



UFRRJ

PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Aplicação de Imagens Orbitais Multiespectrais na
Identificação de Solo Exposto em Áreas de Risco no
Município do Jaboatão dos Guararapes - PE: Uma
Análise Comparativa entre CBERS-4A e
LANDSAT-9**

Fernanda Buarque Campos

2025



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos

UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA





UNISOLOS

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS**

**Aplicação de Imagens Orbitais Multiespectrais na
Identificação de Solo Exposto em Áreas de Risco no
Município do Jaboatão dos Guararapes - PE: Uma
Análise Comparativa entre CBERS-4A e
LANDSAT-9**

Fernanda Buarque Campos

Sob a Supervisão do(a) Professor(a)
Gustavo Granha

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido como requisito parcial para
obtenção do título de **Especialista** em
Geoprocessamento, Levantamento e
Interpretação de Solos.

Seropédica, RJ
Mês de julho de 2025



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFMG - UFV - UFPA



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C198a Campos, Fernanda Buarque, 29/01/1982-
Aplicação de Imagens Orbitais Multiespectrais na
Identificação de Solo Exposto em Áreas de Risco no
Município do Jaboatão dos Guararapes - PE: Uma Análise
Comparativa entre CBERS-4A e LANDSAT-9 / Fernanda
Buarque Campos. - Jaboatão dos Guararapes - PE, 2025.
20 f.: il.

Orientador: Gustavo Souto Perdigão Granha.
Monografia(Especialização). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Especialização em
Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de
solos, 2025.

1. Sensoriamento remoto. 2. Imagens
multiespectrais. 3. Deslizamentos. I. Granha, Gustavo
Souto Perdigão , 19/02/1975-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Especialização em
Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de
solos III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

É permitida a cópia parcial ou total deste documento, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO, LEVANTAMENTO
E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS**

Folha de aprovação

Fernanda Buarque Campos

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi submetido como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos.

TCC APROVADO EM 17 de julho de 2025.

Prof.(a) Gustavo Granha
Supervisor

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me iluminado por toda essa jornada, com saúde, coragem, perseverança e sabedoria. Aos meus maravilhosos e inspiradores pais, Sandra Buarque de Macêdo e Antônio Fernando Marques Campos, pelo amor incondicional, pelos valores que me transmitiram e pelo apoio e incentivo constante em todos os momentos da minha caminhada. Vocês são minha base, minha força e minha maior motivação. Ao meu filho, Pablo Campos Dantas, por sempre demonstrar orgulho e respeito, estando sempre ao meu lado. Ao meu orientador Professor Gustavo Granha, que com paciência, competência e dedicação me guiou com firmeza e sensibilidade ao longo deste processo. Sua orientação foi essencial para a construção deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Aos meus maravilhosos amigos, Gilberlan Freitas, Aduino Costa, Cássia Rodrigues e Natália Almeida e a minha colega de jornada Melissa Carvalho, que estiveram ao meu lado nos desafios, nas trocas de aprendizado e nos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve e significativa. Cada um de vocês fez parte dessa conquista. E à minha instituição de ensino, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por ter sido o espaço onde pude expandir meu conhecimento, desenvolver habilidades e descobrir novas possibilidades. Gratidão por todo o aprendizado vivido aqui.

RESUMO

Fernanda Buarque. **Aplicação de Imagens Orbitais Multiespectrais na Identificação de Solo Exposto em Áreas de Risco no Município do Jaboatão dos Guararapes - PE: Uma Análise Comparativa entre CBERS-4A e LANDSAT-9.** 2025. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

O presente trabalho teve como objetivo principal identificar e mapear áreas de risco relacionadas ao solo exposto e à ocorrência de deslizamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, PE, utilizando imagens orbitais multiespectrais dos satélites CBERS-4A e LANDSAT-9. A metodologia adotada envolveu o pré-processamento, classificação e pós-processamento de imagens no ambiente QGIS, com a aplicação do plugin Dzetsaka para classificação não supervisionada por meio dos algoritmos K-means e Random Forest. As imagens do CBERS-4A, com resolução espacial de 2 metros, demonstraram elevado detalhamento, permitindo a identificação precisa de feições urbanas, vegetação e áreas de solo exposto. Já as imagens do LANDSAT-9, com 15 metros de resolução, apresentaram desempenho satisfatório em escalas mais amplas, sendo adequadas para o monitoramento regional. A classe de solo exposto mostrou-se concentrada em áreas de encosta, especialmente sobre a instável Formação Barreiras, destacando regiões com alta suscetibilidade a processos erosivos. A análise revelou que a integração entre dados de sensoriamento remoto, variáveis geomorfológicas, geológicas e registros pluviométricos é uma ferramenta eficiente para o planejamento urbano e a prevenção de desastres. Conclui-se que o uso de imagens orbitais multiespectrais é uma alternativa viável, acessível e estratégica para a gestão de riscos em áreas vulneráveis.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Imagens multiespectrais. Solo exposto. Deslizamentos. Áreas vulneráveis.

ABSTRACT

Fernanda Buarque. **Application of Multispectral Orbital Images in the Identification of Exposed Soil in Risk Areas in the Municipality of Jaboatão dos Guararapes - PE: A Comparative Analysis between CBERS-4A and LANDSAT-9.** 2025. 20p. Trabalho de Conclusão de Curso (Specialization in Geoprocessing, Soil Survey and Interpretation). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

This study aimed to identify and map risk areas related to exposed soil and landslides in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, PE, using multispectral orbital images from the CBERS-4A and LANDSAT-9 satellites. The adopted methodology involved preprocessing, classification, and post-processing of satellite images using QGIS software and the Dzetsaka plugin, applying unsupervised classification through K-means and Random Forest algorithms. CBERS-4A images, with 2-meter spatial resolution, allowed for high-detail identification of urban areas, vegetation, and exposed soil. LANDSAT-9 images, with 15-meter resolution, were more suitable for broader-scale regional monitoring. The exposed soil class was mainly concentrated on slopes, particularly over the unstable Barreiras Formation, indicating areas highly susceptible to erosion processes. The analysis revealed that integrating remote sensing data with geomorphological variables and rainfall records is an efficient tool for urban planning and disaster prevention. The study concludes that multispectral satellite imagery is a viable, accessible, and strategic alternative for risk management in vulnerable areas.

Keywords: Remote sensing. Exposed soil. Landslides. Risk management. Vulnerable areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	4
Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo de uma área localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE com imagem CBERS-4A.....	8
Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo de uma área localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE com imagem LANDSAT-9.....	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro Comparativo entre os Mapas CBERS-4A x LANDSAT-9.....11

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

1. NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
2. UCN: Unidade de Conservação da Natureza
3. APA: Área de Proteção Ambiental
4. APAC: Agencia Pernambucana de Águas e Climax
5. SIG: Sistema de Informação Geográfica
6. USGS: United States Geological Survey
7. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
8. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	2
3. METODOLOGIA	3
3.1. Aquisição de dados	4
3.2. Pré-processamento	5
3.3. Processamento	7
3.4. Pós-processamento	7
4. PROTÓTIPO	11
5. RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO	12
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES)	13
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
8. APÊNDICES	16
9. ANEXO	20

Seção	Indicativo numérico	Apresentação
Primária	1	APLICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS MULTIESPECTRAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE SOLO EXPOSTO EM ÁREAS DE RISCO NO MUNICÍPIO DO JABOATÃO DOS GUARARAPES - PE: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CBERS-4A e LANDSAT-9



1. APRESENTAÇÃO

A crescente urbanização e a expansão populacional nas cidades brasileiras têm gerado uma série de desafios ambientais e sociais, levando à ocupação de áreas inadequadas para habitação, como encostas íngremes e solos com baixa estabilidade. Esse processo, aliado às condições climáticas adversas, potencializa a ocorrência de movimentos de massa, causando danos humanos, patrimoniais e ambientais. O município do Jaboatão dos Guararapes - PE, localizado na Região Metropolitana do Recife, é um exemplo dessa realidade, caracterizada por sua diversidade ambiental e urbanização crescente, enfrenta desafios significativos relacionados a deslizamentos de terra e solo exposto, especialmente em períodos de chuvas intensas.

Em maio de 2022, o município do Jaboatão dos Guararapes - PE sofreu com fortes chuvas, com uma precipitação registrada de 252,4mm em um único dia (APAC,2022), e com isso, registrou-se um grande evento natural envolvendo movimentos de massa, causando a morte de pelo menos 90 moradores e levando a grandes perdas materiais (g1,2022).

Considerando as consequências negativas que os movimentos de massa podem causar à sociedade e ao meio ambiente, é fundamental desenvolver estratégias para identificar áreas suscetíveis a esses processos e restringir a ocupação dessas áreas, o que pode reduzir significativamente o risco de acidentes. Com isso, utilizando técnicas de combinação de bandas espectrais, pretende-se gerar produtos temáticos que permitam a identificação e a delimitação dessas áreas vulneráveis contribuindo para a análise e a gestão de riscos, promovendo a conscientização da população e a elaboração de políticas públicas eficazes para a mitigação de desastres. O mapeamento visa também correlacionar os dados obtidos com informações meteorológicas, proporcionando uma compreensão mais abrangente dos fatores de risco.

Com o uso de softwares de sensoriamento remoto, aplicando técnicas como Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Solo Exposto, as imagens matriciais ou raster, oriundas de sensores orbitais que remotamente registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre, em diferentes comprimentos de onda, pode auxiliar nas investigações referentes aos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, mais especificamente no que se refere aos movimentos de massa nas encostas, bem como suporte no monitoramento sistemático das áreas em situação de risco.



2. JUSTIFICATIVA

O município do Jaboatão dos Guararapes, localizado na Região Metropolitana do Recife, é um exemplo de urbanização irregular em áreas de risco, devido ao crescimento populacional. Apresentando uma geomorfologia composta por morros e encostas, a região possui muitas áreas suscetíveis a deslizamentos.

O uso de imagens orbitais multiespectrais para o mapeamento de áreas de risco surge como uma solução promissora. As tecnologias de sensoriamento remoto têm avançado consideravelmente nos últimos anos, permitindo a captura de dados em diferentes espectros eletromagnéticos, o que possibilita uma análise mais detalhada da cobertura do solo e das condições ambientais. Por meio da combinação de bandas espectrais, é possível destacar áreas de solo exposto, vegetação e outros elementos que influenciam diretamente a estabilidade das encostas.

A identificação e a delimitação das áreas vulneráveis a deslizamentos são essenciais para o planejamento urbano e a elaboração de políticas públicas. A prevenção de desastres requer uma abordagem proativa, que considere não apenas as características físicas da área, mas também as condições climáticas e meteorológicas. Ao correlacionar dados de sensoriamento remoto com informações sobre precipitações, este mapeamento busca criar um modelo preditivo que possa auxiliar na tomada de decisões e na implementação de ações de mitigação.

Além disso, o mapeamento tem uma importância social significativa. A conscientização da população sobre os riscos associados a deslizamentos é crucial para a segurança comunitária. A disseminação dos resultados obtidos, por meio de mapas temáticos e relatórios, pode contribuir para uma maior sensibilização sobre a necessidade de preservação ambiental e uso sustentável do solo. Envolver a comunidade local nas discussões sobre gestão de riscos pode fortalecer a resiliência social e fomentar práticas de convivência harmônica com o meio ambiente.

Por fim, a gestão de áreas de risco é uma questão urgente que demanda a colaboração entre diferentes setores da sociedade, incluindo governo, academia e comunidade. O uso de ferramentas inovadoras, como as imagens orbitais multiespectrais, pode proporcionar um novo olhar sobre os desafios enfrentados por Jaboatão dos Guararapes - PE e contribuir para a construção de um futuro mais seguro e sustentável.



3. METODOLOGIA

A área de estudo está situada no município de Jaboatão dos Guararapes, localizado no litoral do estado de Pernambuco e integrante da Região Metropolitana do Recife (RMR), conforme ilustrado na Figura 1. O município abrange uma extensão territorial de aproximadamente 258,724 km², estando a cerca de 16,10 km da capital estadual, Recife. Destaca-se por ser o segundo município mais populoso de Pernambuco, com uma população estimada em 682.285 habitantes, dos quais 97,82% residiam em áreas urbanas no ano de 2010 (IBGE, 2024).

No mês de maio de 2022, dados divulgados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) indicaram um volume pluviométrico extremo, com registro de 252,4 mm de precipitação em um único dia, valor significativamente acima da média histórica. Esse evento resultou em sérios impactos socioambientais, como deslizamentos de terra e alagamentos, especialmente em áreas com maior vulnerabilidade geomorfológica (APAC, 2022).

Sob o ponto de vista geomorfológico, o território de Jaboatão dos Guararapes é composto por três principais unidades de relevo: planícies costeiras, caracterizadas por áreas sujeitas a inundações periódicas ou permanentes; terraços marinhos, com altitudes variando entre um e oito metros; e colinas, que apresentam altitudes superiores, podendo alcançar até 100 metros. Essas colinas são formadas por rochas cristalinas, recobertas ou não por sedimentos terciário-quadernários pertencentes à Formação Barreiras, ou ainda por sedimentos cretáceos da Formação Cabo (FARIAS, 2015).

A área estudada situa-se especificamente sobre terrenos da Formação Barreiras, composta predominantemente por materiais areno-argilosa e pouco consolidada (MELO, 2023), configurando-se como uma unidade geológica instável do ponto de vista ambiental. Essa instabilidade se reflete na elevada suscetibilidade a processos erosivos e deslizamentos. Durante episódios de chuvas intensas, a água pluvial infiltra-se pela camada arenosa até encontrar a camada argilosa subjacente, de caráter impermeável. Esse acúmulo de água na porção arenosa reduz sua coesão, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa, principalmente em áreas com declividades acentuadas.



Localização da área de estudo localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE

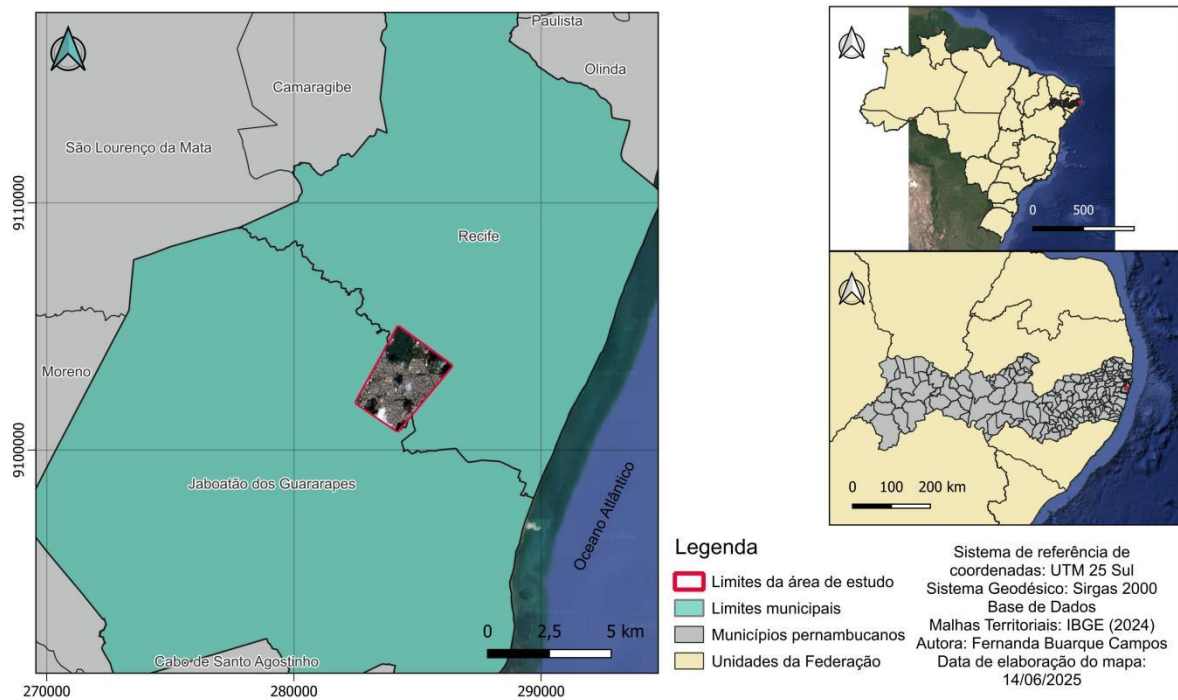


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada em etapas sequenciais, visando à elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo a partir de imagens orbitais multiespectrais, com enfoque na identificação de áreas de solo exposto. O pré-processamento foi realizado no software QGIS versão 3.40 Bratislava para imagens do satélite CBERS-4A e para imagens do satélite LANDSAT-9. O processamento e a análise dos dados foram realizados no ambiente SIG QGIS, com o apoio de ferramentas de classificação digital de imagens.

3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, foram selecionadas imagens do satélite CBERS-4A (data de varredura 25/12/2024), obtidas por meio do catálogo oficial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024). Foram selecionadas as bandas multiespectrais da câmera (WPM) do satélite CBERS-4A, organizadas em composição colorida do tipo RGB (Red, Green, Blue). A imagem utilizada apresenta resolução espacial de 2 metros, obtida por meio da fusão entre as bandas multiespectrais (8 metros) e a banda pancromática (2 metros), permitindo uma visualização mais nítida e detalhada da superfície terrestre. Já as imagens do LANDSAT-9 (data de varredura 16/04/2025), disponibilizadas pelo USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), apresenta sensor OLI-2 (Operational Land Imager), resolução de 30m nas bandas multiespectrais.



Na interface de consulta do catálogo, definiu-se o intervalo de datas entre 1º de janeiro de 2024 à 31 de dezembro de 2024 para as imagens do CBERS-4A, com o objetivo de ampliar as possibilidades de seleção de imagens com baixa cobertura de nuvens. A escolha desse período de um ano levou em consideração a variabilidade sazonal das condições atmosféricas, visando garantir a aquisição de produtos com qualidade espectral adequada para a classificação da cobertura terrestre.

Imagens com resoluções espaciais elevadas são especialmente recomendadas para análises urbanas em escala de detalhe, possibilitando a identificação de edificações, malha viária, pequenas áreas de solo exposto, além de fragmentos vegetados e corpos hídricos de menor porte. Essa granularidade é fundamental para estudos que exigem acurácia posicional e refinamento temático, como o mapeamento de áreas urbanizadas, ocupações irregulares, degradação ambiental e planejamento do uso do solo.

Além disso, a maior resolução favorece a delimitação precisa entre diferentes classes de cobertura e reduz o efeito de mistura espectral entre pixels adjacentes, contribuindo para a geração de produtos cartográficos mais confiáveis. A composição RGB foi aplicada de forma a representar fielmente as variações de cobertura do solo, servindo como base para o processo de classificação não supervisionada realizado no ambiente do QGIS.

3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

3.2.1 CBERS-4A

Antes de extrair informações das imagens, é necessário realizar um pré-processamento cuidadoso. As imagens de satélite brutas podem conter distorções e elementos indesejados que prejudicariam a análise. Por isso, aplicam-se correções atmosféricas, que ajustam os efeitos da atmosfera (como partículas e variação de iluminação) para obter valores de reflectância mais fiéis à superfície terrestre. Também é comum usar máscaras de nuvens para remover áreas encobertas – nuvens e suas sombras poderiam ser confundidas com solo claro ou áreas escuras incorretamente.

Outro passo é a reprojeção dos rasters com base na projeção oficial adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no qual garante que cada pixel da imagem esteja na localização geográfica correta e que diferentes imagens se alinhem no mesmo sistema de coordenadas. Todos os arquivos raster foram convertidos para o sistema de referência cartográfica SIRGAS 2000 / UTM, fuso 25 sul, garantindo o correto alinhamento espacial com outros dados vetoriais e raster utilizados no ambiente do projeto. Todos esses procedimentos asseguram que os dados de entrada estejam uniformes, comparáveis e confiáveis para a análise.



No software QGIS, as bandas multiespectrais da imagem CBERS-4A foram organizadas na sequência Banda 3 (azul), Banda 2 (verde) e Banda 1 (vermelho), formando uma composição colorida RGB. Essa representação torna a imagem visualmente interpretável, permitindo a diferenciação de feições como vegetação, áreas urbanas, corpos d'água, solo exposto, além de nuvens e sombras. Essa visualização é essencial para a interpretação visual preliminar e para orientar o processo de classificação.

A última etapa do pré-processamento consistiu na criação de amostras de treinamento, que foram fundamentais para o funcionamento do plugin Dzetsaka, utilizado no processo de classificação não supervisionada do tipo K-means clustering, pela sua capacidade de agrupar pixels com base em similaridade espectral. Para isso, foi criado um arquivo vetorial do tipo shapefile, no qual foram desenhados polígonos representativos das principais classes de uso e cobertura do solo observadas na imagem.

Cada polígono foi posicionado com base na interpretação visual da imagem composta, assegurando que representasse corretamente uma única classe. As classes adotadas neste estudo incluíram: vegetação, solo exposto, área urbana, nuvem e sombra de nuvem. A cada polígono foi atribuído um valor de atributo correspondente à classe representada, servindo como base para a interpretação e reclassificação posterior das classes geradas automaticamente pelo algoritmo de clusterização.

Em suma, o pré-processamento melhora a qualidade das imagens, evitando que erros (como nuvens não removidas ou deslocamentos) levem a interpretações equivocadas nos resultados finais.

3.2.2 LANDSAT-9

Neste estudo foi utilizada uma única imagem proveniente da missão LANDSAT-9, possuindo cobertura integral da área de interesse obtida em 16/04/2025. A escolha por essa imagem única visa garantir uniformidade nas condições de iluminação, atmosfera e estado da cobertura do solo, aspectos fundamentais para a qualidade da análise multiespectral e da separação eficiente das classes temáticas.

A cena foi adquirida com baixa interferência de nuvens, fator essencial para a fidelidade espectral e para a minimização de erros na classificação das feições da superfície. Para a composição colorida RGB, foram selecionadas as bandas 4 (infravermelho próximo), 3 (vermelho) e 2 (verde) e resolução espacial de 15 metros (banda pancromática fusionada).

Outro passo foi a reprojeção das imagens, todos os arquivos raster foram convertidos para o sistema de referência cartográfica SIRGAS 2000 / UTM, fuso 25 sul, com base na projeção oficial adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) garantindo que cada pixel da imagem esteja na localização geográfica correta e que diferentes imagens se alinhem no mesmo sistema de coordenadas.



Após o pré-processamento e a composição colorida RGB da imagem LANDSAT-9, foi realizada a classificação não supervisionada com uso do plugin Dzetsaka, disponível no ambiente QGIS. Essa ferramenta permite a aplicação de diversos algoritmos de aprendizado de máquina, sendo selecionado, neste caso, o algoritmo K-means, que agrupa pixels com base em similaridade espectral, sem necessidade de amostras pré-definidas.

Na etapa final, cada polígono foi posicionado com base na interpretação visual da imagem composta, assegurando que representasse corretamente uma única classe. As classes adotadas neste estudo incluíram: vegetação, solo exposto, área urbana. A cada polígono foi atribuído um valor de atributo correspondente à classe representada, servindo como base para a interpretação e reclassificação posterior das classes geradas automaticamente pelo algoritmo de clusterização.

3.3 PROCESSAMENTO

Com os dados e parâmetros devidamente configurados, a classificação foi executada diretamente na interface do Dzetsaka, disponível no ambiente QGIS, permitindo a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina a partir de amostras vetoriais previamente coletadas. Nesse processamento, o algoritmo Random Forest foi escolhido por sua robustez, boa capacidade de generalização e alta precisão mesmo em ambientes complexos. O processamento resultou em um novo raster classificado, em que cada pixel da imagem foi associado a uma das classes definidas durante a etapa de treinamento. Esses polígonos foram atribuídos a diferentes classes temáticas por meio de uma coluna de atributo, onde cada valor numérico representava uma classe distinta.

3.4 PÓS-PROCESSAMENTO

Após a execução da classificação não supervisionada com o plugin Dzetsaka, foi realizada o pós-processamento dos resultados, com o objetivo de aprimorar a qualidade do mapa temático final e corrigir imperfeições comuns em classificações automáticas.

Com o objetivo de padronizar visualmente a representação temática das classes resultantes, foi realizado o ajuste da simbologia do raster classificado utilizando a ferramenta de estilo de camadas raster, por meio da qual cada classe foi vinculada a uma cor específica, previamente definida com base nos valores atribuídos.

Essa padronização cromática contribuiu para uma interpretação visual mais eficiente, precisa e intuitiva, facilitando a análise e a comunicação dos resultados, tanto em ambiente técnico quanto na elaboração de produtos cartográficos finais.



Após a conclusão das etapas de processamento e pós-processamento dos dados, foi gerado o mapa temático de uso e ocupação do solo da área de estudo (Figura 2 e 3). No presente capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dessa classificação, com base na interpretação das diferentes classes temáticas identificadas, permitindo uma análise espacial detalhada da dinâmica do território.

3.4.1 Mapa de uso e ocupação do solo classificado com imagem CBERS-4A (Resolução de 2m)

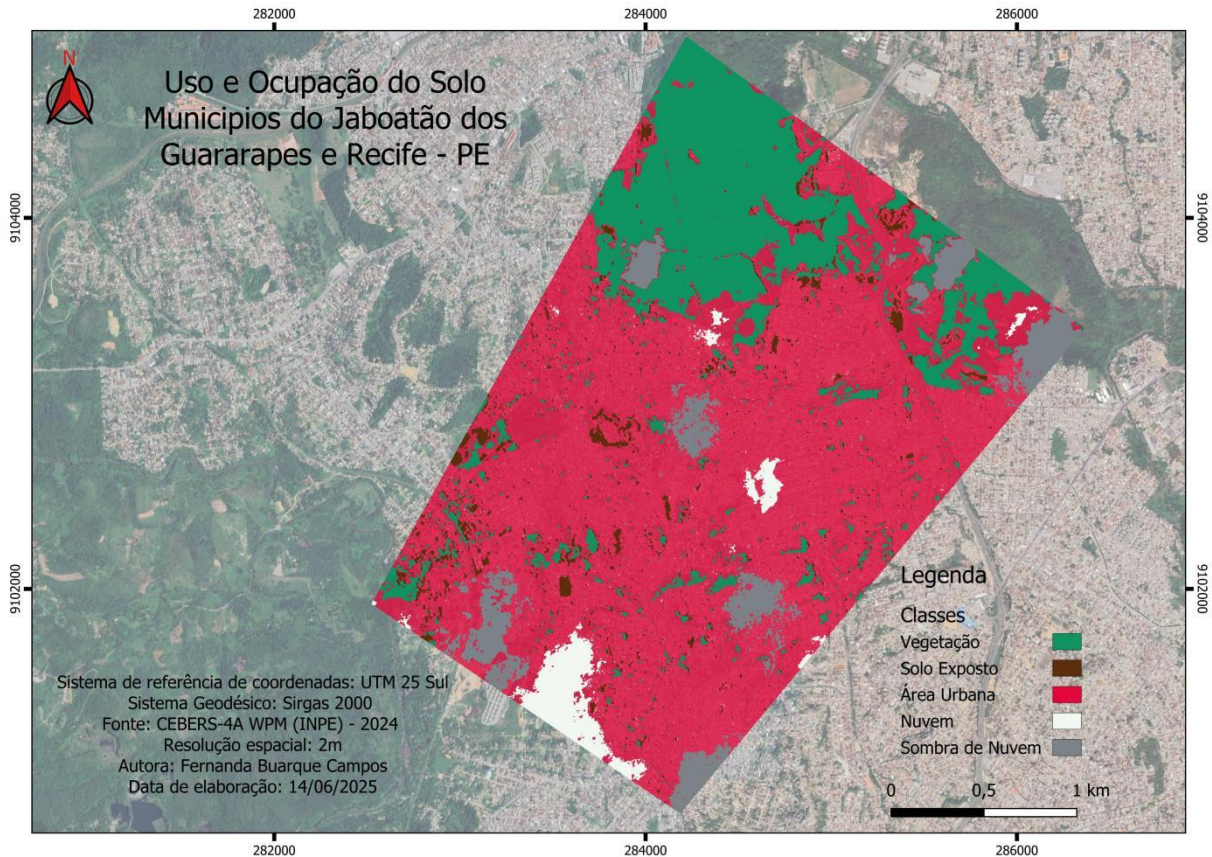


Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo de uma área localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE. Fonte: Elaborado pela autora (2025)

O mapa representa a classificação temática da cobertura e uso do solo de uma área localizada entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife – PE, com base em uma imagem do sensor WPM do satélite CBERS-4A, com resolução espacial de 2m, o que permite elevada precisão na identificação de feições espaciais.

A área urbana representada pela cor vermelha é a classe predominante no mapa, cobrindo a maior parte da imagem. Representa zonas densamente edificadas, como bairros residenciais, vias, equipamentos urbanos e infraestrutura. A alta resolução permitiu distinguir com clareza a ocupação consolidada do território, evidenciando a forte urbanização da área analisada.



A vegetação representada pela cor verde é identificada em uma ampla área na porção norte/nordeste e em fragmentos distribuídos principalmente nas regiões central e sudoeste da área. Esta classe inclui áreas de mata nativa (UCN Mata do Barro), parque ecológico (APA Engenho Uchoa), vegetação secundária e zonas com cobertura arbórea.

O solo exposto representada pela cor marrom, aparece em pequenas manchas dispersas, especialmente em áreas periféricas ou em transição com a malha urbana. Representa locais com ausência de cobertura vegetal ou impermeabilização, podendo indicar processos de desmatamento, canteiros de obras, cortes de taludes, áreas degradadas ou terrenos em preparo para uso urbano. A presença do solo exposto em regiões com declividade, especialmente sobre terrenos da Formação Barreiras, representa um potencial risco geotécnico, uma vez que o solo areno-argiloso da região apresenta baixa coesão e alta suscetibilidade a deslizamentos em períodos de chuvas intensas.

As nuvem representada pela cor branca aparecem como manchas claras intensas, em especial na porção inferior da imagem. Sua inclusão como classe separada foi importante para evitar erros de classificação nas demais categorias.

Sombra de nuvem representada pela cor cinza, aparecem como áreas sombreadas pela presença de nuvens, geralmente com baixo valor espectral e confundíveis com corpos d'água ou áreas urbanas densas. Foram separadas para garantir maior confiabilidade nos dados classificados.

A utilização de uma imagem com resolução de 2m se mostrou altamente eficaz para a detecção de feições detalhadas, como pequenos fragmentos vegetais e áreas de solo exposto. O detalhamento é superior ao obtido com sensores de média resolução, permitindo uma análise mais refinada do mosaico urbano e ambiental da área estudada.

3.4.2 Mapa de uso e ocupação do solo classificado com imagem LANDSAT-9 (Resolução de 15m)

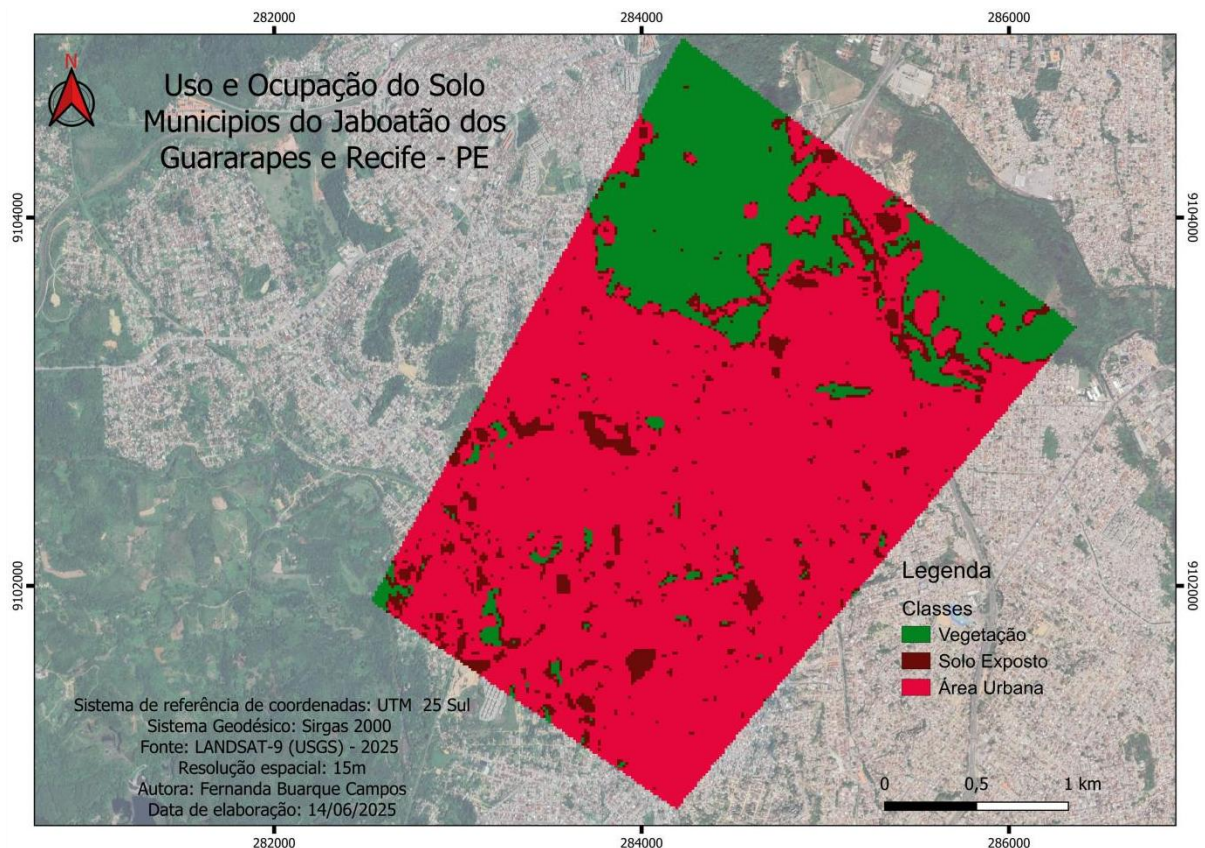


Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo de uma área localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE. Fonte: Elaborado pela autora (2025)

O mapa representa a classificação temática da cobertura e uso do solo de uma área localizada entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife – PE, com base em uma imagem do sensor OLI-2 do satélite LANDSAT-9, com resolução espacial de 15m.

A classe área urbana, representada na cor vermelha, predominou em grande parte da imagem classificada. Sua concentração é especialmente significativa nas porções central, leste e sudoeste da área estudada. Este padrão reflete a densa ocupação urbana característica da Região Metropolitana do Recife, onde o crescimento desordenado contribui para a ocupação de encostas e áreas ambientalmente frágeis.

A classe vegetação, indicada em verde, aparece em ampla área na porção norte/nordeste da área classificada e em porções pontuais a central e sudoeste. Essas áreas podem representar remanescentes de cobertura vegetal nativa, zonas de proteção permanente ou lotes urbanos ainda não ocupados. A identificação dessas manchas vegetadas é fundamental para análises relacionadas à conservação ambiental, planejamento urbano e risco de instabilidade do solo.

A classe solo exposto, representada em marrom escuro, aparece em setores de transição entre áreas vegetadas e urbanas, sendo observada em manchas descontínuas. Sua

ocorrência pode estar relacionada a intervenções antrópicas recentes, como supressão de vegetação, obras de infraestrutura, loteamentos em implantação ou áreas sujeitas à erosão.

Com menor nível de detalhamento, as imagens do LANDSAT-9, são mais indicadas para estudos que abrangem áreas extensas, como municípios inteiros, bacias hidrográficas, unidades de conservação ou zonas costeiras. Elas permitem identificar padrões gerais de uso do solo, mudanças na cobertura vegetal e tendências de urbanização, mesmo que não capturem detalhes muito finos.

Em suma, a classe de solo exposto, objeto principal deste estudo, apresentou maior ocorrência nas porções elevadas e nas encostas, onde a vegetação é mais esparsa e a ocupação urbana é irregular. As imagens classificadas indicam que essas áreas coincidem com setores vulneráveis à erosão e ao deslizamento, conforme os registros históricos de eventos extremos, como o ocorrido em maio de 2022 (APAC, 2022).

4. PROTÓTIPO

Os mapas classificados (Figuras 2 e 3) revelam padrões distintos entre as imagens CBERS-4A e LANDSAT-9. A seguir, as diferenças entre os dois produtos cartográficos gerados serão apresentados (Tabela 1).

Critério	CBERS-4A (2024)	LANDSAT-9 (2025)
Resolução Espacial	2 metros (pós-fusão)	15 metros (pós-fusão)
Fonte	INPE – WPM	USGS – OLI
Número de Classes	5 (Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana, Nuvem, Sombra de Nuvem)	3 (Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana)
Detalhamento das Feições	Elevado – identifica pequenas áreas e transições	Reduzido – feições generalizadas
Delimitação de Bordas	Alta precisão entre as classes	Menor precisão, com mistura espectral
Sensibilidade a Solo Exposto	Alta – identifica áreas pequenas e fragmentadas	Moderada – adequada para grandes manchas
Interferência Atmosférica	Classes específicas para nuvens e sombras	Não identificadas
Aplicabilidade	Estudos locais, urbanos, ambientais e detalhados	Monitoramento regional e multitemporal
Software Utilizado	QGIS + Classificador Dzetsaka	QGIS + Classificador Dzetsaka

Tabela 1- Quadro Comparativo entre os Mapas CBERS-4A x LANDSAT-9. Fonte: Elaborado pela autora (2025)



5. RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO

A aplicação da classificação não supervisionada com o plugin Dzetsaka demonstrou ser eficaz na identificação de padrões espectrais em ambientes urbanos e naturais. Apesar de não exigir dados de treinamento, é necessário conhecimento prévio da área e das características espectrais das classes para uma interpretação adequada.

A junção das informações de solo exposto/vegetação com dados de chuva é um passo importante para entender a relação com deslizamentos. Chuvas intensas ou prolongadas atuam muitas vezes como gatilho de deslizamentos, porque encharcam o solo das encostas.

Portanto, ao integrar dados meteorológicos (chuva) com os dados de satélite permite identificar quando e onde as condições propícias a deslizamentos ocorrem, dando subsídios para emitir alertas ou tomar medidas preventivas nas áreas de risco.

Este método mostrou-se aplicável para fins de monitoramento ambiental, planejamento urbano e avaliação de riscos geológicos, especialmente quando integrado com dados de precipitação, declividade e ocupação do solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES)

A utilização de imagens orbitais multiespectrais dos satélites CBERS-4A e LANDSAT-9, processadas no ambiente QGIS com aplicação da classificação não supervisionada por meio do plugin Dzetsaka, demonstrou-se uma abordagem eficaz para a identificação de áreas de solo exposto no município de Jaboatão dos Guararapes, PE.

A análise comparativa entre as duas fontes de dados evidenciou que a resolução espacial do CBERS-4A proporciona maior detalhamento, especialmente em áreas urbanas e encostas com ocupação irregular, enquanto o LANDSAT-9, com resolução mais baixa, se mostrou mais eficiente para a delimitação de manchas contínuas de vegetação e uso do solo em escala regional.

A classe de solo exposto, central neste estudo, apresentou forte correlação com áreas suscetíveis a processos erosivos e movimentos de massa, especialmente aquelas inseridas na Formação Barreiras, geologicamente instável devido à sua constituição areno-argilosa pouco consolidada. Os registros históricos de chuvas extremas, como o evento de maio de 2022, reforçam a importância da identificação prévia dessas áreas de risco.

A metodologia adotada permitiu resultados satisfatórios, mesmo sem a necessidade de amostras de treinamento, reforçando o potencial da classificação não supervisionada como ferramenta acessível e de rápida aplicação. Contudo, ressalta-se a importância da validação em campo e da integração com outras variáveis geográficas (declividade, uso do solo, drenagem) para maior precisão nas análises.

Dessa forma, conclui-se que a integração entre dados orbitais e técnicas de geoprocessamento é uma alternativa viável e relevante para o monitoramento ambiental, subsidiando políticas públicas voltadas à gestão de riscos, ao planejamento urbano e à prevenção de desastres em áreas vulneráveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES,C.; COUTINHO,K. **Tragédia provocada por chuvas e deslizamento de barreiras é o maior desastre de Pernambuco do século 21, dizem especialistas.** g1 PE, Recife, 30 de abr. 2022, Cotidiano. Disponível em:<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/30/tragedia-provocada-por-chuvas-e-deslizamento-de-barreiras-e-o-maior-desastre-de-pernambuco-do-seculo-21-dizem-especialistas.ghtml>>. Acesso em:10 de jun.2025.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Boletim Pluviométrico - Maio de 2022.** Recife: APAC, 2022. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2025

COUTINHO, R. Q. (2015) **Projeto de Mapeamento de áreas de riscos em Municípios da Região Metropolitana do Recife.** Convênio firmado entre o GEGEP e o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC/MI).

FARIAS, C. A. B. de. **Geologia da Região Metropolitana do Recife e Implicações Ambientais.** Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2015.

FARIAS, R. F. L. **Climatologia de ocorrência de eventos extremos pluviais no município de Jaboatão dos Guararapes/PE e a repercussão dos transtornos provocados na sociedade.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015, p116.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Catálogo de imagens CBERS-4A. Recife: INPE, 2024. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas populacionais e dados territoriais.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MELO,C,R de; GUEDES,P,A; OTTONI, M, V; MELO,S,C de. **Análise do balanço hídrico no solo, em relação aos deslizamentos de 28/05/2022, em Jardim Monte Verde, PE.** Porto Alegre: ABRHidro, 2023. <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24644>>. Acesso em 10 mar 2024.

MENDONÇA,R. **Geoprocessamento aplicado à análise de aptidão à urbanização do município de Joinville, SC frente a desastres decorrentes de movimentos de massa e inundações.** 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24377>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

MONGUILHOTT, M. **Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Rodovia RS-486 – Rota do Sol.** Pesquisa Florestal Brasileira, [s.l.], v. 30, n. 61, p. 61, 2010. Disponível em: <<https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/142>>. Acesso em: 05 abr. 2024.



PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da; LAFAYETTE, K. P. V.; BARBOSA, I. M. B. R. **Mapeamento das Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa no Município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco.** Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos, Goiânia, Brasil, v. 9, n. 1, p. 23 páginas, 2024. DOI: 10.18224/baru.v9i1.13315. Disponível em: <https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/baru/article/view/13315>. Acesso em 07 mar. 2024.

PRADO, P. A. A. **Uso de sensoriamento remoto para zoneamento de áreas susceptíveis à ocorrência de subsidência do solo e deslizamento de encostas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50053>>. Acesso em 07 mar. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Imagem de satélite Landsat 9 – OLI/TIRS, Path 215 Row 65, referente à área do município de Jaboatão dos Guararapes – PE, Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 16 mai. 2025.

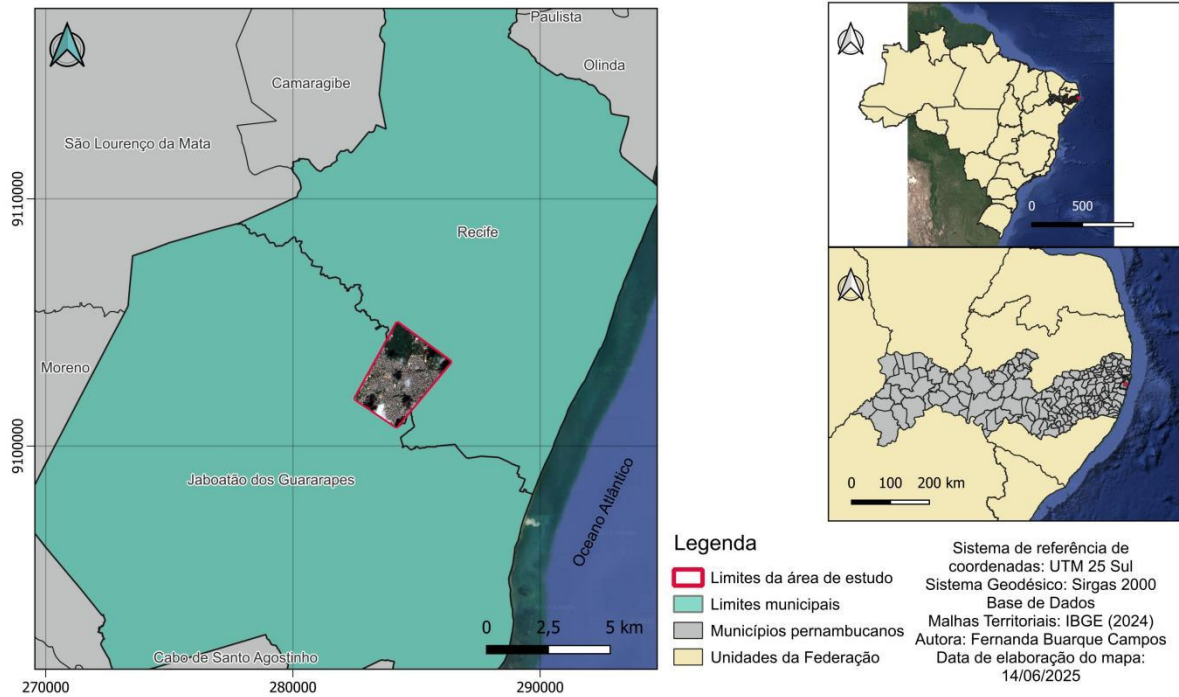
VENIZIANI JUNIOR, J. C. T. **Utilização de índices de vegetação para estimativa da proteção do solo pela cobertura vegetal: uma contribuição para o uso da equação universal das perdas de solo.** Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003. <<http://acervodigital.unesp.br/handle/11449/86522>>. Acesso em 10 mar. 2024.



8. APÊNDICES

Apêndice A - Mapa de localização da área de estudo

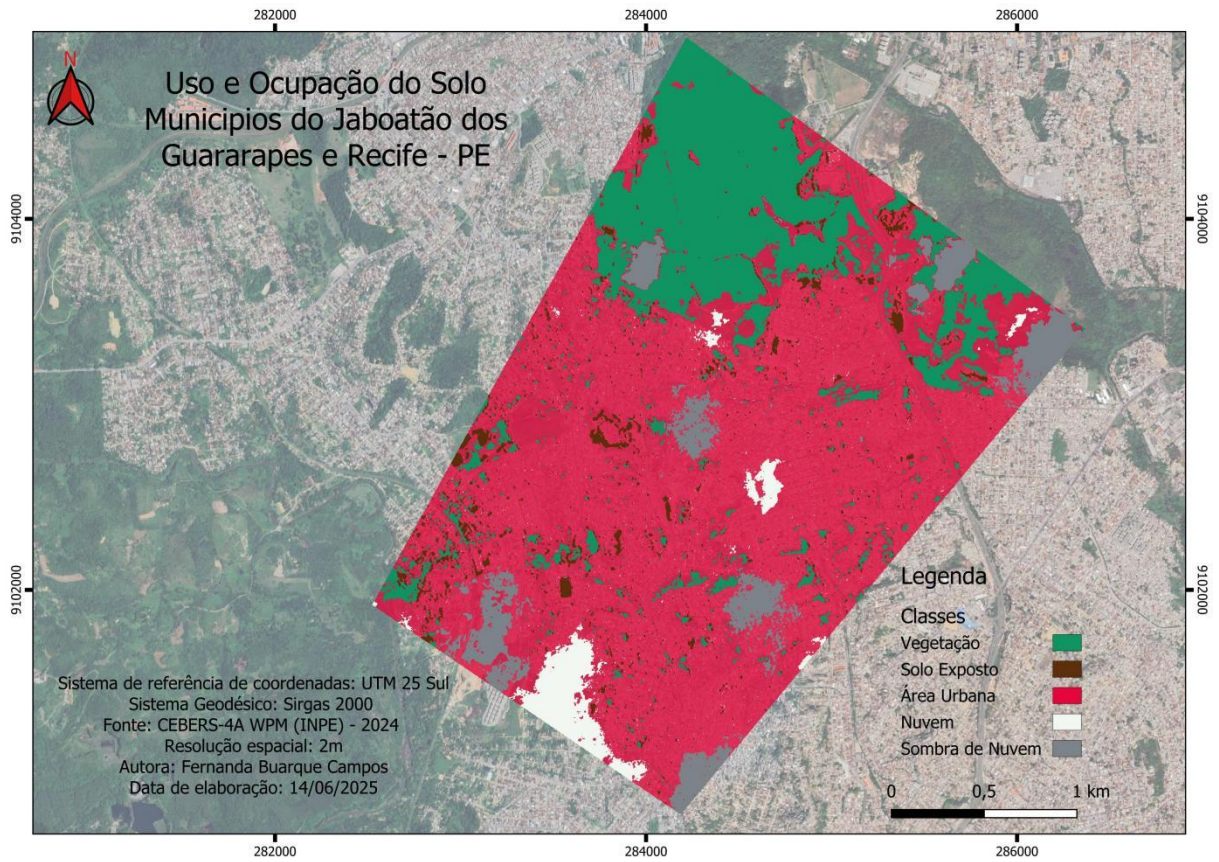
Localização da área de estudo localizada entre os municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife - PE



Fonte: Elaborado pela autora (2025)



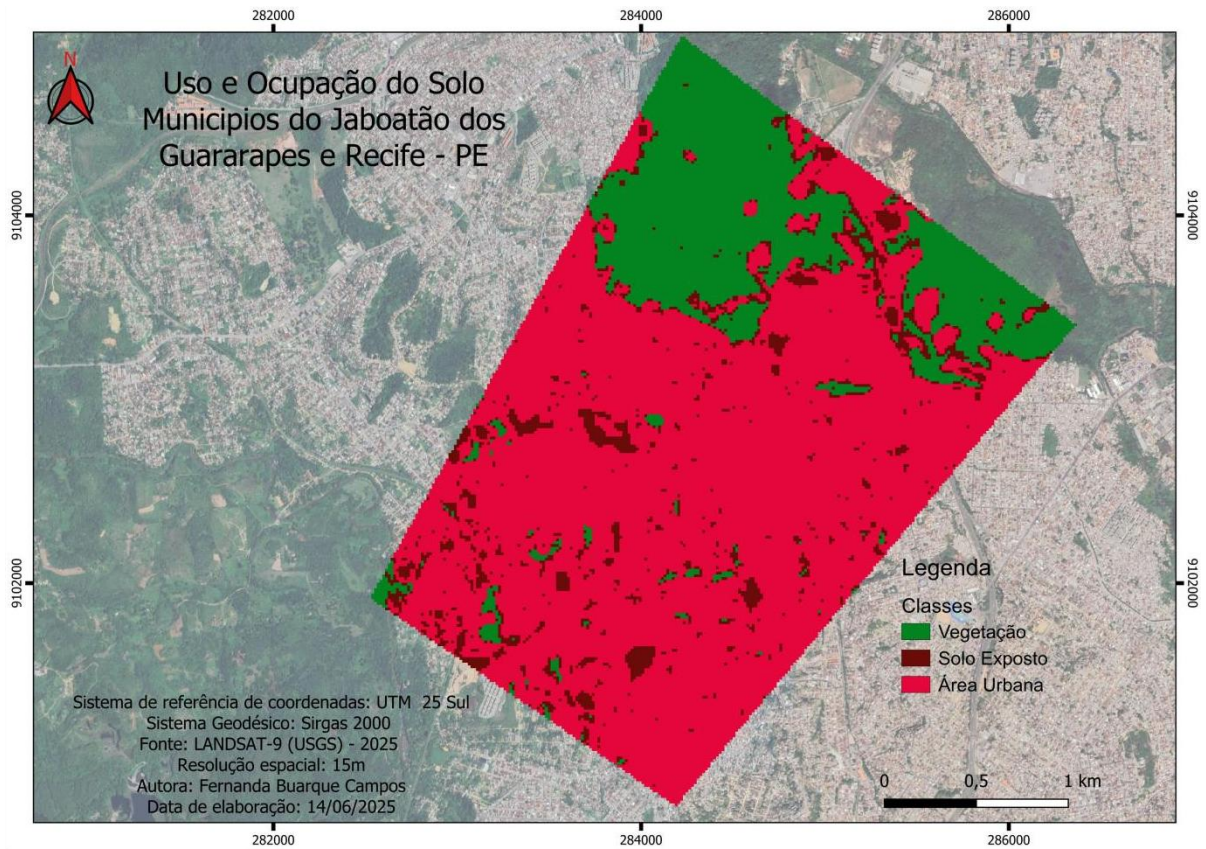
Apêndice B - Mapa de uso e ocupação do solo classificado com imagem CBERS-4A (Resolução de 2m)



Fonte: Elaborado pela autora (2025)



Apêndice C - Mapa de uso e ocupação do solo classificado com imagem LANDSAT-9 (Resolução de 15m)



Fonte: Elaborado pela autora (2025)



Apêndice D - Quadro Comparativo entre os Mapas CBERS-4A x LANDSAT-9

Critério	CBERS-4A (2024)	LANDSAT-9 (2025)
Resolução Espacial	2 metros (pós-fusão)	15 metros (pós-fusão)
Fonte	INPE – WPM	USGS – OLI
Número de Classes	5 (Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana, Nuvem, Sombra de Nuvem)	3 (Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana)
Detalhamento das Feições	Elevado – identifica pequenas áreas e transições	Reduzido – feições generalizadas
Delimitação de Bordas	Alta precisão entre as classes	Menor precisão, com mistura espectral
Sensibilidade a Solo Exposto	Alta – identifica áreas pequenas e fragmentadas	Moderada – adequada para grandes manchas
Interferência Atmosférica	Classes específicas para nuvens e sombras	Não identificadas
Aplicabilidade	Estudos locais, urbanos, ambientais e detalhados	Monitoramento regional e multitemporal
Software Utilizado	QGIS + Classificador Dzetsaka	QGIS + Classificador Dzetsaka

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

9. ANEXOS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
COORDENADORIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA



ATA Nº 3654/2025 - CEAD (12.28.01.36)

Nº do Protocolo: 23083.040750/2025-11

Seropédica-RJ, 25 de julho de 2025.

ATA DE DEFESA

Aos dezessete dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e cinco, às nove horas, através de web conferência, instalou-se a banca examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, da cursista **Fernanda Buarque Campos** sob a orientação do professor **Gustavo Souto Perdigão Granha**. A banca examinadora foi composta pelas professoras/pesquisadoras **Niriele Bruno Rodrigues** e **Mariana Oliveira da Costa**. A defesa do TCC intitulado "**Mapeamento de Áreas de Risco no município do Jaboatão dos Guararapes Utilizando Imagens Orbitais Multiespectrais: Análise de Solo Exposto e Deslizamentos**", foi iniciada às nove horas e teve a duração de vinte minutos de apresentação seguida da avaliação pela banca. A cursista, após avaliada pela banca examinadora obteve o resultado:

(X) APROVADA, devendo a cursista proceder a eventual revisão solicitada pelo supervisor e /ou pela banca, e entregar a versão final em até quinzédias à coordenação do Curso.

() NÃO APROVADA.

Seropédica, 17 de julho de 2025.

Niriele Bruno Rodrigues

Primeira Examinadora

Mariana Oliveira da Costa

Segunda Examinadora

Gustavo Souto Perdigão Granha

Presidente

Fernanda Buarque Campos

Cursista

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 15:46)
GUSTAVO SOUTO PERDIGAO GRANHA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIM (12.28.01.00.00.87)
Matricula: ###524#0

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 15:49)
NIRIELE BRUNO RODRIGUES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.797-##

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 17:20)
MARIANA OLIVEIRA DA COSTA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.087-##

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 20:32)
FERNANDA BUARQUE CAMPOS
DISCENTE
Matricula: 2024#####3