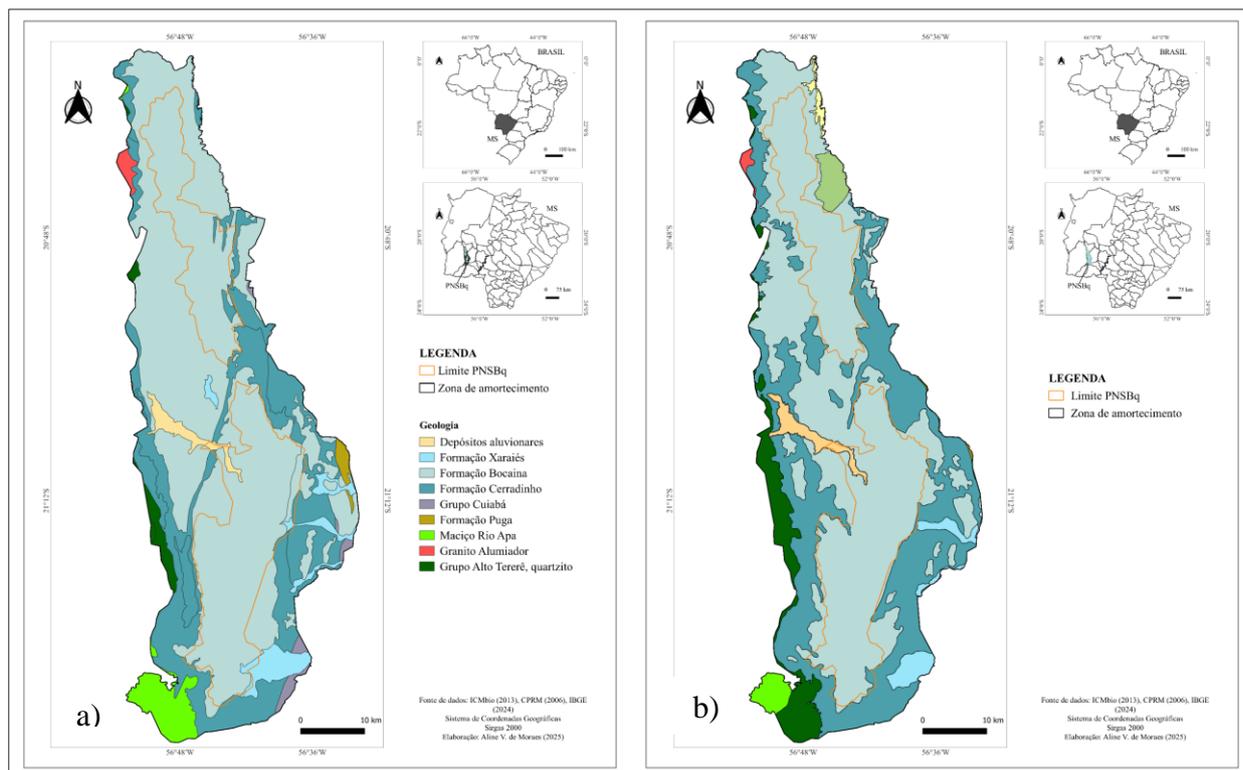


Figura 24 - Comparação entre os mapas. a) mapa geológico da CPRM e b) zonas homólogas extraídas.

Na ZA, foi demarcada uma nova zona na parte inferior esquerda da imagem indicada pelo número 1, assim como outras duas foram delimitadas na porção superior direita, indicada pelos números 2 e 3 (Figura 25).

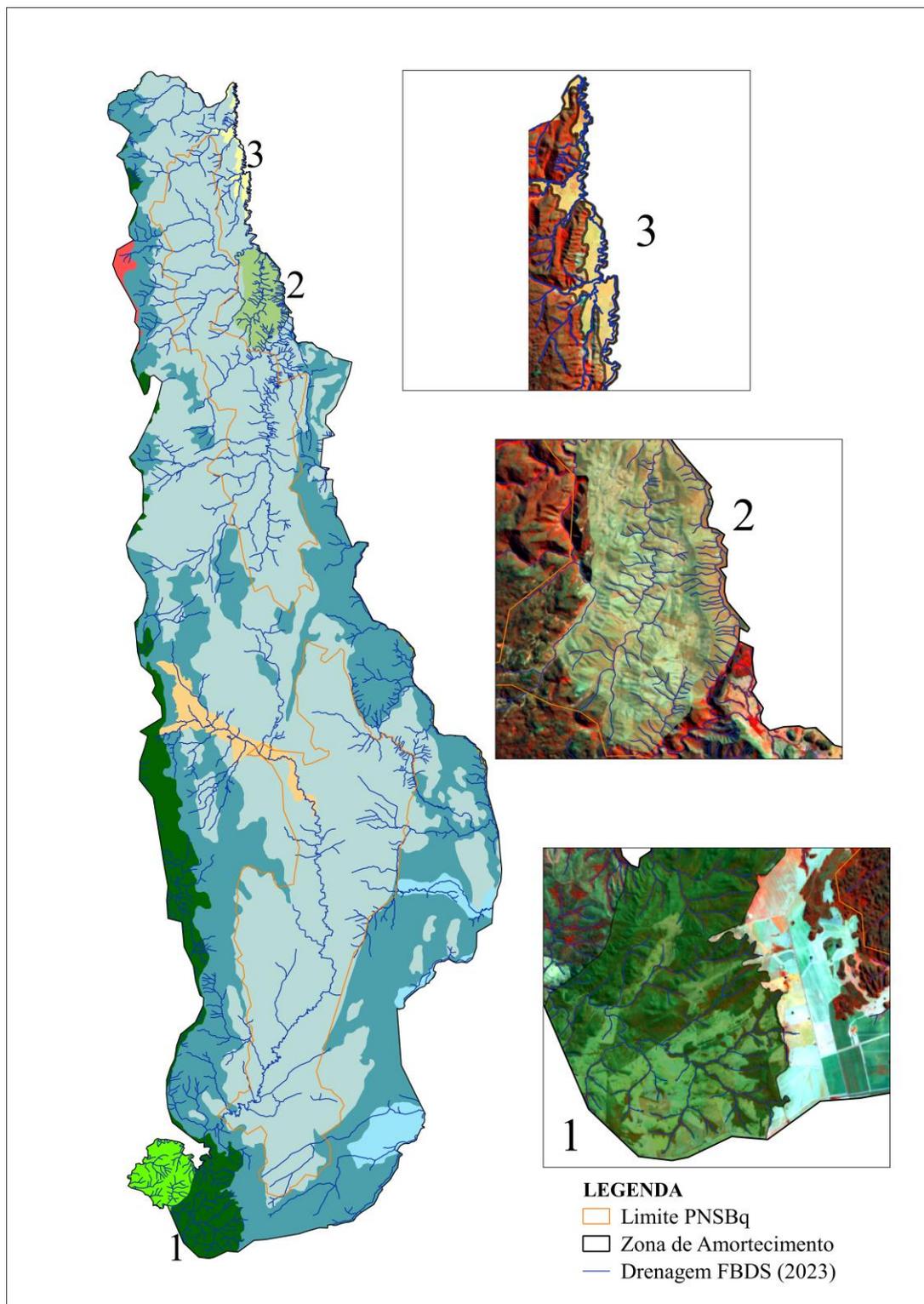


Figura 25 - Análise das zonas homólogas extraídas.

A primeira zona (1) apresenta padrão dendrítico médio; a densidade de drenagem é considerada média, refletindo a presença de rochas metamórficas como quartzitos; a tropia do sistema é bidirecional, com canais escoando em direções opostas; as encostas são fracamente

assimétricas, com perfis convexos, côncavos e retilíneos e possui sinuosidade mista, com trechos retilíneos e curvas suaves (Figura 25). Essa zona permanece delimitada, em sua maior parte, na borda ocidental da ZA, onde, segundo o mapa geológico da CPRM, predominam litologias atribuídas ao Maciço Rio Apa composto por biotita, gnaisse e cataclasito.

Com o objetivo de validar a escolha desta área como uma zona homóloga, foram comparados os pontos de afloramento fornecidos pela CPRM (2006) com aqueles disponíveis no Banco de Informações Ambientais (BDIA, 2021). As descrições litológicas são distintas para a mesma zona. Ambos os bancos de dados utilizam os mesmos pontos de afloramento, porém o BDIA inclui pontos adicionais, com descrições de rochas como granito, muscovita, xisto e quartzo, pertencentes ao Grupo Alto Tereré.

A segunda zona (2) apresenta densidade de drenagem alta com tropia unidirecional, com escoamento concentrado no sentido norte-sul; as encostas são fortemente assimétricas, com vertentes escarpadas, retilíneas a côncavas e topos em cristas aguçadas e outras suavemente arredondadas; a assimetria da drenagem é forte e com sinuosidade mista a retilínea. Essa zona, segundo a CPRM, é composta por calcários oolíticos e para validar sua delimitação como nova zona, foram analisados novamente os pontos de afloramento dos mesmos bancos de dados. Em ambas as fontes, há registros de calcários dolomíticos não apresentados no mapa de referência (Figura 21).

Já a terceira zona (3) a rede de drenagem observada apresenta um padrão dentrítico com densidade de drenagem baixa, a sinuosidade é curva, tropia unidirecional, assimetria da drenagem fraca e possui formas de relevo pediplanos. A escolha desta área como nova zona se deu porque ela não apresenta rugosidade e, conforme Sallun Filho (2004), enquadra-se como canyons e planícies aluviais, já que predomina a ação de processos fluviais (rio Salobra). Segundo o BDIA, essa região está sujeita a inundações periódicas e descreve a presença de sedimentos clásticos, mas tanto a CPRM quanto o BDIA fornecem pontos de afloramento de rochas carbonáticas.

Dentro dos limites do PNSBq, foram também delimitadas três zonas que, no mapa oficial, correspondem aos Depósitos Aluvionares, à Formação Bocaina e à Formação Cerradinho (Figura 26). Embora o mapeamento geológico da CPRM também indique a presença da Formação Xaraiés dentro do parque, na delimitação realizada neste trabalho essa área foi incorporada às zonas atribuídas às Formações Bocaina e Cerradinho, com base na interpretação das imagens de satélite.

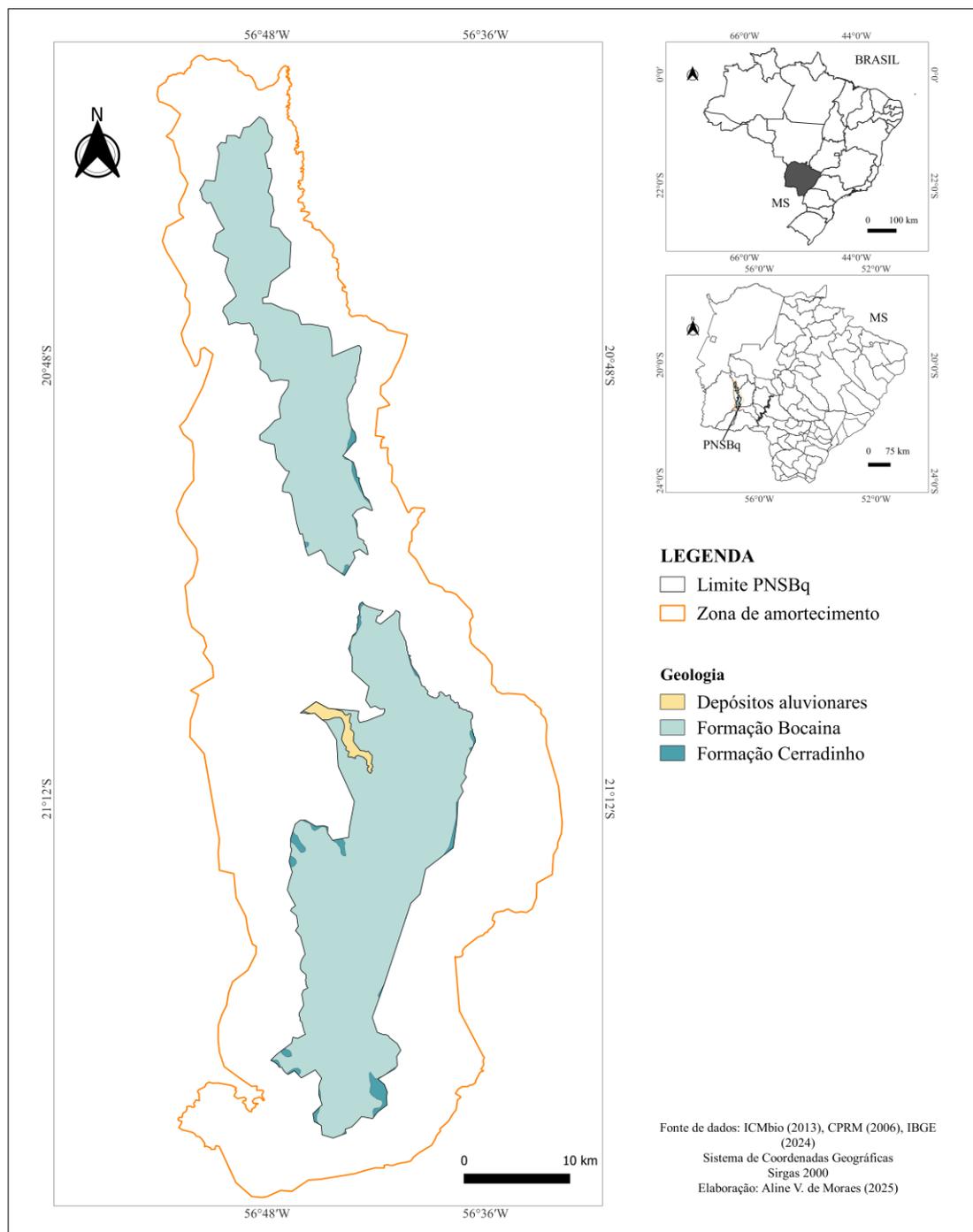


Figura 26 - Novo cálculo para zonas delimitadas no limite do PNSBq.

Dessa forma, foi calculada a porcentagem de área ocupada por cada classe das zonas delimitadas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Novo cálculo para zonas delimitadas no limite do PNSBq.

Geologia	Área km²	Porcentagem de área ocupada (%)
Depósitos Aluvionares	14,8	1,92%
Formação Bocaina	753,4	97,97%
Formação Cerradinho	0,88	0,11%
Total	769	100%

Elaborado pelo autor (2025).

A Formação Bocaina permanece como a unidade geológica dominante, no novo cálculo, sua área foi levemente aumentada, de 737 km² para 753,4 km², representando 97,97% da área total e 95,8% na delimitação anterior (Tabela 2).

A Formação Xaraiés, na tabela 2, foi suprimida na nova delimitação. Isso ocorreu a partir da interpretação das imagens de satélite, a área originalmente atribuída à Formação Xaraiés foi incorporada às formações Bocaina e Cerradinho, com base nas evidências espectrais e morfológicas analisadas.

Os Depósitos Aluvionares tiveram sua área aumentada de 7 km² (0,91%) para 14,8 km² (1,92%), A Formação Cerradinho obteve uma redução expressiva, passando de 18 km² (2,3%) para apenas 0,88 km² (0,11%).

No trabalho de campo realizado no fragmento norte foi observado muitos afloramentos de calcário, correspondentes à Formação Bocaina e Cerradinho. No entanto, também foi registrada a presença de folhelhos e filitos, que não são descritos como pertencentes a essas formações (Figura 27).

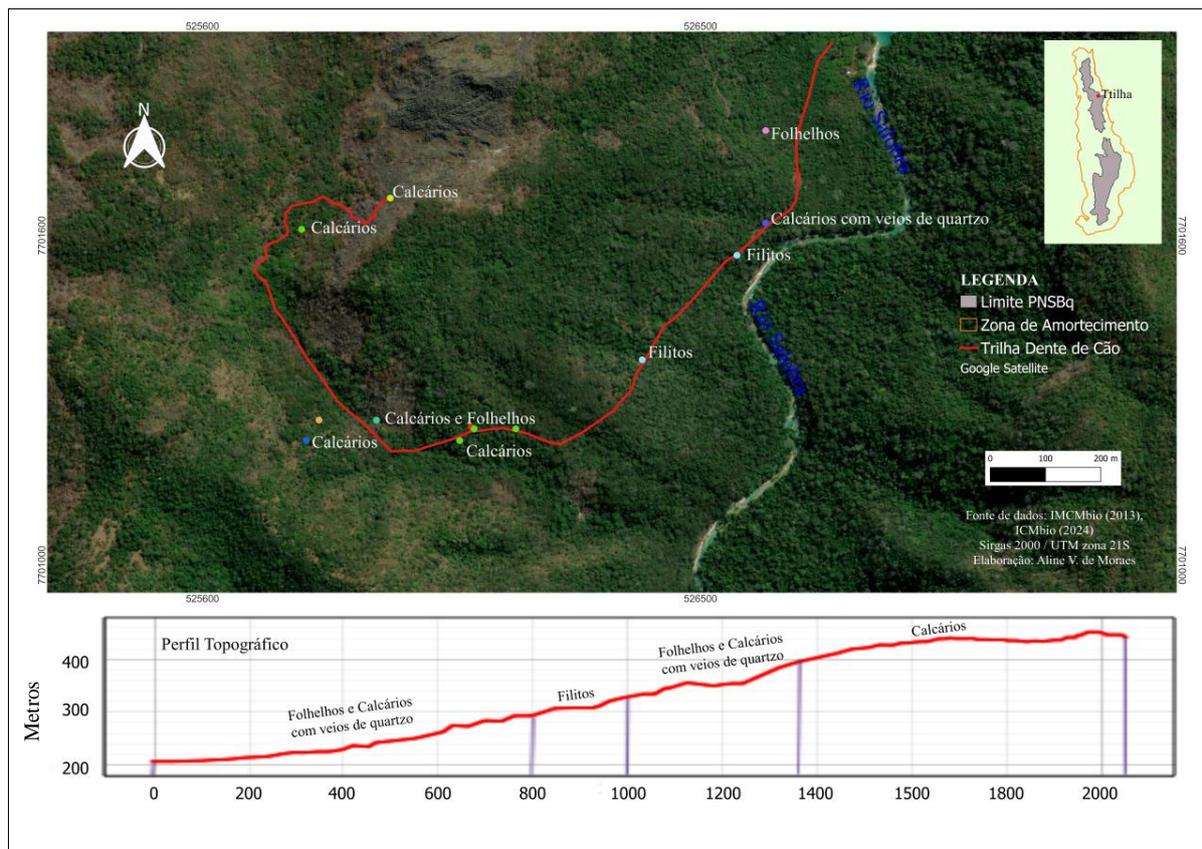


Figura 27 - Rochas encontradas na Trilha Dente de Cão.

As rochas apresentam diferentes graus de intemperismo, alguns afloramentos estavam mais alterados que outros, com graus de desagregação e coloração diferenciada. Os calcários, em especial, variam quanto à tonalidade, sendo encontrados tanto em tons de cinza escuro e claro, uns apresentavam graus de resistência maiores devido ao grau de intemperismo e posição no relevo (Figura 28).



Figura 28 - Rochas encontradas na trilha Dente de Cão. Fonte: Próprio autor (23/04/2024).

A ocorrência de folhelhos e filitos pode estar relacionada à tectônica da área, que, segundo o mapeamento da CPRM (2006), é caracterizada pela presença de falhas contracionais, falhas extensionais ou uma zona de cisalhamento indiscriminada. Tais estruturas podem ter promovido a sobreposição de diferentes unidades litológicas, justificando a exposição de rochas não previstas nas unidades geológicas presentes no limite do Parque.

5.2 Geomorfologia

A presença de litologias calcárias, principalmente da Formação Bocaina e da Formação Cerradinho, confere à Serra da Bodoquena características cársticas. No limite que abrange o município de Bonito, a ação das águas subterrâneas, modela estalactites e estalagmites, enquanto que na porção superior oeste do Parque, a esculturação das litologias calcárias resulta em relevos ruiniformes (BDIA, 2021).

O limite do Parque engloba as Unidades geomorfológicas Depressão do Rio da Prata e a Serra da Bodoquena (Figura 29), a porcentagem total de área ocupada por cada Unidade está disposta na tabela 3.

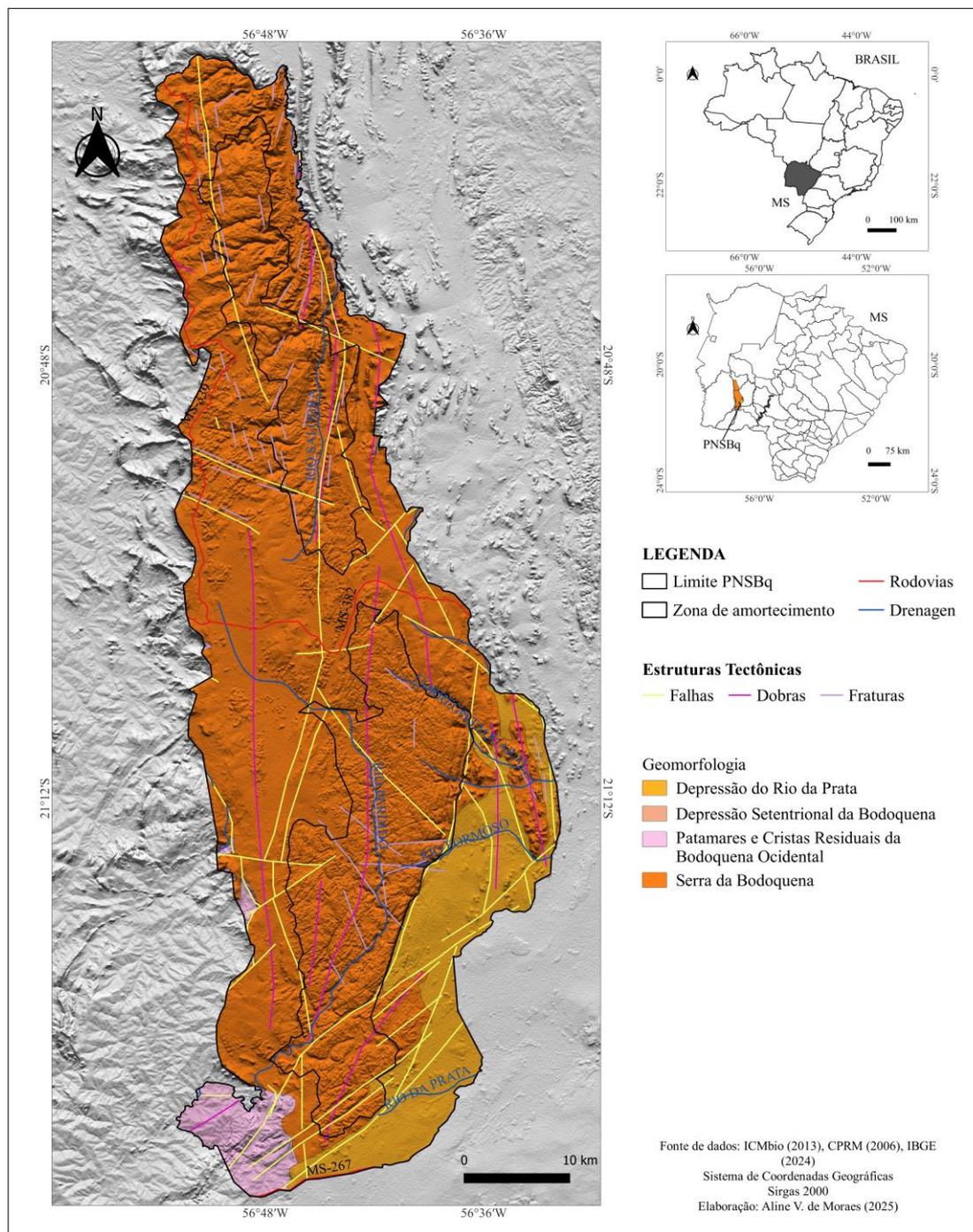


Figura 29 - Mapa Geomorfológico do PNSBq.

A unidade Serra da Bodoquena ocupa 99,60% de área, é marcada por um conjunto de relevos estruturais que se estendem na direção norte-sul, apresenta segmentos de escarpas que

delineiam vales profundos, formando canyons. Essa Unidade destaca-se pela coexistência de formas dissecadas de topo convexo e relevos conservados (BDIA, 2021; BRASIL, 1982).

Tabela 4 - Unidades Geomorfológicas do PNSBq.

Unidades Geomorfológicas	Área km²	Porcentagem de área ocupada
Depressão do Rio da Prata	3	0,39 %
Serra da Bodoquena	766	99,60 %
Total	769	100%

Elaborado pelo autor (2025).

A unidade Depressão do Rio da Prata ocupa apenas 0,39% da área e caracteriza-se por uma superfície aplanada, mais baixa que a Serra da Bodoquena, porém no limite oriental dessa unidade ocorrem escarpas erosivas onde as drenagens de primeira ordem provocam um processo de dissecção (BDIA, 2021).

No que tange à ZA do Parque, além da Unidade geomorfológica Serra da Bodoquena e Depressão do Rio da Prata, incluem-se outras Unidades, tais como a Depressão Setentrional da Bodoquena (Pri), e os Patamares e Cristas Residuais da Bodoquena Ocidental (Da) (Figura 29).

A Depressão Setentrional da Bodoquena se caracteriza por superfícies aplainadas causadas pelo processo de pediplanação. A superfície aplainada dessa unidade avançou para o interior da Serra da Bodoquena, formando uma depressão entre planaltos. O rio Salobra e seus afluentes escoam nessa área em direção aos Pantanaís do Aquidauana-Miranda, formando uma passagem entre os alinhamentos serranos e a serra (BDIA, 2021).

A unidade Patamares e Cristas Residuais da Bodoquena Ocidental situa-se entre a Serra da Bodoquena e as Planícies e Pantanaís do Baixo Paraguai, apresenta um relevo intermediário caracterizado por rochas pré-cambrianas do Complexo Rio Apa. Possui superfície de topos convexos e agudos, incluindo relevos residuais que atingem até 500 metros. A hidrografia é marcada por rios que têm suas nascentes na Serra da Bodoquena e flui em direção ao rio Paraguai (BDIA, 2021).

5.2.1 Carste

O carste do planalto da Bodoquena é classificado como coberto (kc) e definido como “Conjunto de formas de dissolução ocorrentes em subsuperfície, mascaradas por solos detritos e outros produtos de descalcificação” (IBGE, 2009, p. 51).

Sallum Filho (2004) classifica o carste em labiríntico e poligonal, ocorrem nas áreas das bacias dos rios Perdido (fragmento sul) e Salobra (fragmento norte). Na área do Rio

Perdido, a recarga hídrica é predominantemente autogênica, com circulação subterrânea acentuada e escassa drenagem superficial, apresenta trechos com carste poligonal, marcado por depressões e cones cársticos (Figura 30B Figura 31A, B) e trechos com carste labiríntico formado por longos corredores de dissolução interligados, com orientação NE e N-NW (Figura 30C).

Já na área do Rio Salobra, o carste possui maior influência fluvial e estrutura em monoclinal, configurando um relevo bastante dissecado, nessa área o carste labiríntico ocorre nos interflúvios, enquanto o carste poligonal exibe formas mais profundas, fundos côncavos e menor densidade de cones (Figura 30A e Figura 31C). Essa dinâmica hídrica evidencia uma interação mais complexa entre os sistemas cárstico e fluvial, diferenciando esta área da região do Rio Perdido (SALLUN FILHO, 2004).

Seguindo o mapeamento de Sallun Filho (2004), a oeste da porção norte do planalto, tem-se a Depressão do Rio Paraguai (ANC) e, a leste, a região de planícies aluviais (CPA), onde o relevo é entalhado pelos afluentes do rio Salobra (CLCP – S), conforme observado na Figura 30A. Na figura 29B, observa-se o contraste entre o carste poligonal (CLCP – P) e as planícies cársticas com morros residuais de dolomitos (PCMR – D); já na figura 29C, tem-se o carste labiríntico (CLCP – P), que forma grandes corredores.

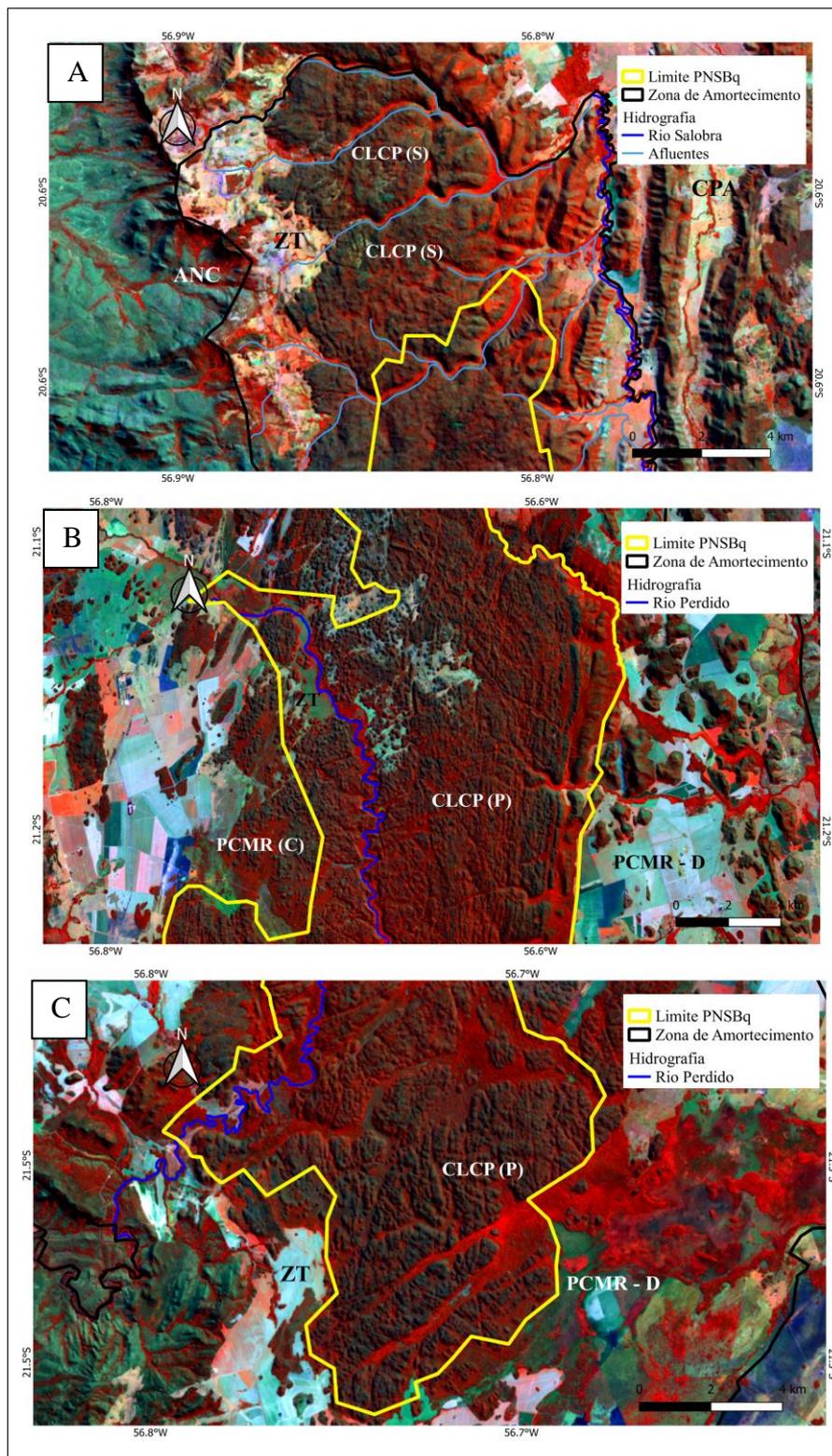


Figura 30 - Carste labiríntico e poligonal (CLCP). Carste labiríntico e poligonal na área do rio Salobra (CLCP – S); Canyons e planícies aluviais (CPA); Depressão do rio Paraguai (ANC); Carste labiríntico e poligonal na área do rio Perdido (CLCP – P); Planícies cársticas com morros residuais de dolomitos (PCRM – D) e Zona de transição (ZT). Elaborado pelo a partir do mapeamento de Sallun Filho (2004).

Na Figura 31, são apresentadas exemplos de imagens das características do relevo nos fragmentos sul e norte do parque, de acordo com a classificação do carste para cada área.

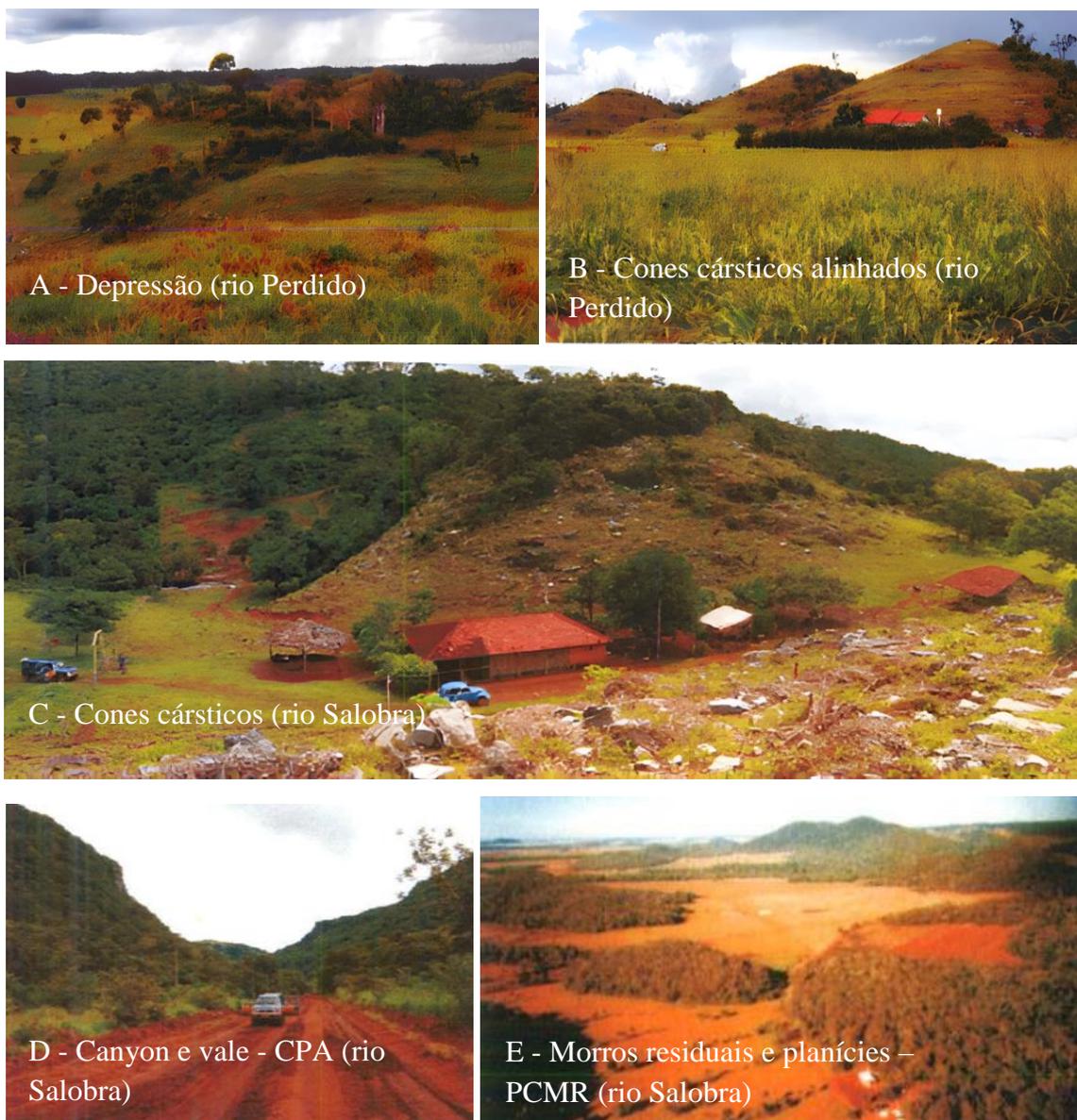


Figura 31 - Características do relevo nos fragmentos sul (abrangência do rio Perdido) e norte (abrangência do rio Salobra). Fonte: Sallun Filho (2004).

5.2.2 Aberturas topográficas

A aplicação das aberturas topográficas permitiu identificar principais feições do relevo na área como cristas e vales.

As cristas foram delimitadas por meio de áreas com valores positivos nas direções de abertura, evidenciando superfícies convexas associadas a elevações alongadas. As escarpas foram realçadas pelas transições abruptas entre valores contrastantes de abertura, indicando rupturas na morfologia do terreno associadas a contatos litológicos ou estruturas tectônicas.

Os vales foram reconhecidos por valores negativos, correspondentes a formas côncavas relacionadas à drenagem concentrada (Figura 32).

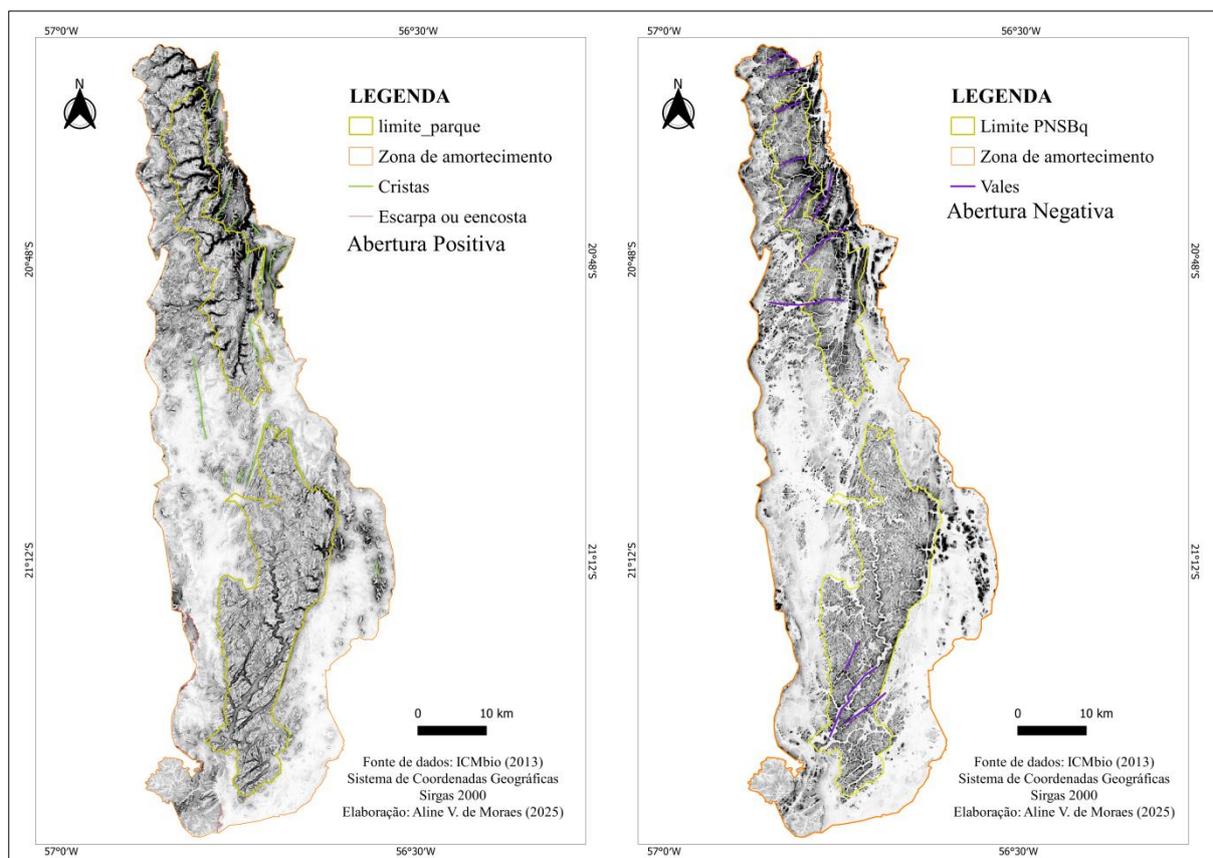


Figura 32 - Aberturas Topográficas.

As marcações de cristas, vales e escarpas nos mapas de aberturas topográficas representam feições associadas à morfologia do terreno na área de estudo. De acordo com o BDIA (2021), as formas de relevo presentes na área incluem carste, pediplano, topo aguçado e topo convexo (Figura 33). A figura 34 apresenta alguns tipos de relevo presentes no PNSBq.

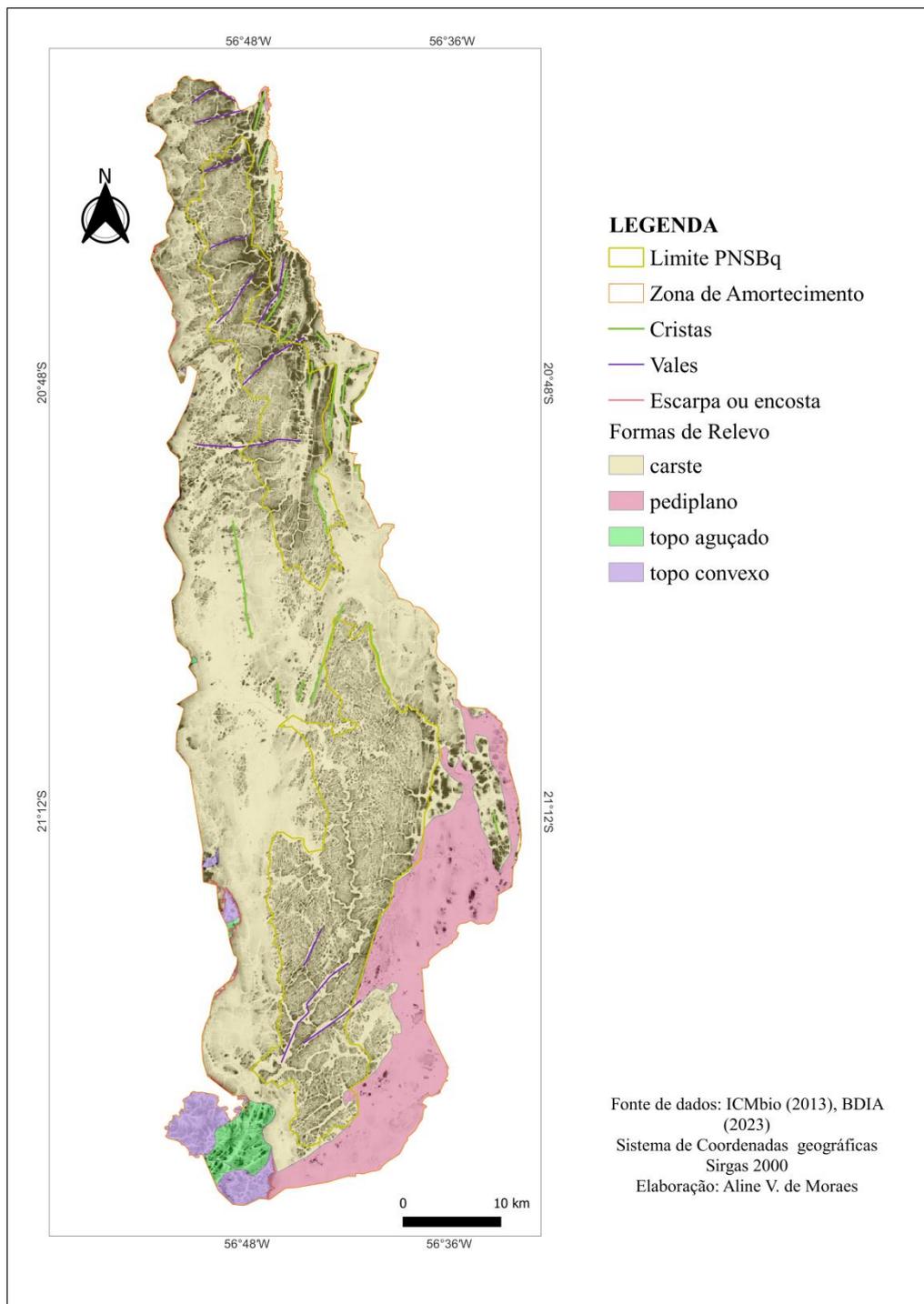


Figura 33 - Formas de relevo.



Figura 34 - Feições do relevo no PNSBq. Fonte: Registros Fotográficos da CPRM (2008).

A técnica das aberturas topográficas pode auxiliar na diferenciação das formas do relevo, ao evidenciar padrões de convexidade e concavidade do terreno e apresenta potencial para contribuir com a compartimentação da paisagem, ao destacar transições morfológicas que podem indicar limites entre diferentes unidades geomorfológicas.

5.2.3 Identificação de calcários para mapeamento de lapiás

As feições geomorfológicas da área de estudo refletem a interação entre os processos de carstificação e influências tectônicas. Para o desenvolvimento de paisagens cársticas é preciso levar em consideração fatores como a dissolução das rochas calcárias pela água, influenciada pelo regime climático; o embasamento geológico específico da área condiciona como e onde essa dissolução ocorrerá, sendo o tempo um fator decisivo (TRAVASSOS, 2019).

Uma das propostas desta pesquisa foi identificar afloramentos de calcário para mapear áreas no Parque com ocorrência de lapiás, uma forma de relevo cárstico. O resultado da razão entre bandas permitiu distinguir três áreas dentro do Parque que se destacam pela tonalidade. Nota-se também que o fragmento norte apresenta uma maior concentração de áreas expostas (Figura 35).

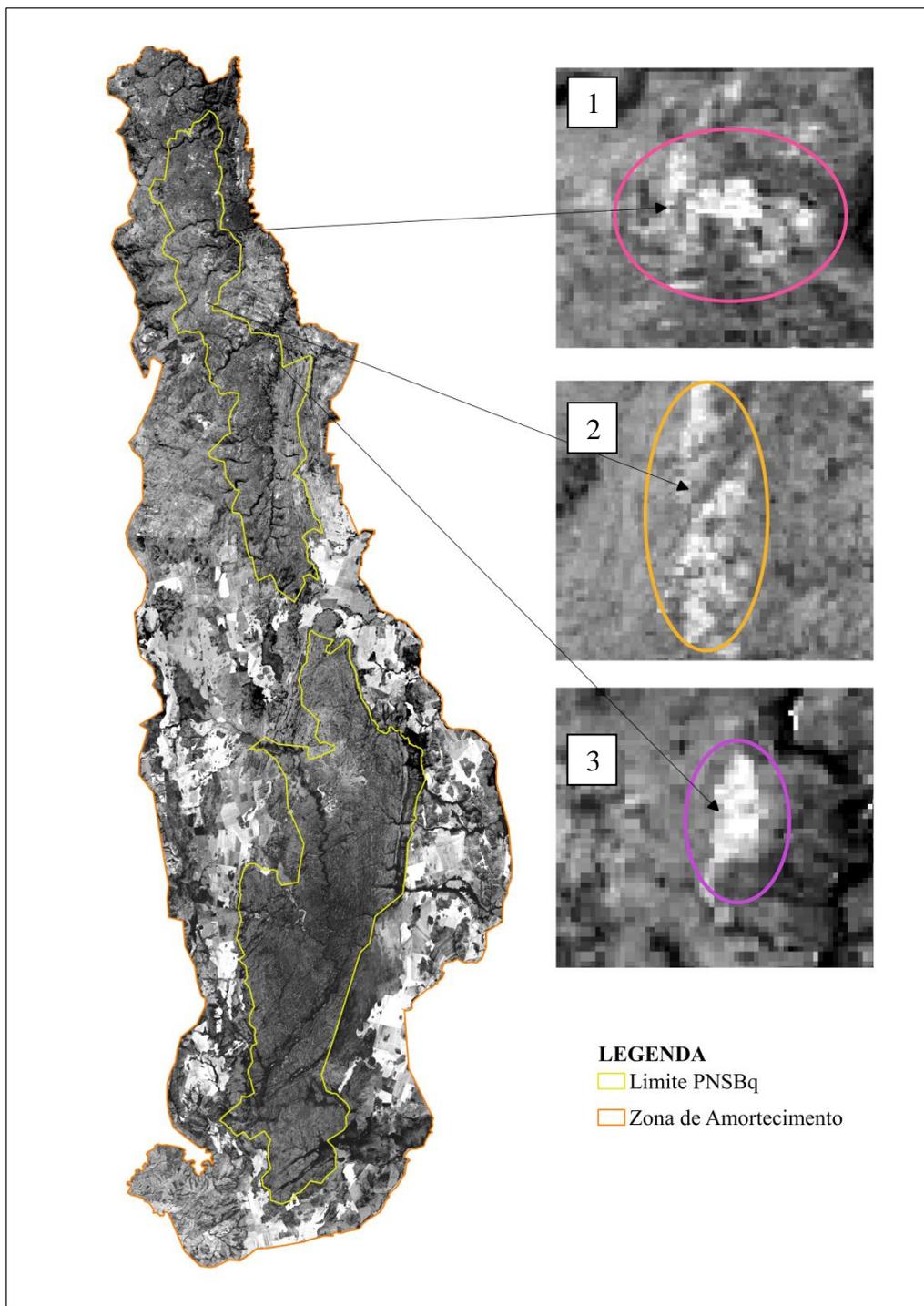
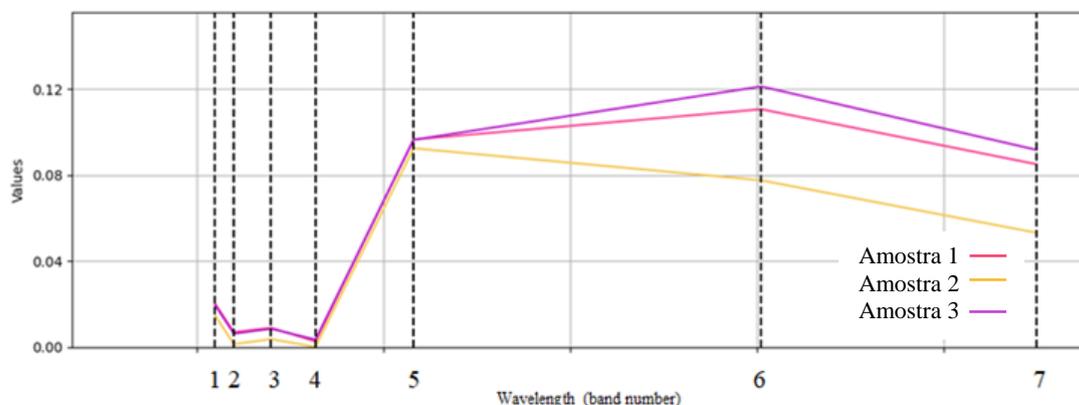


Figura 35 - Razão entre bandas e destaque para áreas de interesse. Elaborado pelo autor (2025).

Esses três recortes foram analisados por meio da composição colorida RGB 764, e, com o uso de amostras de treinamento e assinaturas espectrais obtidas através do plugin SCP, foi possível avaliar o gráfico de reflectância dessas áreas (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comportamento espectral da entrada de treinamento e assinatura espectral das amostras selecionadas.



A Amostra 3 apresentou os maiores valores de reflectância nas bandas SWIR, sugerindo a presença de um afloramento de calcário exposto, com pouca ou nenhuma cobertura superficial. A Amostra 1 também é um indicativo da presença de calcário, embora com valores um pouco mais baixos, o que pode refletir variações texturais ou leve cobertura.

Já a Amostra 2 apresentou os menores valores de reflectância em todas as bandas, especialmente na banda 4 (Red), o que pode indicar maior umidade, sombra ou cobertura superficial. Os valores de reflectância estão dispostos na tabela 4.

Tabela 5 - Valores de reflectância das amostras 1, 2 e 3.

Amostra 1			
Banda	Wavelength (μm)	Reflectância	Características
Banda 7 (R)	2.2	0.0851	Média reflectância
Banda 6 (G)	1.61	0.11072	Alta reflectância
Banda 4 (B)	0.655	0.00255	Baixa reflectância
Amostra 2			
Banda	Wavelength (μm)	Reflectância	Características
Banda 7 (R)	2.2	0.05318	Baixa reflectância
Banda 6 (G)	1.61	0.07761	Média reflectância
Banda 4 (B)	0.655	0.00006	Muito baixa reflectância
Amostra 3			
Banda	Wavelength (μm)	Reflectância	Características
Banda 7 (R)	2.2	0.09178	Alta reflectância
Banda 6 (G)	1.61	0.12134	Alta reflectância
Banda 4 (B)	0.655	0.00346	Baixa reflectância

Elaborado pelo autor (2025).

O trabalho de campo possibilitou a visita à Trilha Dente de Cão, correspondente à área da amostra 3. Durante o percurso, foram observados dois tipos de lapíás formados pela

dissolução do calcário, sendo o primeiro com formação de caneluras e o segundo chamado de dente de cão ou dente de dragão (Figura 36).

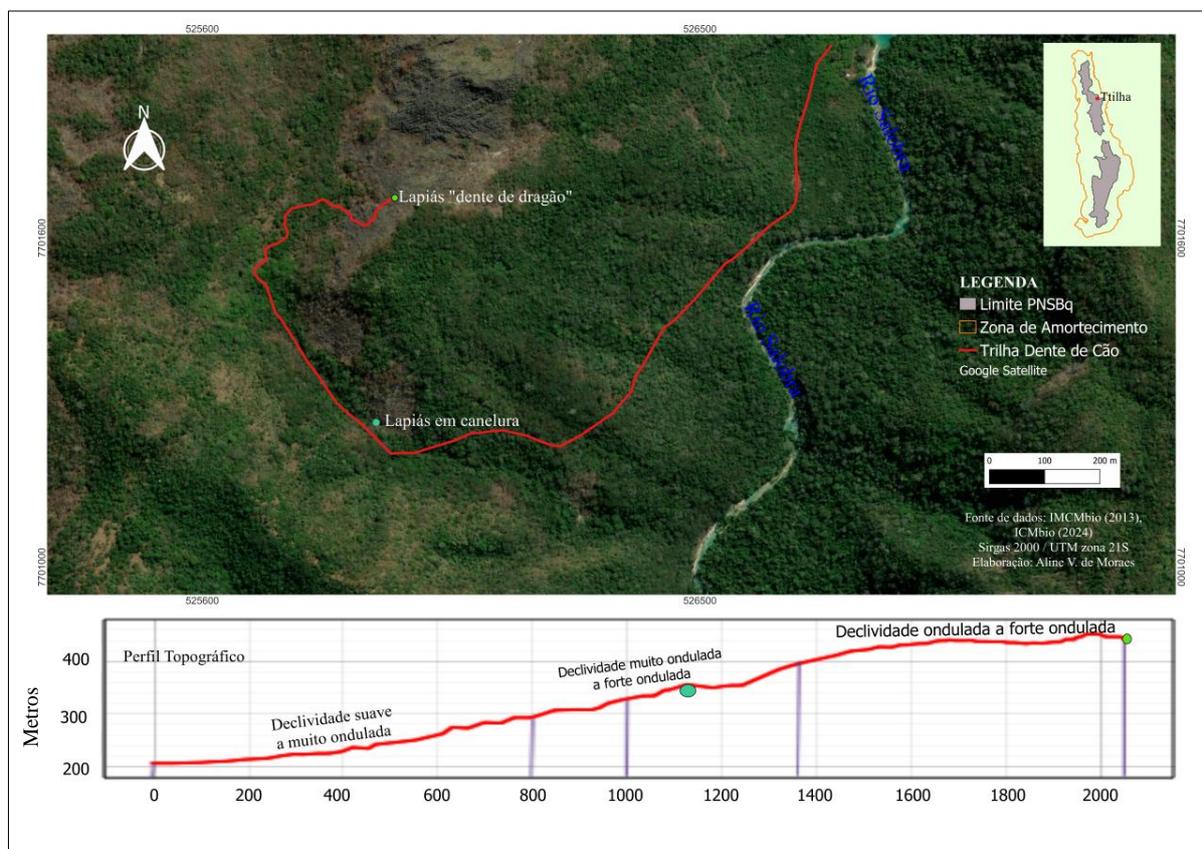


Figura 36 - Localização dos lapiás.

A formação de caneluras desenvolve-se em relevos fortemente inclinados, sobre rochas resistentes, como o calcário com alta porcentagem de calcita (RODRIGUES, 2012). No exemplo observado durante o trajeto (Figura 37), a área apresentava um relevo fortemente ondulado e íngreme, por onde a água da chuva escoava com maior intensidade, resultando em um fluxo canalizado à medida que dissolve a superfície da rocha formando as caneluras.



Figura 37 - Exposição calcária com formação de caneluras. Fonte: próprio autor (23/04/2024).

Já na área de lapiás Dente de Dragão, ou Dente de Cão, conhecida pelos moradores locais como “Morro do Boi” (amostra 3), a altitude é de aproximadamente 445 metros, a superfície apresenta-se bastante erodida, caracterizada por relevos com maior dissecação no fragmento norte do parque (Figura 38).



Figura 38 - Formação de lapiás dente de dragão ou Dente de cão. Fonte: próprio autor (23/04/2024).

Travassos (2019) ressalta que existem cinco estágios da morfologia dos lapiás (Figura 39), sendo o primeiro com presença de cobertura pedológica, onde a vegetação ainda consegue se desenvolver. O segundo estágio é chamado de "dente do dragão," onde a cobertura começa a ser erodida. O estágio 3 é quando os pilares, separados pelas fraturas, começam a se individualizar, com pouca presença de cobertura. O estágio 4 é alcançado quando os calcários são muito expostos às intempéries, e o 5 corresponde ao momento em que os pilares já formam torres isoladas

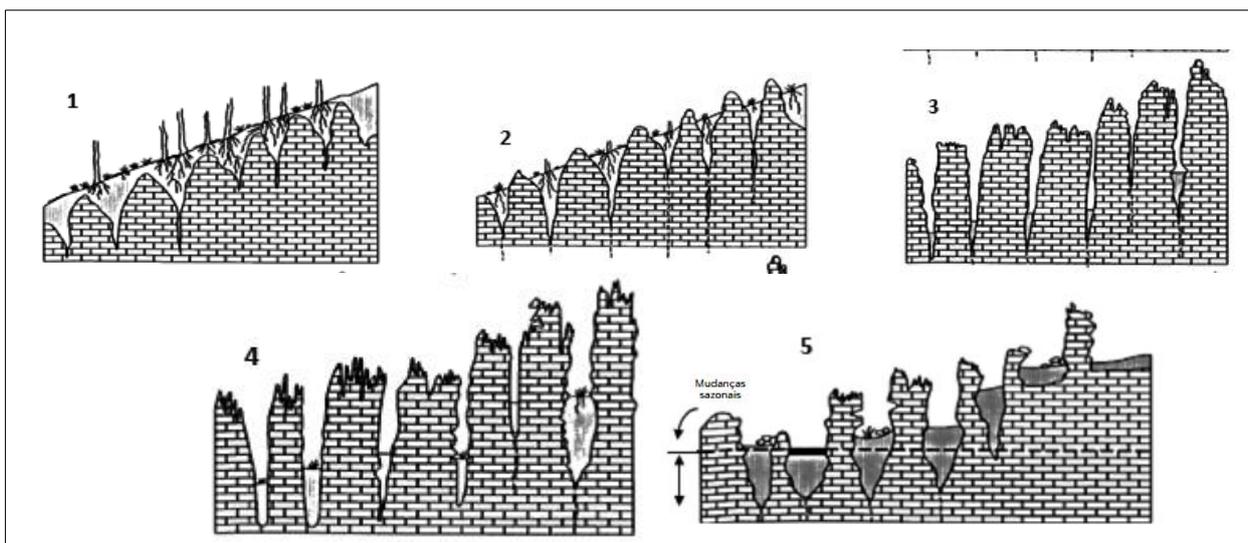


Figura 39 - Estágios evolutivos dos lapiás. Fonte: Travassos (2019).

Observando os exemplos da figura 39, a área do Morro do Boi, possivelmente se encontra em um estágio intermediário de evolução, onde as formações rochosas exibem cristas afiadas e sulcos profundos. Embora a erosão tenha exposto grande parte do relevo, ainda há vegetação crescendo entre as fendas. As características observadas sugerem uma transição entre as fases de "dentes de dragão" e "pináculos e relevos ruiformes".

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa promoveu a integração de diferentes métodos de investigação, combinando dados geológicos, geomorfológicos e técnicas de processamento digital de imagens, com o objetivo de levantar e analisar dados das características geológicas e geomorfológicas do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

A partir da interpretação das imagens de sensoriamento remoto e dos dados espectrais, foi possível caracterizar afloramentos calcários e mapear formas cársticas relevantes, bem como compreender as unidades geomorfológicas que refletem os processos estruturais e erosivos que modelam a paisagem da área de estudo.

No aspecto geológico, a análise das falhas e estruturas tectônicas, associada à diversidade litológica, evidenciou a complexidade do embasamento rochoso e as condições que favorecem a exposição e sobreposição de unidades geológicas, incluindo aquelas não previstas nos mapas oficiais. A caracterização geomorfológica, por sua vez, destacou a importância do relevo cárstico na configuração do território, com destaque para as feições como lapiás, carste labiríntico e poligonal, além dos relevos ruiformes e escarpas estruturais.

Esses levantamentos forneceram uma compreensão da dinâmica natural e dos processos que configuram o Parque, possibilitando uma análise das interações entre litologia, estrutura e relevo. Entretanto, cabe destacar a vulnerabilidade ambiental da área, dada a sensibilidade do ecossistema cárstico, que demanda um manejo cuidadoso para preservar suas características físicas e biológicas.

Apesar dos avanços obtidos, o trabalho apresenta uma limitação importante quanto à realização do trabalho de campo, restringindo-se a uma única visita na Trilha Dente de Cão. Essa limitação implica uma carência de dados primários e de validação das interpretações feitas a partir dos dados remotos.

Contudo, a utilização dos dados geológicos e geomorfológicos provenientes da CPRM, do BDIA e do mapeamento detalhado realizado por Sallun Filho (2004) foi importante no processo de validação das análises realizadas, especialmente diante da limitação do trabalho de campo.

Esses dados secundários possibilitaram o suporte e a complementação das interpretações derivadas do sensoriamento remoto, fornecendo referências confiáveis sobre a distribuição litológica, as estruturas tectônicas e as formas de relevo característicos do

PNSBq. Assim, mesmo com a restrição quanto à realização de múltiplas visitas de campo, a integração dessas fontes contribuiu para a consistência dos resultados apresentados, evidenciando a importância do uso combinado de informações primárias e secundárias.

Este estudo apresenta relevância para a revisão do plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, bem como para o seu zoneamento ambiental. A análise integrada dos aspectos geológicos e geomorfológicos fornece subsídios essenciais para o planejamento e a gestão territorial do parque.

Compreender a dinâmica dos processos naturais e a vulnerabilidade das formações rochosas possibilita a delimitação de áreas sensíveis e a definição de zonas com diferentes graus de proteção e uso sustentável. Dessa forma, os resultados obtidos contribuem para embasar decisões que garantam a conservação dos recursos naturais e a manutenção dos serviços ecossistêmicos da região, fortalecendo a sustentabilidade das ações de manejo e a proteção ambiental do parque.

Recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o número de visitas de campo para garantir uma análise robusta e abrangente, capaz de subsidiar adequadamente a gestão territorial e a conservação ambiental do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, minimizando os impactos sobre esse ecossistema vulnerável.

7 REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANTUNES, Raquel Campos; TÔRRES, Álvaro José Ferreira; SCALCO, Raquel. Análise da proposta do Plano de Manejo para estruturação do Parque Estadual do Biribiri. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 245–262, 2012.

AMARAL, Felipe Gonçalves do; CRUZ, Carla Bernadete Madureira da; SILVA, Camilla Bandeira da; ALMEIDA, Paula Maria Moura de. Processamento digital de imagens para estudos de dinâmicas da paisagem. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, n. 2, p. 132–155, 2019.

ARCANJO, João Batista Alves. **Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações**. Salvador: CPRM/SGB, 2011. 144 p.

ASPIAZÚ, Celestino; ALVES, Laci Mota; VALENTE, Osvaldo Ferreira. Modelos digitais de terrenos: conceituação e importância. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 21, p. 27–36, 1990.

BAPTISTA, Gustavo. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. Laboratório de Propulsão Digital, 2021. e-book. Disponível em: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.15087123>. Acesso em: 4 nov. 2023.

BATISTA, Jaqueline Gomes; FARIA, Karla Maria Silva de; TIBIRIÇÁ, Luciana Gonçalves. Conflitos de uso da terra na zona de amortecimento do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco – Goiás. **Revista Geografia em Questão**, 2020. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/23983>. Acesso em: 30 jan. 2024.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução de: Olga Cruz. **Revista RA'E GA**, Curitiba: Editora UFPR, n. 8, p. 141–152, 2004. Trabalho originalmente publicado em *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 1968.

BENJAMIN, Antonio Herman de Vasconcellos. O regime brasileiro de unidades de conservação. **Revista do Direito Ambiental**, São Paulo, v. 6, n. 21, p. 27–56, jan./mar. 2006.

BOGGIANI, Paulo Cesar; SALLUN FILHO, Wiliam; KARMANN, Ivo; GESICKI, Ana Lúcia; PHILADELPHI, Nicoletta Moracchioli; PHILADELPHI, Marcos. Gruta do Lago Azul, Bonito, MS: onde a luz do sol se torna azul. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T. de. (org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. v. 2, p. 515.

BOLÓS, Maria de. Antecedentes. In: BOLÓS, Maria de; et al. (org.). **Manual de ciencias del paisaje: teoría, método y aplicaciones**. Barcelona: Editorial Masson, 1992. p. 3–11.

BRAGHINI, Claudio Roberto; VILAR, José Wellington Carvalho. Gestão territorial de áreas protegidas no litoral sergipano: primeiras incursões. Ambivalências: **Revista do Grupo de Pesquisa “Processos Identitários e Poder” – GEPPIP**, v. 1, n. 1, 2013.

BRAMBILLA, Márcia. **Percepção ambiental de produtores rurais sobre o Parque Nacional da Serra da Bodoquena (MS) na perspectiva do desenvolvimento local.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2007.

BRANDÃO, Maria Letícia Stefany Monteiro; SILVA, Francisco das Chagas Paiva; FORTES, Ana Carolina Chaves; ALENCAR, Gaspar da Silva; ROCHA, Israel Lobato; IWATA, Bruna de Freitas. O papel das zonas de amortecimento na efetividade da proteção ambiental da Floresta Nacional de Palmares, Piauí, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123–140, 2021.

BRASIL. **Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934.** Aprova o Código Florestal. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm. Acesso em: 21 fev. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 1.922, de 5 de junho de 1996.** Dispõe sobre o reconhecimento das reservas particulares do patrimônio natural e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d1922.htm. Acesso em: 28 fev. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 7 ago. 2023.

BRASIL. **Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL: folha SF.21 Campo Grande – geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: MME, 1982. 416 p.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Áreas protegidas.** Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/areas-protegidas>. Acesso em: 20 fev. 2025.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. 2ª atualização das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade – 2018.** Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/areas-prioritarias/2a-atualizacao-das-areas-prioritarias-para-conservacao-da-biodiversidade-2018>. Acesso em: 20 fev. 2025.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Geologia e recursos minerais das folhas Rio Perdido SF.21-X-A-IV e Vila Campão SF.21-X-C-I: escala 1:100.000: Estado de Mato Grosso do Sul [recurso eletrônico]. São Paulo: CPRM, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21847>. Acesso em: 27 set. 2023.

BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso do Sul.** CPRM, 2006.

BRITO, Jorge Luis Silva; ROSA, Roberto. Introdução ao sistema de informação geográfica. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 1994, p. 61-78.

CAETANO, Lucília. A paisagem sob o olhar do geógrafo. In: ANACLETO, Maria Teixeira et al. (org.). **Une valse à mille temps**. Para Cristina Robalo Cordeiro. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2022. p. 205-214.

CAMPANHA, Ginaldo Ademar da Cruz et al. A Faixa de Dobramento Paraguai na Serra da Bodoquena e Depressão do Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 79-96, dez. 2011. Disponível em: <http://www.igc.usp.br/geologiausp>. Acesso em: 20 maio 2023.

CASES, Maria Olatz. **Gestão de Unidades de Conservação: compartilhando uma experiência de capacitação**. Brasília: WWF-Brasil/IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2012.

CEREZINI, Monise Terra; CASTRO, Cezar Nunes de. **Sistema Nacional de Conservação da Natureza (SNUC) e a preservação da caatinga**. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 27, 2022.

CHAVEZ, Pat. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.

CHIARAVALLLOTI, Rafael Moraes; PADUA, Claudio Valladares. Pesquisa e conhecimento na gestão de unidades de conservação. In: WWF (org.). **Gestão de Unidades de Conservação: compartilhando uma experiência de capacitação**. Brasília: WWF, 2012. p. 137-153.

CONTI, José Bueno. Geografia e Paisagem. Ciência e Natura. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**. Santa Maria, v. 36, ed. esp., p. 239–245, 2014

CONCEIÇÃO, Rodrigo Silva da; COSTA, Vivian Castilho da. **Cartografia e Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013.

CHAVES, Ana Maria Severo; SOUZA, Rosemeri Melo. Paisagem e interfaces geocológicas para o planejamento ambiental. In: SOUZA, Rosemeri Melo et al. (org.). **Geoecologia e Paisagem: enfoques teórico-metodológicos e abordagens aplicadas**. Aracajú: Criação Editora, 2021.

CRÓSTA, Álvaro Penteado. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: Instituto de Geociências – UNICAMP, 1992.

DAXER, Christoph. **Topographic Openness Maps and Red Relief Image Maps in QGIS**. Innsbruck: University of Innsbruck, Institute of Geology, 2020.

DRUMMOND, José Augusto; FRANCO, José Luiz de Andrade; OLIVEIRA, Daniela de. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. In: DRUMMOND, J. A. et al. (org.). **Conservação da Biodiversidade: Legislação e Políticas Públicas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010. p. 341-385.

FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **Revista GeoTextos**, V. 6, p. 187-208, Bahia, 2010.

LORENZANO, Teresa. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 9 dez. 2024.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, Monica; LAMAS, Ivana; KASECKER, Thais. O papel das unidades de conservação. **Scientific American Brasil**. Biodiversidade. Maio – 2010.

GAIDA, William; BREUNIG, Fábio Marcelo; GALVÃO, Lênio Soares; PONZONI, Flávio Jorge. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.01, 2020, p. 229-248.

GOMES, João Victor Pacheco; CUBAS, Manyra Gutervill. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2021. E - book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 29 dez. 2023.

GONÇALVES, Marcelo. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto para análise ambiental e geográfica**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2023.

GONZALEZ, Rafael; WOODS, Richard. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2009. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2024.

GUERRA, Antonio José Teixeira; LOUREIRO, Hugo Alves Soares. Grandes temas e conceitos da paisagem: geomorfologia à luz do século XXI. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; LOUREIRO, Hugo Alves Soares (org.). **Paisagens da geomorfologia: temas e conceitos no século XXI**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2021.

HUMBOLDT, Alexander von. Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo. In: MENDONZA, Josefina Gómez (org.). **El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos (De Humboldt a las tendencias radicales)**. Madrid: Alianza Editorial, 1982. p. 159–167.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. Parque Nacional da Serra da Bodoquena - **Plano de Manejo**. Brasília – abril – 2013. Disponível: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de>

conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-bodoquena>. Acesso em 12/ março. 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Introdução ao Geoprocessamento. DPI/INPE, 2006. Disponível em: [https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20geoprocessamento%3F,de%20Informa%C3%A7%C3%A3o%20Geogr%C3%A1fica%20\(SIG\)](https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20geoprocessamento%3F,de%20Informa%C3%A7%C3%A3o%20Geogr%C3%A1fica%20(SIG).). Acesso em 30 de janeiro de 2024.

JUSTO, Lorenzo Jorge Eduardo Cuadros. Fosfato da Serra da Bodoquenamato Grosso do Sul. Programa de Avaliação Geológico-Econômica De Insumos Minerais Para Agricultura No Brasil. **Pima Projeto Pima-Go/To/Mt/Ms**. Superintendência Regional de Goiânia, 2000.

LANDOVSKY, Geraldo Santos. **O sensoriamento remoto aplicado à valoração da paisagem para o planejamento de uso e ocupação do solo: Um Estudo de Caso em Tibagi – PR**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná-Setor De Ciências Agrárias Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Curitiba, 2003.

LEUZINGER, Márcia Dieguez. Breve panorama da legislação brasileira. In: CASES, Maria Olatz (org.). **Gestão de unidades de conservação: compartilhando uma experiência de capacitação**. Brasília: WWF-Brasil/IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2012.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LIRA, Cristina; AMORIM, Alexandre; SILVA, Ana Nobre; TABORDA, Rui. **Sistemas de informação geográfica: análise de dados de satélite**. Lisboa: DGRM, 2016. E-book. Disponível em: <http://www.sophia-mar.pt>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MARQUES, Fernanda Cano De Andrade. **Dinâmicas Territoriais e a Fragilidade Ambiental do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e de sua Zona de Influência, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Humanas, da Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Revista RA'E GA**, n. 8, p. 83-91. Editora UFPR, Curitiba 2004.

MEDEIROS, José Simeão de. **Redes de dados geográficos e redes neurais arti-ficiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

MEDEIROS, Diogo Bernardino Santos de; OLIVEIRA, Alisson Medeiros de; DINIZ, Marco Túlio Mendonça. Georges Bertrand e a Análise Integrada da Paisagem em Geografia. V. 4, n. 2, p. 63–80, **Revista de Geociências do Nordeste**, 2018.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MENESES, Paulo Roberto. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Livro digital. Brasília: UNB, CNPq, 2012. Disponível em: <https://portal.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 29 dez. 2023.

MIRANDA, Mateus de Paula; PONTES, Marcos Paulo; MORAIS, Pedro Ângelo Silva de; UCHOA, Elenilton Bezerra; DUARTE, Cynthia Romariz; SOUTO, Michael Vandesteem Silva. Emprego de técnicas de processamento digital em imagens landsat 8 para mapeamento geológico. **Revista de geologia**, Vol. 29, n 1, 79-80, 2016.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: **Simpósio a Comunidade Vegetal como Unidade Biológica, Turística e Econômica**. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1978, p. 43-74.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Geografia: pequena história crítica**. 20° ed. São Paulo: Hucetec, 1994.

MORAES, Elisabete Caria. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: DI MAIO, Angélica [et al.]. **Sensoriamento remoto. Ministério da Ciência e Tecnologia**; Agência Espacial Brasileira, 2008. Disponível em: <https://aebescolavirtual.aeb.gov.br/mod/glossary/view.php?id=633&mode=search&hook=sensoriamento+remoto&fullsearch=1>. Acesso em: 25 jan. 2023.

MULLER, Marianni. **Formulação de um novo índice espectral para identificação de rochas carbonáticas**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo, 2021.

NOGUEIRA, Barbara Gabriele de Souza; PAJEWSKI, Franciane Feltz; FLORES, Gonzalo Javier Olivares; MICALOSKI, Mariana Meira; BATISTA, Rafael Luis Matheus. Introdução as Unidades de Conservação. **Semana de aperfeiçoamento em engenharia florestal**. Setor de ciências agrárias. Programa de pós-graduação em engenharia florestal UFPR – Curitiba, 2018.

NEVES, Carlos Eduardo das; SALINAS, Eduardo. A Paisagem na Geografia Física Integrada: Impressões Iniciais Sobre sua Pesquisano Brasil entre 2006 e 2016. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, 2017.

NOVO, Evlyn Marcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ª edição. Editora Oficina de Textos, 2010.

OLIVEIRA, Eduardo Negri de. **Geografia e sensoriamento remoto**: volume único. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2020. 366 p.

PACHECO, Admilson da Penha; MOURA, Debora Coelho; SILVA, Janaína Barbosa da; FREIRE, Neison Cabral Ferreira. Mapeamento e análise espectro-temporal das unidades de conservação de proteção integral da administração federal no bioma caatinga. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, 2020.

PADUA, Claudio; PUREZA, Fabiana; PELLIN, Ângela. **Unidades de conservação: fatos e personagens que fizeram a história das categorias de manejo**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPEA) / Editora Matrix, 2015.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. **Sensoriamento remoto para fins geológicos: noções teóricas e práticas**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2020.

PEREIRA, Zefa Valdivina. Caracterização de Biodiversidade de Mato Grosso do Sul. In: YONAMINE, Sérgio Seiko). **Zoneamento Ecológico-Econômico do Mato Grosso do Sul: Contribuições Técnicas, Teóricas, Jurídicas e Metodológicas**. Campo Grande, 2009.

PUNTEL, Geovane Aparecida. A paisagem na geografia. In: VERDUM, Roberto et al. (Org.). **Paisagem: leituras, significados e transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. p. 23-33.

QUARTAROLLI, Carlos Fernando; VICENTE, Luiz Eduardo; ARAÚJO, Luciana Spinelli de. Sensoriamento remoto. In: TÔSTO, Sérgio Gomes et al. **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 61-80.

RAMOS, Adriana. As unidades de conservação no contexto das políticas públicas. In: CASES, Maria Olatz (Org.). **Gestão de Unidades de Conservação: compartilhando uma experiência de capacitação**. Brasília: WWF-Brasil / IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2012.

Ribeiro, Ângelo Franco do Nascimento. **Unidades de conservação e reforma agrária : o social e o ambiental no Parque Nacional da Serra da Bodoquena**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS : UFGD, 2010.

RIBEIRO, Hugo José; FERREIRA, Nilson Clementino; KOPP, Kátia Alcione; PEREIRA, Tatiane Souza Rodrigues; OLIVEIRA, Wellington Nunes de. Sensoriamento Remoto em ecologia da paisagem: Estado da arte. UNESP, **Revista Geociências**, v. 36, n. 1, p.257-267, São Paulo, 2019.

RODRIGUES, Maria Luísa. Classificação e tipologia dos lapiás contributo para uma terminologia das formas cársticas. **Finisterra**, XLVII, 93, 2012, pp. 147--158
ROCHA, Marcelo Borges; PASSERI, Mylena Guedes; GOMES, Stefano Bruno Vieira; ROCHA, Rafael Oliveira. Estudos sobre unidades de conservação: um levantamento em periódicos brasileiros. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 16, n. 39, jan./mar. 2020

ROMÃO, José Manuel Correia; CUNHA, Teresa Arriaga e. Cartografia geológica Uma mais-valia para o desenvolvimento do território. **GEONOVAS** N.º 25: 03 a 17, 2012.

ROSA, Roberto. Introdução ao geoprocessamento. **Livro**. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de geografia, Uberlândia, 2013.

ROSA, Roberto. Introdução ao Sensoriamento Remoto. **Livro**. Editora Edufu, 2007.

SALDANHA, Marcus; FREITAS, Corina da Costa. Segmentação de Imagens Digitais: Uma Revisão. In: Workshop dos cursos de computação aplicada do INPE. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2009. On-line. Disponível em: <8JMKD3MGP8W/37NC86S>. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP8W/37NC86S>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

SALLUN FILHO, William. **Geomorfologia e Geoespeleologia do Carste da Serra da Bodoquena**. Tese (doutorado), Programa de Pós Graduação em Geoquímica e Geotectônica - Instituto de Geociências – USP. São Paulo, 2004.

SALLUN FILHO, Wiliam; KARMANN. Ivo; BOGGIANI, Paulo. César. Paisagens Cársticas da Serra da Bodoquena (MS). In: **Geologia do continente Sul-americano** [Livro] Chapter: XXV, 2004.

SANTILI, Juliana. Socioambientalismo e Novos Direitos: Proteção Jurídica à Diversidade Biológica e Cultural. **Livro**. Editora Peirópolis, Instituto Socioambiental e Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2005.

SANTOS, Jacileda Cerqueira. Zonas de amortecimento em unidades de conservação urbanas: Dois casos em Salvador BA – Brasil. **Revista GeoTextos**, vol. 16, n. 2, dezembro 2020.

SANTOS, Milton. Metamorfoses do Espaço Habitado, fundamentos teórico e metodológico da geografia. **Livro**. Editora Aucitec, São Paulo, 1988.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELUZIO, Telma Machado de Oliveira; SAITO, Nathália Suemi. SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas. **Livro Digital**. CAUFES, Alegre, ES, 2010. 153 p. Disponível em: <https://www.mundogeomatica.com/livros/spring5x/livrospring512passopassoaplicacaopratica.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2024.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Princípios de planejamento ambiental**. 1º ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004.

SAUER, Carl. La Geografia Cultural. In: MENDOZA, Josefina Gómez [et al.]. **El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos (De Humboldt a las tendencias radicales)**. Madrid: Alianza Editorial, 1982. p. 349-354.

SCHIER, Raul Alfredo. **As Concepções da Passagem oo Código Florestal**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federa do Paraná, Curitiba, 2003.

SCHOLZ, Mariana Caroline. **Litigância Climática e a implementação das Contribuições Nacionalmente Determinadas do Acordo de Paris pelo Brasil: uma análise a partir da abordagem ecossistêmica**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Jurídicas. Programa de Pós-Graduação em Direito, Florianópolis, 2020.

SOARES, Paulo Cesar. FIORI, Alberto Pio. Logica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **NOT. Geomorfologicas**. Campinas-SP, 16 (32) p.71-104. 1976.

SOUZA, Diêgo Patric Castro de. Integração de Dados **Espectrais de Imagens do Sensor Aster e Dados Aerogamaespectrométricos no Mapeamento de Unidades Neoproterozoicas da Sub-Bacia de Campinas, Bahia**. Dissertação (Mestrado) – Univeridade Federal da Bahia. Instituto de Geocências, 2017.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Geografia física e geomorfologia: uma releitura**. 2 ed. Editora Compasso Lugar-Cultura, Porto Alegre, 2018.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica. **Livro**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília: ICMBio, 2019.

VALLEJO, Luiz Renato. Uso público em áreas protegidas: Atores, impactos, diretrizes de planejamento e gestão. Universidade Federal Fluminense. **Revista Eletrônica Uso Público em Unidades de Conservação**. Vol 1, nº 1, Niterói/RJ, 2013.

VERDUM, Roberto. Perceber e conceber paisagem. **In: Paisagem: leituras, significados e transformação**. Livro. organizado por: Roberto Verdum [et al.]. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2012, p.16-22.

VITTE, Antonio Carlos. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Revista de Geografia da UFC**, vol. 6, núm. 11, pp. 71-78, Fortaleza, 2007.

YOKOYAMA, Ryuzo; SHLRASAWA, Michio; PIKE, Richard. Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 68, 2002, pp. 257-265.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. 1. ed. Oficina de Textos. 2019. 320 p.