



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FABIANO SILVA SANDES

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE LIXÕES NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO,
BAHIA: SENSORIAMENTO REMOTO, INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE
SATÉLITE E APLICAÇÃO WEB (GOOGLE EARTH ENGINE)**

SERRINHA
2024



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FABIANO SILVA SANDES

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE LIXÕES NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO,
BAHIA: SENSORIAMENTO REMOTO, INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE
SATÉLITE E APLICAÇÃO WEB (GOOGLE EARTH ENGINE)**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Serrinha*, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dra. Maria Nazaré Guimarães Marchi
Coorientador: Dr. Benjamin Leonardo Alves White

SERRINHA
2024

Sandes, Fabiano Silva

S216a Avaliação da presença de lixões na bacia do Rio São Francisco, Bahia: sensoriamento remoto, interpretação de imagens de satélite e aplicação web (Google Earth Engine/ Fabiano Silva Sandes.- Serrinha, Ba, 2024.

41 p.; il.: color.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências Ambientais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Serrinha.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Nazaré Guimarães Marchi

Coorientador: Prof. Dr. Benjamin Leonardo Alves White.

1. Resíduos sólidos. 2. Sensoriamento remoto. 3. Google Earth Engine. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. II. Marchi, Maria Nazaré Guimarães (Orient.). III. White, Benjamin Leonardo Alves (Coorient.). IV. Título.

CDU: 628.4



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE LIXÕES NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO,
BAHIA: SENSORIAMENTO REMOTO, INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE
SATÉLITE E APLICAÇÃO WEB (GOOGLE EARTH ENGINE)**

**Comissão examinadora do Exame de Dissertação do Curso do discente
Fabiano Silva Sandes**

Data da defesa: 15 de março de 2024
APROVADO

Dra. Maria Nazaré Guimarães Marchi
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano
(Orientadora)

Prof. Dr. Márcio Lima Rios
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano
(Examinador Interno)

Dra. Maria Dolores Ribeiro Orge
Universidade do Estado da Bahia
(Examinador Externo)

SERRINHA
2024

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à minha querida esposa, cujo apoio e o amor incondicional foram fundamentais para a conclusão deste trabalho com seu incentivo constante e compreensão durante os momentos mais desafiadores foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente e conquistar este mestrado.

Ao nascimento de minha filha, que trouxe uma nova perspectiva à minha vida, transformando cada desafio em uma oportunidade de crescimento e resiliência. Sua chegada encheu nossos dias de alegria e renovou minhas forças para alcançar meus objetivos acadêmicos e pessoais. Inspirado pela força que ela me dá, lembro-me dos versos de Emicida em "Pequenas Alegrias da Vida Adulta": "Então eu vou bater de frente com tudo por ela, topar qualquer luta".

Quero expressar minha gratidão aos meus orientadores, Dra. Maria Nazaré Guimarães Marchi e Dr. Benjamin Leonardo Alves White, pelo apoio, orientação e incentivo ao longo desta jornada.

Concluo este trabalho com uma citação que reflete a essência da jornada que percorri: "Um ser humano criativo é motivado pelo desejo de alcançar, não pelo desejo de vencer os outros" - Ayn Rand.

Com toda minha gratidão,

Fabiano Silva Sandes

RESUMO

Este estudo aborda a utilização do Sensoriamento Remoto Ambiental, com interpretação de imagens espaciais, para monitorar e mapear lixões em municípios do Estado da Bahia, com ênfase na bacia do Rio São Francisco. O objetivo geral deste trabalho é promover o uso do Google Earth Engine (GEE) em conjunto com imagens de satélite Sentinel-2 para monitorar e mapear lixões, criando indicadores essenciais para a gestão de resíduos sólidos na Bacia do Rio São Francisco. A metodologia incluiu a criação de um mapa online com informações atualizadas para avaliar a abordagem do saneamento ambiental. A pesquisa identificou municípios baianos com práticas inadequadas de disposição de lixões. Utilizando o GEE, foram elaboradas representações de dados vetoriais e geometria das localizações desses vazadouros. Um aplicativo online foi desenvolvido para visualização georreferenciada dos lixões, integrando camadas de dados obtidas em campo e imagens de satélite Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros. Os principais resultados encontrados foram a identificação como locais de descarte inadequado dos municípios de: Casa Nova, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Paulo Afonso, Pilão Arcado, Remanso, Umbuzeiro, Bom Jesus da Lapa, Ibotirama, Malhada, Carinhanha e Paratinga. Neste resultado, os depósitos de resíduos sólidos foram mapeados e integrados em um mapa usando imagens de satélite Sentinel-2. A visualização georreferenciada possibilitou a identificação da distância entre os lixões e áreas urbanas, corpos hídricos e fragmentos florestais sensíveis, fornecendo subsídios para estratégias que minimizem impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. O principal produto da dissertação é um aplicativo online que permite a visualização georreferenciada dos lixões na Bacia do Rio São Francisco. Este aplicativo utiliza imagens de satélite Sentinel-2 para fornecer uma melhor resolução espacial das localizações dos lixões. Portanto, a ferramenta pode ser empregada na criação de um banco de dados para aprimorar a gestão de resíduos sólidos, auxiliando na tomada de decisões informadas sobre a destinação adequada dos resíduos e podendo aplicar futura mitigação aos impactos ambientais e da saúde pública.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Sensoriamento Remoto Ambiental, Google Earth Engine (GEE)

EVALUATION OF DUMPSITE PRESENCE IN THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN, BAHIA: REMOTE SENSING, SATELLITE IMAGE INTERPRETATION, AND WEB APPLICATION (GOOGLE EARTH ENGINE)

This study addresses the use of Environmental Remote Sensing, with spatial image interpretation, to monitor and map open dumps in municipalities of the State of Bahia, with an emphasis on the São Francisco River basin. The general objective of this work is to promote the use of Google Earth Engine (GEE) in conjunction with Sentinel-2 satellite imagery to monitor and map open dumps, creating essential indicators for solid waste management in the São Francisco River Basin. The methodology included the creation of an online map with updated information to assess the approach. The research identified Bahian municipalities with inadequate practices in open dump disposal. Using GEE, vector data representations and geometries of the dump locations were created. An online application was developed for georeferenced visualization of the open dumps, integrating data layers obtained in the field and Sentinel-2 satellite images with a spatial resolution of 10 meters. The main results identified municipalities such as Casa Nova, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Paulo Afonso, Pilão Arcado, Remanso, Umbuzeiro, Bom Jesus da Lapa, Ibotirama, Malhada, Carinhanha, and Paratinga as inadequate waste disposal sites. In this outcome, solid waste dumps were mapped and integrated into a map using Sentinel-2 satellite imagery. The georeferenced visualization enabled the identification of the distance between the dumps and urban areas, water bodies, and sensitive forest fragments, providing support for strategies that minimize negative environmental and public health impacts. The main product of the dissertation is an online application that allows the georeferenced visualization of open dumps in the São Francisco River Basin. This application uses Sentinel-2 satellite imagery to provide better spatial resolution of the dump locations. Therefore, the tool can be employed in the creation of a database to improve solid waste management, aiding informed decision-making regarding proper waste disposal and potentially applying future mitigation to environmental and public health impacts.

Keywords: Solid waste, Environmental Remote Sensing, Google Earth Engine (GEE)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Bacia do Rio São Francisco com relação aos municípios da Bahia com disposição final de resíduos sólidos em lixões a céu aberto que foram avaliados neste estudo.....	19
Figura 2. Vazadouro a Céu Aberto em alguns municípios da Bahia no ano de (2016).	26
Figura 3 - Vazadouro a Céu Aberto em alguns municípios da Bahia no ano de (2016) Continuação.....	27
Figura 4. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel- 2 demonstrando locais de lixão ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.....	29
Figura 5. Imagem RGB Sentinel do Município de Casa Nova/BA. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel-2.....	31
Figura 6. Composição cor verdadeira, sensor Multiespectral de alta chamado MultiSpectral Instrument (MSI) imagem do satélite Sentinel-2.....	32
Figura 7. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel-2.....	33
Figura 9. Mapa representado por imagens satélite Sentinel 2 - harmonizada com mosaico dos 14 municípios ao logo do Rio São Francisco	34
Figura 10. Captura de imagens no GEE usando código Java no Sublime Text 3: uma solução eficiente para análise de dados geoespaciais.....	36
Figura 11. Processamento de imagens RGB no GEE: Análise de mudanças no uso da terra usando código Javascript.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Municípios Impactados pela Problemática do Descarte Inadequado.20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	OBTENÇÃO DO CONHECIMENTO ALÉM DA PERCEPÇÃO HUMANA	13
3.2	ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS	14
3.2.1	Sistema Sensor Utilizado.....	16
4	JUSTIFICATIVA	17
5	METODOLOGIA.....	18
5.1	MATERIAL E MÉTODOS	18
5.2	BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO	18
5.3	COLETA E ANÁLISE/TRATAMENTO DE DADOS.....	20
6	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	25
6.1	AVALIAÇÃO DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	25
6.2	APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO	28
6.2.1	Criação de Geodados a partir das análises dos vazadores a céu aberto	28
6.2.2	Script em javascript para classificação e seleção de imagens por meio do Google Earth Engine	35
6.3	VISUALIZAÇÃO INTERATIVA E GEORREFERENCIADA DOS LIXÕES	38
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, o aumento da exploração de recursos naturais em resposta à crescente demanda do mercado tem desencadeado um ciclo de consumismo desenfreado e produção insustentável de resíduos sólidos. Para fazer frente a essa complexa questão, tecnologias avançadas como o sensoriamento remoto e drones emergiram como ferramentas valiosas na monitorização e gestão dos recursos naturais. De modo a compreender a relação do ser humano com a natureza, a utilização de geotecnologias avançadas de observação aérea, como satélites e Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPA ou DRONES, têm se mostrado indispensáveis para monitoramento e gestão de recursos naturais, conservação de espécies e mitigação de desastres naturais.

A observação orbital pela ciência do Sensoriamento Remoto pode ser usada para monitorar e mitigar problemas ambientais atuais, como mudanças climáticas, fluxo de carbono, cálculo para crédito de carbono, a degradação do solo, a poluição do ar, e descarte irregular de resíduos sólidos, dentre outros. Um exemplo, é o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), sistema do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022) que realiza o monitoramento por corte raso na Amazônia Legal brasileira.

No Brasil, a gestão de resíduos sólidos enfrenta desafios significativos, resultando na criação de vazadouros a céu aberto que acarretam impactos ambientais prejudiciais. Na Bahia, apesar dos esforços em melhorar a gestão de resíduos sólidos, a escassez de investimentos e a ineficácia governamental continuam a ser obstáculos substanciais. Neste sentido, a promulgação da Lei Estadual 12.932/2014 que trata de resíduos sólidos representou um passo importante ao estabelecer uma Política de Resíduos Sólidos, catalisando estudos regionais e a identificação de locais apropriados para aterros sanitários sendo apenas um avanço na legislação (Bahia, 2014).

Para lidar efetivamente com os problemas associados aos vazadouros a céu aberto, é crucial empregar dados obtidos por sensoriamento remoto, os quais permitem monitorar e propor soluções. Essa tecnologia é capaz de fornecer indicadores de não conformidade com a legislação ambiental e detectar passivos ambientais.

Tais dados são essenciais para a aplicabilidade de análise dos impactos ambientais, para o estabelecimento de indicadores relevantes e a para a fiscalização do

cumprimento das leis. Em razão disso, a necessidade de compreender profundamente os efeitos dos resíduos sólidos na Bacia do Rio São Francisco torna-se, portanto, imperativo para uma gestão eficiente dos recursos hídricos e para a preservação do meio ambiente.

Neste contexto, este estudo propõe o uso inovador do *Google Earth Engine* (GEE) e de imagens do *dataset* (Banco de dados) de satélite Sentinel-2 para o monitoramento e mapeamento de lixões na Bacia do Rio São Francisco, Bahia. Este é um dos primeiros estudos na aplicação do GEE especificamente para o saneamento ambiental na região, destacando seu ineditismo e potencial transformador na gestão de resíduos sólidos. Espera-se que os dados obtidos possam contribuir significativamente para a criação de indicadores que auxiliem na identificação e mapeamento de lixões, bem como na avaliação dos impactos ambientais associados. A pesquisa visa, portanto, fornecer subsídios essenciais para a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas eficientes, contribuindo para a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população local.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é promover a aplicação do Google Earth Engine (GEE) em conjunto com imagens de satélite Sentinel-2 para aplicação de monitoramento e mapear lixões, com o intuito de criar indicadores essenciais para um banco de dados (Câmara, 1995) geográfico que administre a disposição final dos resíduos sólidos na Bacia do Rio São Francisco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a localização de vazadouros a céu aberto em 14 municípios baianos ao longo do Rio São Francisco, utilizando técnicas de sensoriamento remoto;
- Utilizar imagens de alta resolução (10 metros) do satélite Sentinel-2 para gerar dados de análise por meio do GEE;
- Analisar o manejo de resíduos sólidos dos municípios frente as normas de disposição adequada de resíduos.

- Mapear pontos de lançamento irregulares de resíduos utilizando código Java no Google Earth Engine, enfatizando os elementos essenciais para a interpretação visual de imagens de satélite;
- Avaliar o potencial do sensoriamento remoto ambiental na gestão de resíduos sólidos, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de gestão mais eficazes e sustentáveis;
- Fornecer subsídios para a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas baseadas em evidências, visando a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população local.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 OBTENÇÃO DO CONHECIMENTO ALÉM DA PERCEPÇÃO HUMANA

A observação da Terra a partir de uma perspectiva orbital é fundamental para compreendermos a complexa interação entre o ser humano e o meio ambiente. Quando observamos nosso planeta do alto, ganhamos uma visão privilegiada que nos permite enxergar padrões, objetos e impactos ambientais que muitas vezes passam despercebidos quando observados apenas da superfície. Nesse contexto, o uso de imagens de satélite se torna uma ferramenta poderosa. Essas imagens permitem que analistas ambientais, responsáveis pela fiscalização e licenciamento de atividades no Estado, e pesquisadores identifiquem e analisem com precisão diversos fenômenos que ocorrem em nosso planeta. Essa abordagem oferece uma visão mais abrangente e detalhada do ambiente, permitindo uma análise mais precisa e completa dos fenômenos ambientais.

Seguindo essa visão, o olho humano possui receptores sensíveis à luz azul, verde e vermelha, o que significa que somente consegue captar uma porção limitada da energia eletromagnética presente no ambiente e que interage com os elementos solo, água, vegetação, atmosfera, rocha e urbanização (Novo, 2010). Partir dessa limitação do sensor que é o olho humano, fica nítida a capacidade limitada de percepção visual humana que não permite captar toda a gama de informações disponíveis no ambiente (Santos, 2014).

Sensores avançados foram desenvolvidos para medir diversos tipos de radiação, incluindo raios-x, ultravioleta, infravermelho (próximo, médio e térmico), micro-ondas e ondas de rádio. Estes sensores, devidamente calibrados, fornecem novas

informações sobre objetos que seriam imperceptíveis à percepção humana. Devido aos avanços na ciência do sensoriamento remoto, a análise de imagens orbitais se torna uma realidade, apresentando desafios únicos em perspectivas verticais e oblíquas, devido à limitação na percepção da superfície por parte dos analistas e pesquisadores. É crucial exercer cautela na interpretação dessas imagens e o aprofundar o conhecimento dos sistemas sensores (Meneses; Baptista, 2019).

Além disso, o campo de observação no solo é geralmente limitado a menos de um quilômetro quadrado, enquanto que a análise de dados de sensoriamento remoto pode abranger várias milhas quadradas. Portanto, é importante ter treinamento e dados de campo para analisar essas imagens de forma precisa e eficaz (Haack et al., 1997).

Neste caso, pode ser difícil identificar um tipo específico de equipamento de disposição final de resíduo (aterro sanitário) em uma imagem de satélite de resolução de 10 metros. Analisando objetos próximos e relacionados ao objeto de interesse, podemos obter informações valiosas que ajudam a identificá-lo. Isso inclui observar as características e atributos do edifício, padrão de transporte, inclinação da área, drenagem, entradas e saídas, materiais fora do edifício, transporte do tipo compactador e os segmentos que define e expressar da atividade humana na natureza (Jensen, 2009). Em resumo, usa-se essas informações para interpretar a imagem e chegar à identificação do objeto.

3.2 ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

A interpretação de imagens de sensoriamento remoto requer identificação de elementos na imagem para a extração de informações úteis. Os objetos observados em uma imagem podem ser um ponto, uma linha ou uma área, ou seja, podem ter qualquer forma, a exemplos de um ônibus em estacionamento, uma ponte, uma estrada, grandes extensões de água, uma floresta, área agrícola e até locais de descarte de resíduos, incluindo os VCA. Os alvos devem ser distintos e contrastar com as demais características ao redor na imagem, a exemplo de textura cinza de queimadas ou impacto de antropização que pode ser visto em lixões.

A inclusão de pesquisadores multidisciplinares em processos de interpretação de imagens de sensoriamento remoto é altamente incentivada pela carga de multidisciplinaridade de conhecimento. Essa abordagem da Ciência do Sensoriamento

Remoto promove resultados inovadores e surpreendentes, pois cada cientista aporta seus conhecimentos e perspectivas únicas ao problema em questão conforme Donnay *et al.*(2001).

A interpretação e identificação de alvos em imagens de sensoriamento remoto podem ser realizadas tanto visualmente, por meio da análise de uma pessoa que possui conhecimento prévio da área de estudo e das características dos alvos (supervisionada), quanto de forma automática, sem necessidade de intervenção humana (não supervisionada). Nesse último caso, são utilizados algoritmos específicos para classificar os níveis digitais da imagem de satélite, considerando critérios espaciais e estatísticos. Esse processo é conhecido como classificação automática ou digital de imagens de satélite. Portanto, a análise e interpretação de imagens de satélite requer identificação dos objetos visíveis em sensores de alta resolução espacial. Isso inclui comparar objetos diferentes a partir de suas características visuais, como cor/tonalidade, forma, tamanho, padrão, textura, sombra e relação com outros objetos (Novo, 2010).

A aplicação de sistemas de informação geográfica (SIG) requer a escolha das representações computacionais mais adequadas para a interpretação de imagens de satélite. Além disso, é necessário desenvolver um amplo conjunto de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a diversidade de concepções do espaço (Câmara, 2005).

Os elementos de interpretação de imagem são a base da fotointerpretação visual. Eles incluem uma ordem: os elementos primários são as características individuais de uma imagem, como um *pixel* ou cristal; os elementos secundários e terciários incluem arranjos de cor e tom. Os elementos superiores exigem métodos de pesquisa adicionais para produzir interpretações precisas da imagem, localização, tonalidade/cor, tamanho, forma, textura, padrão, sombra, altura/profundidade, volume, declividade, aspecto, sítio, situação e associação (Jensen, 2009).

A interpretação visual de imagens de satélites é baseada na experiência do pesquisador e não pode ser completamente substituída pela classificação automática frequentemente usada como complemento e suporte para o analista humano. No entanto, a decisão final sobre a utilidade e a interpretação da informação padronizada ainda deve ser tomada por pessoas com experiência em sensoriamento remoto na área de estudo específica.

A visita de campo permite que o pesquisador tenha uma compreensão mais profunda do ambiente em questão e possa coletar dados precisos que não seriam possíveis apenas com a análise de imagens de satélite ou dados secundários. Neste caso, trata -se da validação dos dados observados. O campo permite ao pesquisador interagir com as comunidades afetadas, entender suas preocupações e necessidades, e avaliar o impacto das políticas públicas existentes. Essa abordagem integrada, que combina dados de sensoriamento remoto e visitas de campo, é fundamental para uma compreensão completa dos impactos ambientais dos lixões e pode fornecer subsídios importantes para a tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental (Jensen, 2009).

3.2.1 Sistema Sensor Utilizado

O sensoriamento remoto ambiental da superfície da Terra utiliza plataforma de satélite com sensores operando em bandas espectrais estrategicamente posicionados na órbita terrestre. Os sensores produzem imagens com várias resoluções espaciais, temporais e espectrais que podem ser usadas para diversas finalidades. Observar a Terra por meio de sensores ópticos em satélites permite a identificação de tipos de cobertura do solo, como florestas, cultivos agrícolas, corpos d'água, cobertura de gelo, e adensamento urbano (Jensen, 2009) e Meneses et al. (2019) abordam a reflectância dos materiais terrestres, como um aspecto crucial para a interpretação de imagens de satélite.

A escolha de um sensor adequado é um passo importante na criação de possíveis indicadores de monitoramento, sendo a resolução espacial e espectral importantíssimos parâmetros a serem levados em consideração, uma vez que em uma imagem digital de maior banda há um intervalo maior de possíveis valores assumidos por um pixel, e, em uma imagem de maior resolução espacial, maior a composição da matriz (Rosa, 2013).

O uso de imagens de satélite Sentinel-2 na pesquisa experimental permite a obtenção de dados temporais contemporâneos e de alta resolução espacial, podendo alcançar até 10 metros do solo. O sistema Sentinel-2 é composto por dois satélites, o Sentinel-2A e o Sentinel-2B, desenvolvidos pela Agência Espacial Europeia (*European Space Agency*—ESA) como parte do programa *Copernicus*. O principal objetivo deste sistema é fornecer imagens de alta resolução da superfície terrestre para uma

ampla gama de aplicações, incluindo monitoramento de florestas, agricultura, recursos hídricos, áreas urbanas e costas (Copernicus, 2023).

O satélite da ESA possui um sistema de imagem multiespectral de alta resolução espacial de 10 metros para as bandas visíveis e de infravermelho próximo; e 20 metros para as bandas de infravermelho de onda curta. O Sentinel-2 é considerado uma fonte importante de dados para o monitoramento ambiental global e uma contribuição significativa para a ação climática (Copernicus, 2023).

As imagens fornecidas pelo sistema Sentinel-2 são precisas e incluem metadados geoespaciais que permitem a conversão em outros formatos, como GeoTIFF. Cada imagem é acompanhada de um arquivo *Usable Data Mask* (UDM2), que fornece informações sobre a qualidade de cada pixel. A precisão depende dos pontos de controle terrestre (GCPs) disponíveis na região alvo do estudo (Copernicus, 2023). Desta forma, via imagem digital de maior banda e qualidade, há mais chance para determinar o intervalo de possíveis.

Assim, as cenas, obtidas a partir do Sentinel-2, são especialmente projetadas para aplicações que requerem geolocalização e projeção precisas, o que as tornam ideais para a realização do estudo em questão. Essas cenas são retificadas, o que significa que não possuem distorções, e podem ser aplicadas em softwares de SIG, como o QGIS (Copernicus, 2023) e estão disponíveis no *dataset* do GEE de forma fácil e intuitiva.

4 JUSTIFICATIVA

A destinação adequada de resíduos sólidos é um tema de extrema relevância nas ciências ambientais e no planejamento da gestão ambiental em nível local e regional. No Brasil, a quantidade de resíduos sólidos gerados pela população atinge números alarmantes, chegando a cerca de 82 milhões de toneladas por ano (MMA, 2022). Este volume de resíduos representa não apenas uma questão ambiental, mas também uma grave crise sanitária, uma vez que grande parte desses resíduos acaba em vazadouros a céu aberto, existindo atualmente 3.257 “lixões” ativos no país (MMA, 2022).

O Google Earth Engine pode desempenhar um papel crucial na aplicabilidade e análise ambiental, especialmente na gestão do saneamento ambiental, com foco em resíduos sólidos. Mais ainda, ao desenvolvermos um indicador baseado na nuvem,

utilizando programação e imagens espaciais de alta resolução, buscamos destacar os impactos ambientais decorrentes da má gestão de resíduos sólidos nos 14 municípios da Bahia situados na Bacia do Rio São Francisco. Essa plataforma possibilitará uma visualização clara e acessível das consequências das práticas inadequadas de eliminação de resíduos urbanos e rurais.

A utilização de imagens espaciais de alta resolução pode aprimorar significativamente a análise dos impactos ambientais causados pelo descarte de resíduos sólidos em lixões. Essas imagens permitem uma avaliação detalhada e abrangente da extensão da poluição, da destruição de habitats e de outros efeitos negativos associados à má gestão de resíduos. Ao examinar essas imagens por meio do GEE, pesquisadores e decisores políticos poderão obter informações valiosas sobre a escala e a gravidade dos danos ambientais, permitindo desta forma tomar decisões informadas sobre estratégias e políticas de gestão de resíduos.

Diante disso, cada brasileiro contribui, em média, com a geração de 1 kg de resíduos sólidos urbanos por dia (ABRELPE, 2021), o que evidencia a urgência de soluções eficazes para o manejo adequado desses resíduos. Nesse contexto, aprimorar os métodos de fiscalização e prevenção de impactos relacionados à disposição final de resíduos é fundamental. Uma abordagem promissora para enfrentar esse problema é o uso de sensoriamento remoto por meio da aplicação do GEE, que permite o registro de vazadouros por meio de imagens de satélite, possibilitando tanto a identificação de áreas de disposição irregulares quanto a execução de políticas públicas de saneamento ambiental de forma mais eficiente e econômico.

Além disso, o treinamento de analistas ambientais, fiscais de órgão ambientais, para a interpretação e análise dessas imagens é essencial, representando um avanço significativo no monitoramento e na detecção de impactos ambientais relacionados aos resíduos sólidos. Desta forma, o emprego do sensoriamento remoto no âmbito do saneamento ambiental apresenta-se não apenas como uma solução inovadora e eficaz, mas também como uma ferramenta fundamental para a melhoria das políticas públicas e a proteção do meio ambiente.

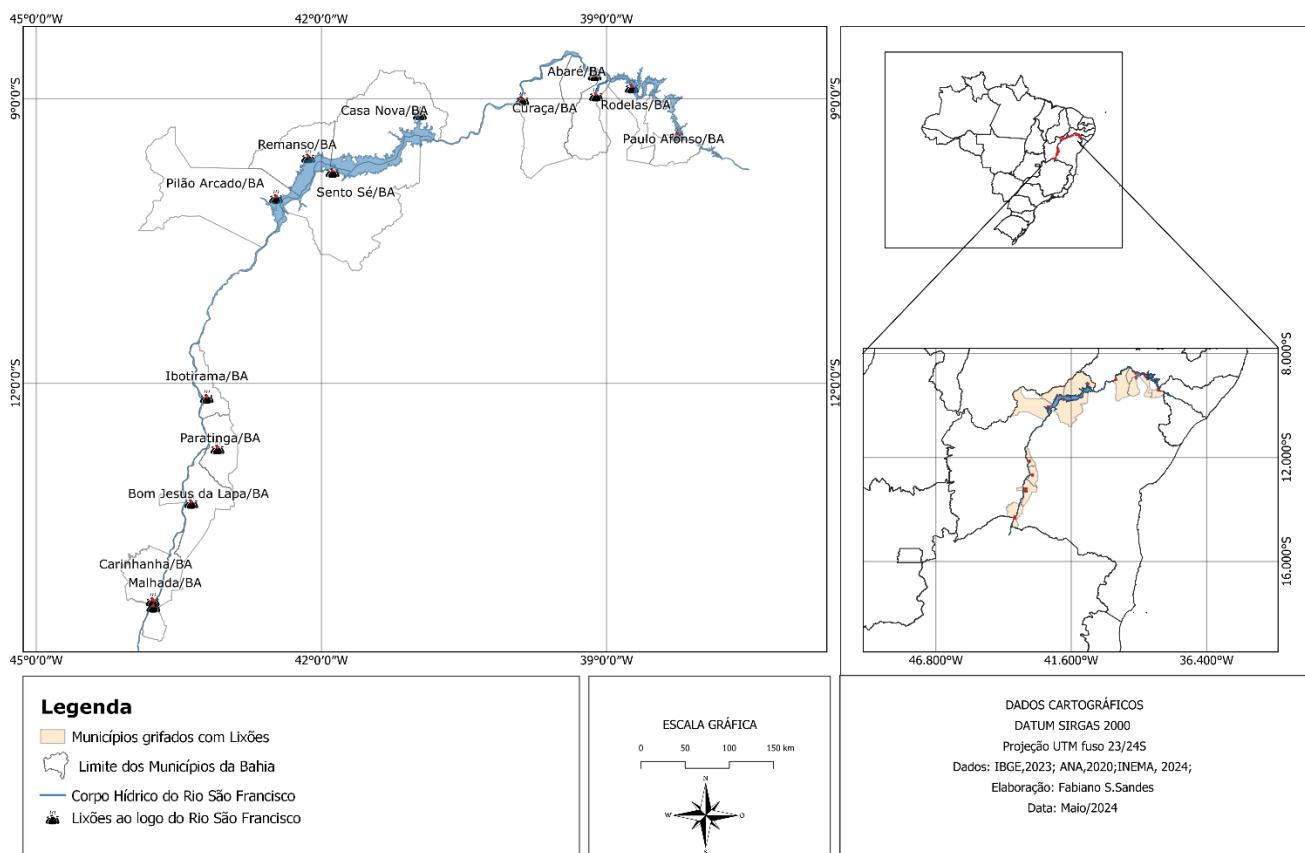
5 METODOLOGIA

5.1 MATERIAL E MÉTODOS

5.2 BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

A Bacia do Rio São Francisco abrange uma área de 638.323km², o que representa 8% do território nacional (Figura 1). Dentro dessa área total, 1.277km² são parte da Bacia estudada, o que equivale a 0,2% do total desta. O Estado da Bahia é o que possui a maior extensão dentro da Bacia do São Francisco, com 307.794km², o que representa 48,2% da área total (MMA, 2006).

Figura 1. Localização da Bacia do Rio São Francisco com relação aos municípios da Bahia com disposição final de resíduos sólidos em lixões a céu aberto que foram avaliados neste estudo.



A região oeste da Bahia desempenha um papel crucial no aporte hídrico do Médio São Francisco, sendo responsável por aproximadamente 75% dessa contribuição (ALMEIDA, 2018). Isso se deve ao fato de que a Bahia ocupa uma parcela significativa do território da Bacia do São Francisco, tornando-se um componente essencial desse importante sistema hidrográfico (MMA, 2006).

Em respeito à disponibilidade hídrica na foz do São Francisco, a Bahia é responsável por aproximadamente 20,4% da vazão total, que é estimada em cerca de 1.849 m³/s. Esses recursos hídricos desempenham um papel crucial na manutenção

do equilíbrio ecológico dos serviços ecossistêmicos e na sustentabilidade do rio São Francisco (MMA, 2006).

5.3 COLETA E ANÁLISE/TRATAMENTO DE DADOS

Dentro do âmbito desta pesquisa, foi realizada uma abordagem prioritária ao recorte dos municípios visitados e limites desses locais selecionados, situados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Essa delimitação geográfica da área de investigação foi feita com base na Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do estado da Bahia e na importância desse corpo hídrico.

O levantamento das informações, ocorreu por meio de consultas a banco de dados com acesso público da pesquisa realizada pela CONDER/SEDUR e financiada pelo Governo do estado da Bahia. Dentro desse conjunto, utilizando os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 5(cinco) municípios, integrantes da Unidade de Gestão Regional (UGR) - Bom Jesus da Lapa e 9 (nove) municípios afiliados à UGR Paulo Afonso, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1. Municípios Impactados pela Problemática do Descarte Inadequado.

UGR	Municípios Sede	Município Integrado	Censo IBGE ATUAL
	Arranjos		
Bom Je-sus da Lapa	B. Jesus da Lapa	1. B. Jesus da Lapa	85.4331
	Ibotirama	2. Ibotirama	65.293
	Malhada	3. Malhada	55.899
		4. Carinhanha	49.853
	Paratinga	5. Paratinga	44.481
UGR	Municípios Sede	Município Integrado	CENSO IBGE ATUAL
	Arranjos		
Paulo Afonso	Casa Nova	1. Casa Nova	62.028
	Chorrochó	2. Abaré	25.814
		3. Chorrochó	15.526
		4. Rodelas	34.496
	Curaçá	5. Curaçá	47.824
	Paulo Afonso	6. Paulo Afonso	208.877
	Pilão Arcado	7. Pilão Arcado	55.622
	Remanso	8. Remanso	70.643
	Sento Sé	9. Sento Sé	52.446

Fonte: Dados da pesquisa IBGE e adaptação do autor, (2023).

A identificação de vazadouros a céu aberto por meio da interpretação visual de imagens de satélite *Sentinel-2* abrangeu 14 municípios na Bahia. Como parte do processo de validação, foram realizadas visitas de campo a esses locais campo entre

os anos 2013 a 2016, proporcionando uma verificação *in loco* dos resultados obtidos pelo sensoriamento remoto na data atual deste estudo acadêmico.

Essa abordagem combinada assegurou um mapeamento altamente preciso dos vazadouros, fornecendo uma compreensão abrangente do problema. Partindo desse recorte, os dados coletados diretamente durante as visitas de campo ofereceram evidências concretas da situação precária da gestão de resíduos sólidos nesses municípios.

Seguindo essa abordagem, foi viável o desenvolvimento de um modelo de script em JavaScript para a plataforma Google Earth Engine, visando mapear os vazadouros a céu aberto. O código proposto realiza uma filtragem das imagens Sentinel-2 com base em critérios específicos, como data e cobertura de nuvens, selecionando a imagem com a menor interferência de nuvens. Posteriormente, essas imagens são integradas ao mapa como uma camada RGB, na banda do visível: 0,4 – 0,76 μm .

O código foi aplicado em três áreas espaciais distintas, cada uma representando um conjunto de municípios. Para cada área, o código consulta a coleção de imagens Sentinel-2, efetua a filtragem conforme os critérios estabelecidos e seleciona a imagem com a menor cobertura de nuvens. As imagens selecionadas são então sobrepostas no mapa, revelando as áreas dos vazadouros a céu aberto.

Adicionalmente, o código realiza marcações no mapa para destacar os municípios ou pontos de interesse específicos. O nome de cada marcador é atribuído com base no nome do município ou ponto correspondente.

No mais, o tratamento se dedicou a destacar os aspectos fundamentais da interpretação visual de imagens de satélite, imagens de alta resolução espacial, visando a abordagem dos possíveis indicadores de impactos ambientais. Esse conhecimento foi aplicado para reconhecer a área de aplicabilidade do sensoriamento remoto ambiental na gestão dos resíduos sólidos.

Para a aplicação dos sistemas de informação geográfica (SIG), se utilizou representações computacionais que melhor capturam a semântica do domínio de aplicação, ou seja, a interpretação das imagens de satélite por meio do *Google Earth Engine* – GEE por banco de dados em nuvem e *QGIS*.

Além disso, foi desenvolvido um conjunto amplo de estruturas de dados não só do tipo vetorial e *raster*, mas também com algoritmos capazes de selecionar imagens de um determinado sensor. A gestão de dados espaciais foi realizada com maior

detalhamento do ponto de vista da representação computacional como será visto a seguir.

Para identificar a presença de Vazadouros a Céu Aberto (VCA) ou lixões, foi feita uma análise detalhada e sistemática dos dados de campo. Essa análise envolveu a descrição e um levantamento preciso das informações. Para isso, foram utilizados padrões reconhecidos, que associaram a literatura de interpretação de imagens à experiência acumulada deste estudo em relação aos lixões. Isso permitiu estabelecer um parâmetro confiável para a identificação dessas áreas. Os dados obtidos por pontos de localização foram obtidos por GPS de navegação com latitude e longitude, utilizando o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000). Esses dados foram posteriormente inseridos nas imagens por meio do software QGIS.

Para detectar as informações de interesse para este estudo, se utilizou um sistema sensor com alta resolução espacial, com imagens de 2021 a 2022 sem nuvens, para a detecção de informações relevantes. Para minimizar a imprecisão dos dados, informações *in loco* e dados de geoprocessamento foram obtidos em áreas amostrais dos municípios escolhidos pelo estudo da CONDER/LEVA, realizado nos anos de 2013 a 2016, sendo as informações do respectivo trabalho corroboradas através do uso do sensoriamento remoto.

A classificação refere-se à interpretação de imagens auxiliada por dados empíricos, podendo ser subdividida em supervisionada e não supervisionada, dependendo de como a classificação é conduzida. Na pesquisa em questão, foi usada exclusivamente a classificação supervisionada, na qual a tarefa consiste em detectar tipos específicos de cobertura do solo, no caso, resíduos sólidos, já conhecidos pelos dados de campo no espectro do visível.

Assim, a partir do método de detecção por interpretação visual de associação, as bandas da imagem (azul, verde e vermelho) do satélite permitiram interpretar a reflectância nas bandas do visível dos locais com vazadouros, sendo interpretados os parâmetros de atributos visuais dos resíduos sólidos nas cenas. Essas informações radiométricas foram estudadas, através da seleção de imagens de um determinado sensor segundo critérios de tempo, filtro de nuvem, escala e sensor de alta resolução, compondo assim uma identidade digital para atender ao rastreamento dos VCAs.

O processo, portanto, consistiu na aquisição dos dados vetoriais, coleta e tratamento dos dados raster para a delimitação e classificação por interpretação visual

dos VCAs. Esses procedimentos foram realizados por meio do software QGIS em ambiente SIG/GIS ou Sistema de Informação Geográfica. No caso, foram coletados vetores e realizada a visualização e análise de dados geográficos ou espaciais, utilizando a interpolação das posições dos vazadouros identificados em campo e as características dos principais indícios de impactos ambientais observados nas áreas avaliadas.

Para tanto, foram utilizadas as cenas do satélite Sentinel-2, que foram harmonizadas digitalmente por software com plataforma da Google. Essas imagens foram obtidas por meio do Google Earth Engine e processadas para remover distorções, tornando a coleta de dados e análise associativas mais eficientes. Tais procedimentos possibilitam uma maior precisão na interpretação das informações coletadas e na identificação dos locais com vazadouros, podendo assim facilitar o monitoramento de impactos ambientais e contribuir para a elaboração de ações de mitigação. O fluxograma do trabalho apresentado descreve as etapas envolvidas na coleta e análise de dados para o estudo sobre a gestão de resíduos sólidos na Bacia do Rio São Francisco.

O fluxograma é dividido em duas seções principais: Coleta de Dados e Análise de Dados.

A coleta de dados começa com a realização de visitas de campo (etapas 1-2), onde os dados são registrados detalhadamente e georreferenciados com o auxílio de um GPS. Essas visitas permitem a identificação de áreas com manejo inadequado de resíduos sólidos (etapas 2-4). Além disso, a coleta de dados inclui a revisão de literatura (etapas 1-6), fornecendo informações importantes sobre a gestão de resíduos sólidos e seus impactos ambientais.

A análise de dados inicia-se com a revisão de literatura (etapas 6-7), seguida pela análise de dados utilizando imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial (Sentinel-2) (etapas 7-8). Essas imagens são processadas pelo Google Earth Engine (GEE) (etapas 7-9), permitindo a coleta de dados por meio de scripts para identificar impactos ambientais (etapas 7-10). Os dados coletados são então analisados com base em critérios como recorte temporal, escala e imagens harmonizadas (etapas 10-11).

Além disso, a análise de dados envolve o download e análise de imagens Sentinel-2 (etapas 7-12), avaliação superficial de impactos e delimitação utilizando

dados de campo e interpretação de imagens de satélite (etapas 7-13), e implementação de reconhecimento de dados do GEE para detecção de crimes ambientais nos 14 municípios (etapas 7-14).

O fluxograma do trabalho apresentado no resumo abaixo descreve detalhadamente as etapas de coleta e análise de dados no estudo sobre a gestão de resíduos sólidos na Bacia do Rio São Francisco.

Resumo do Fluxo Metodológico do Estudo

1. Coleta de Dados

1.1 Visitas de Campo (1-2):

- ✓ Realização de visitas in loco nos 14 municípios baianos ao longo da bacia do Rio São Francisco.
- ✓ Coleta de informações sobre os lixões e suas características ambientais.

1.2 Registro de Dados Georreferenciados com GPS (2-4):

- ✓ Uso de GPS para registrar a localização dos lixões.
- ✓ Georreferenciamento das áreas de estudo para análise posterior.

1.3 Revisão de Literatura (1-6):

- ✓ Consulta a estudos anteriores e documentação relevante.
- ✓ Identificação de critérios e métodos para a análise de resíduos sólidos e sensoriamento remoto.

2. Análise de Dados

- ✓ Revisão de Literatura (6-7)
- ✓ Continuação da análise teórica para suportar a metodologia prática.
- ✓ Integração de conhecimentos sobre técnicas de sensoriamento remoto.
- ✓ Análise de Imagens de Sensoriamento Remoto (Sentinel-2) (7-8)
- ✓ Seleção e processamento de imagens de satélite Sentinel-2.
- ✓ Utilização de critérios como recorte temporal, escala e harmonização de imagens.

3. Processamento no Google Earth Engine (GEE)

- ✓ Processamento no GEE (7-9)
- ✓ Uso do Google Earth Engine para análise das imagens.
- ✓ Implementação de scripts para identificar e mapear os lixões.

4. Identificação de Impactos Ambientais

- ✓ Identificação de locais com possibilidade de impacto ambiental (7-10)
- ✓ Uso de dados georreferenciados e imagens de satélite para análise comparativa.

5. Avaliação Superficial dos Impactos e Delimitação com Dados de Campo e Interpretação de Imagens

- ✓ Avaliação Superficial dos Impactos (7-13)
- ✓ Comparação dos dados de campo com as imagens de satélite.
- ✓ Delimitação das áreas de impacto e avaliação das condições ambientais.

6. Reconhecimento de Dados do GEE para Detecção de Crimes Ambientais nos 14 Municípios

- ✓ Reconhecimento de Dados do GEE (7-14)
- ✓ Análise dos dados do GEE para identificar possíveis crimes ambientais.
- ✓ Uso de informações para suporte a ações de mitigação e políticas públicas.

7. Download e Análise de Imagens Sentinel-2

- ✓ Download e Análise de Imagens (7-12)
- ✓ Baixa e análise detalhada das imagens de satélite.
- ✓ Verificação da qualidade e relevância das imagens para o estudo.

A metodologia desenvolvida permitiu uma análise sistematizada e georreferenciada dos lixões na bacia do Rio São Francisco, utilizando ferramentas avançadas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Este estudo fornece uma base aplicável para a gestão de resíduos sólidos nos municípios estudados.

6 RESULTADO E DISCUSSÕES

6.1 AVALIAÇÃO DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Após as visitas de campo aos 14 lixões avaliados, foi constatada a ausência de ações de prevenção e gestão ambiental do manejo adequado do resíduo sólido. Os registros *in loco* durante as visitas demonstraram que existiram impactos ambientais no meio físico, biótico e socioeconômico gerados pelos Vazadouros a Céu Aberto de forma pontual nos municípios estudados. O volume de resíduo sólido descartado sem gestão nesses locais proporcionou uma noção da valoração do passivo ambiental e sua inferência dos serviços ecossistêmicos nas áreas adjacentes (Figura 02 e 03).

Figura 2. Vazadouro a Céu Aberto em alguns municípios da Bahia no ano de (2016).



Fonte: próprio autor, (2023).

Figura 3 - Vazadouro a Céu Aberto em alguns municípios da Bahia no ano de (2016)
Continuação.

Municípios da Bahia com disposição final a céu aberto



Município de Sento Sé



Município de Paratinga

Fonte: Próprio autor (2023).

O estado da Bahia enfrenta um grave problema ambiental com a disposição inadequada de resíduos sólidos. De acordo com dados da ABRELPE (2014), cerca de 69,1% do Resíduo Sólido Urbano (RSU) é descartado em lixões, incluindo vazadouros a céu aberto, aterros controlados e lixões. Essa prática geradora de impactos ambientais é um desafio crítico para a gestão ambiental da região. Segundo dados da ABRELPE, (2014), 33% dos resíduos sólidos gerados são destinados para lixões, 36,1% para aterros controlados e apenas 30,9% para aterros sanitários. A falta de planejamento de políticas públicas de saneamento nas esferas municipais contribui para o aumento dos impactos ambientais, além da falta de aplicação de autos de infração pelos órgãos públicos. Contextualizando esta realidade apresentada, em torno de 1 milhão e meio de geradores de resíduos descartam de forma irregular, contribuindo para a geração diária de cerca de 1.000 ton/dia de lixo despejado sem critérios técnicos ao longo do Rio São Francisco. Os dados de 2014 fornecidos pela ABRELPE para o contexto da Bahia são mais detalhados em relação ao tipo de equipamento utilizado para disposição final dos resíduos, o que não é abordado com o mesmo nível de detalhe nos estudos mais recentes.

Dados mais recentes, apontam que há um longo caminho a percorrer em relação à gestão adequada dos resíduos sólidos. Enquanto que a média nacional de municípios com lixões era de 48,4%, em 2021, na Bahia era de 70,8% (ABRELPE, 2022). Isso destaca a importância de políticas públicas que promovam a gestão adequada dos resíduos sólidos, visando a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população.

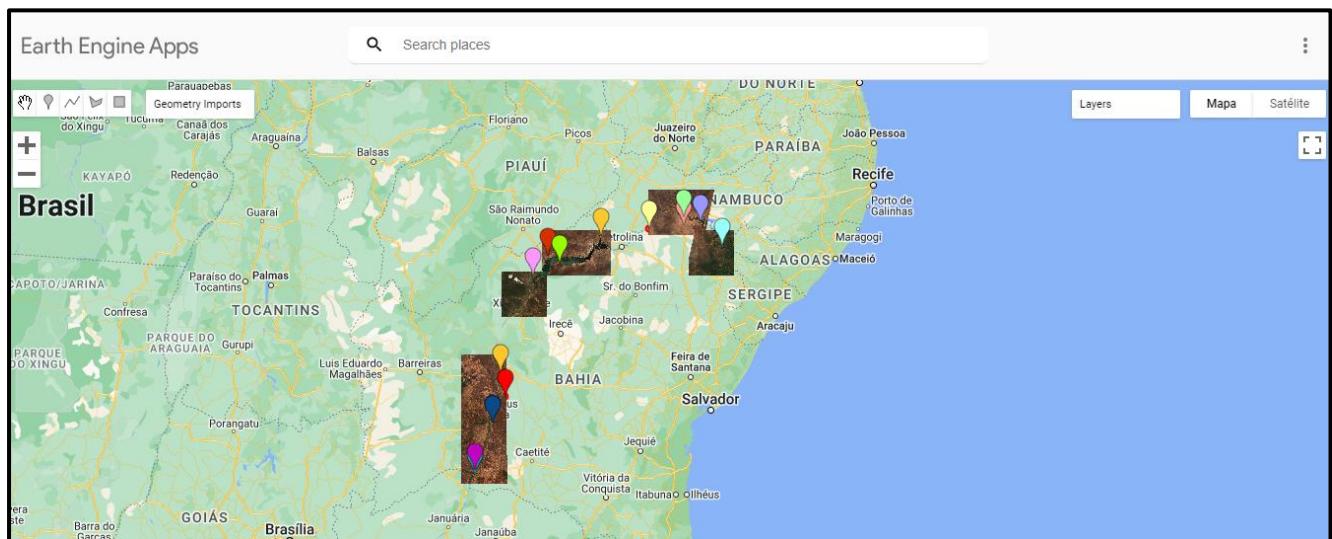
6.2 APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO

6.2.1 Criação de Geodados a partir das análises dos vazadores a céu aberto

Atualmente, há um crescente esforço para tornar os produtos de sensoriamento remoto mais acessível e user-friendly (linguagem simplificada ao usuário), sendo o principal resultado deste trabalho obtido com o uso do Google Earth Engine – GEE. Com a criação de cenas orbitais e dados geográficos padronizados em campo, se reduz a carga de trabalho para o usuário final e facilita o acesso às informações por meio de plataformas virtuais baseadas na web, dedicadas a produtos de sensoriamento remoto. A interpolação dos dados de GPS obtidos em campo com as imagens de satélite Sentinel-2 é apresentada logo abaixo (Figura 4). Com a criação de cenas

orbitais e dados geográficos padronizados em campo, o resultado é disponibilizar, em tempo real, níveis cada vez mais avançados de processamento de informações de saneamento básico, o que foi aplicado neste trabalho no componente resíduos sólidos, visando reduzir a carga de trabalho para o usuário final e facilitar o acesso às informações por meio de plataformas virtuais baseadas na web, dedicadas a produtos de sensoriamento remoto .

Figura 4. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel- 2 demonstrando locais de lixão ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.



Fonte: Próprio autor (2023).

Essa abordagem busca e traz resultados para eliminar barreiras e simplificar o uso de dados provenientes de sensoriamento remoto, tornando-os mais acessíveis para um público mais amplo. Por meio da padronização e homologação de cenas orbitais e dados geográficos, é possível agilizar o processamento e a disponibilização dessas informações, permitindo que os usuários finais obtenham dados atualizados e relevantes de maneira mais eficiente. Neste caso, o APP que é gerado em nuvem é um resultado para iniciar o processo de padronização das informações que corrobora para informar a permanência do impacto ambiental e o passivo. Essas informações podem ser acessadas e exploradas por meio de plataformas virtuais que oferecem uma interface amigável e intuitiva, facilitando a busca, análise e interpretação dos dados de sensoriamento remoto.

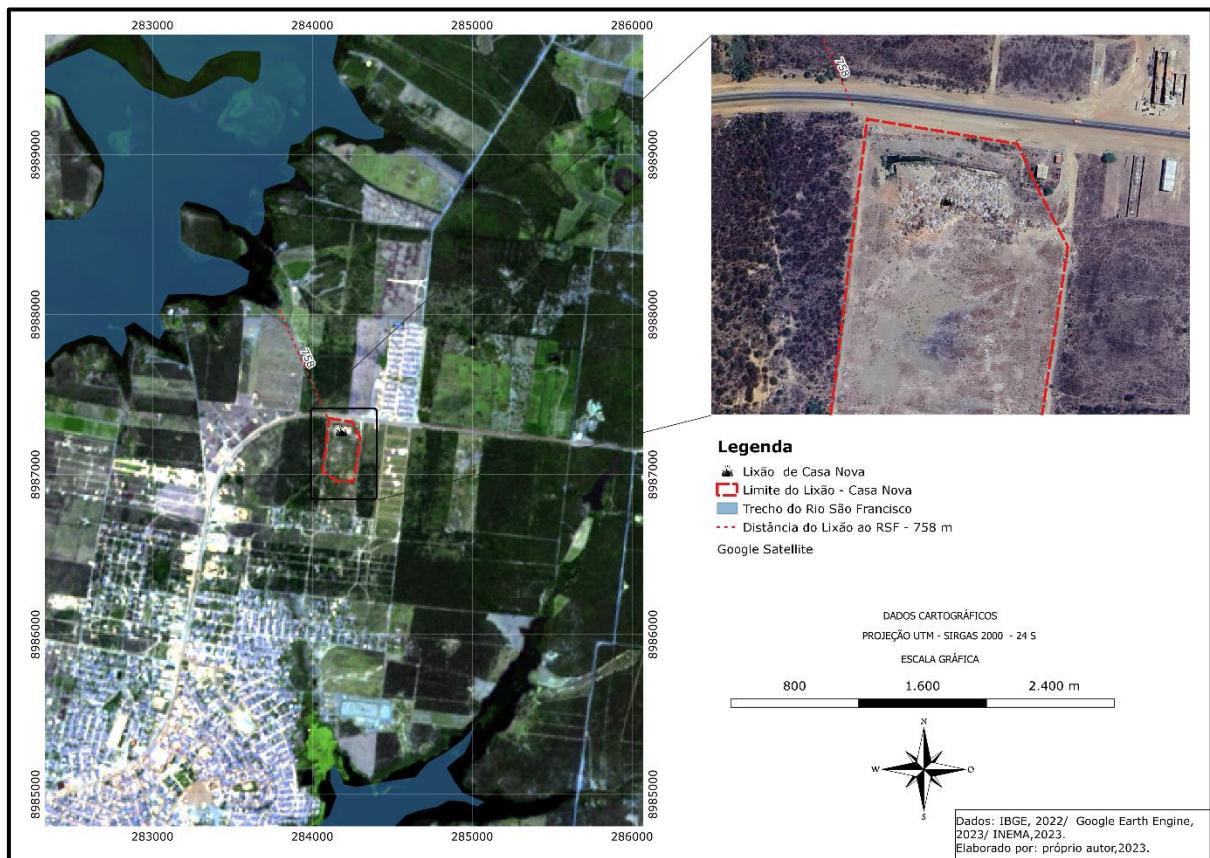
Durante a rotina de interpretação visual de imagens de satélite, utilizou-se elementos visuais que leva em consideração o uso amigável da plataforma, a supervisão de dados de campo e detalhes relacionados ao tema do manejo de resíduos sólidos(LILLESAND, 1994). Esses elementos permitiram inferir e verificar informações

relevantes presentes nas imagens e uma futura segmentação por meio de Inteligência Artificial – IA, com redes de análise profunda de dados segmentado, para treinar e performar no trabalho em nuvem. A seguir, é apresentada uma descrição desses elementos que são observados e utilizados durante a análise das imagens de satélite como atributos da imagem. Uma breve definição do atributo permaneceu neste item visando fornecer subsídio para toma de decisão que pode avaliar a manipulação de dados de sensoriamento remoto. Tais informações podem ajudar na segmentação dos modelos de treinamento das IA:

Cor/Tom: Refere-se ao brilho e cor dos objetos em uma imagem que está relacionado a sua propriedade espectral. No caso dos lixões, pode-se destacar o resultado como referência para o banco de dados os seguintes padrões: a) Tom: brilhante, escuro, cinza; b) Cor: matriz (cor) e a saturação à escala de tons de cinza (intensidade) Figura 6.

Forma: Refere-se à forma geral, estrutura ou desenho de objetos específicos. Nos vazadouros, as formas são irregulares sem contornos definidos. a) Forma: alongado e amorfo (sem uma forma clara).

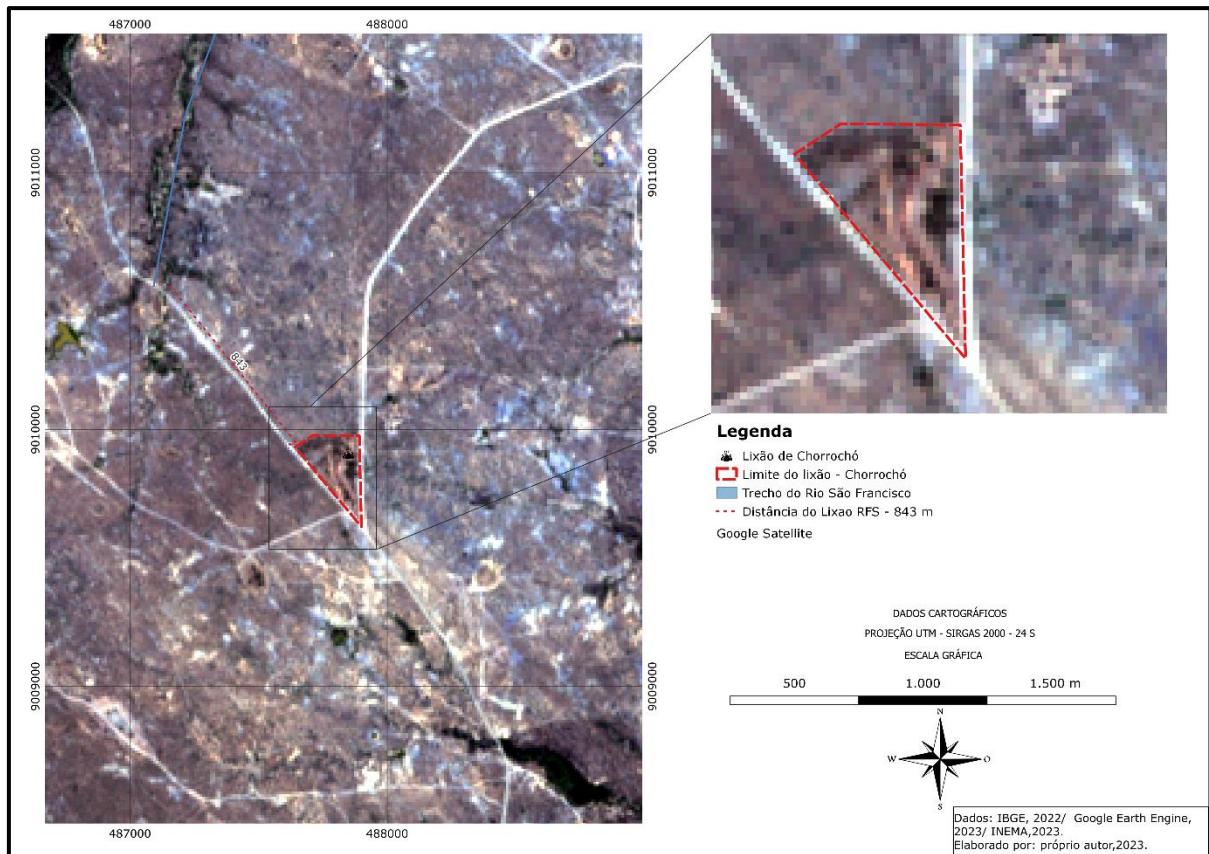
Figura 5. Imagem RGB Sentinel do Município de Casa Nova/BA. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel-2.



Fonte: Próprio autor (2023).

Características físicas: Nos lixões, pode-se destacar como referência para o banco de dados o padrão de afastamento das áreas urbanas e as características físicas de valas e queimadas, dependendo da escala (Figura 6).

Figura 6. Composição cor verdadeira, sensor Multiespectral de alta chamado MultiSpectral Instrument (MSI) imagem do satélite Sentinel-2.

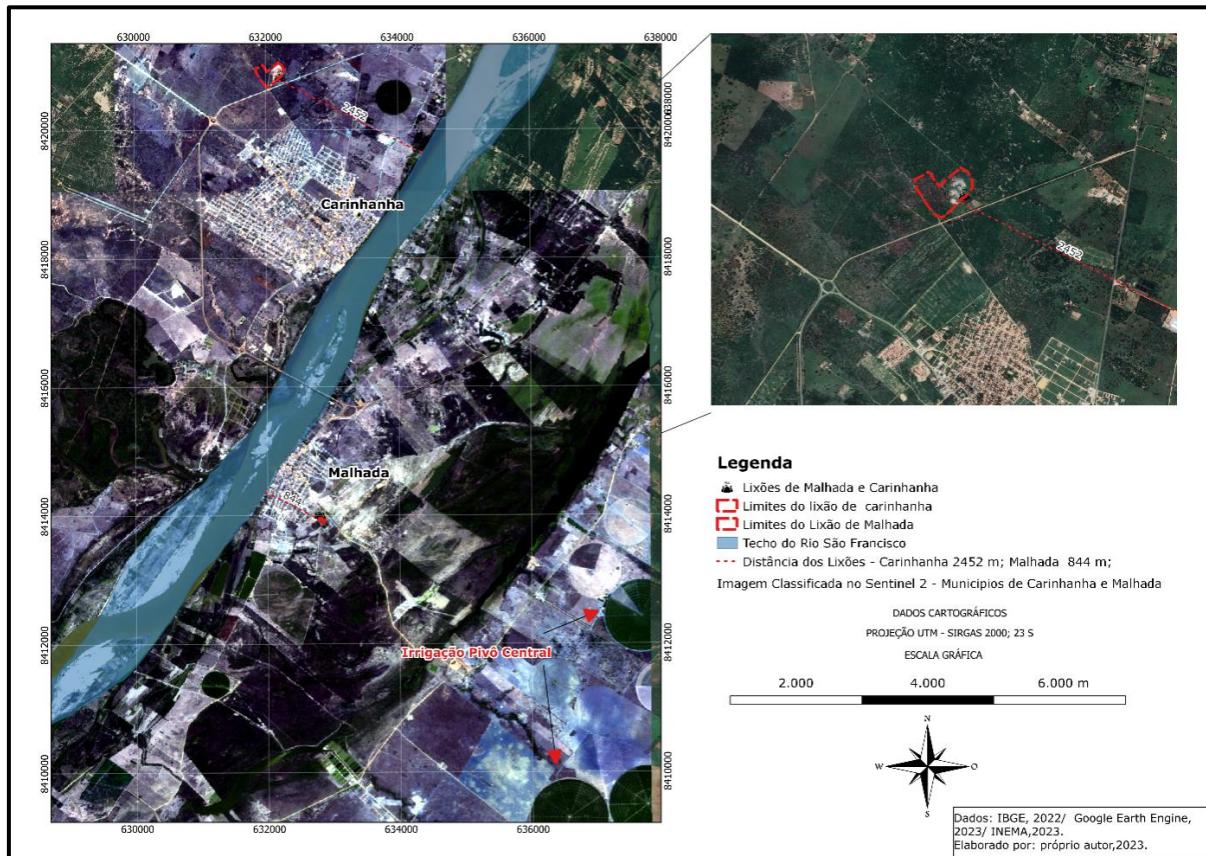


Fonte: Próprio autor (2023).

Padrão: É o arranjo espacial de objetos na cena. Repetição ordenada de tons e texturas semelhantes forma padrões distintos e reconhecíveis. No caso dos lixões, pode-se destacar o resultado do trabalho como uma base de referência para o banco de dados relacionados a classificação dos atributos definido na manipulação das informações coletadas pelo sensor.

Associação, (Figura 7) Identificar feições associadas a outras pode ajudar na identificação do alvo. No caso dos lixões, podemos destacar como referência para o banco de dados a associação aos aglomerados urbanos geradores de serviço e consumo que são geradores de resíduos sólidos.

Figura 7. Composição cor verdadeira, imagem Sentinel-2.



Fonte: Próprio autor (2023).

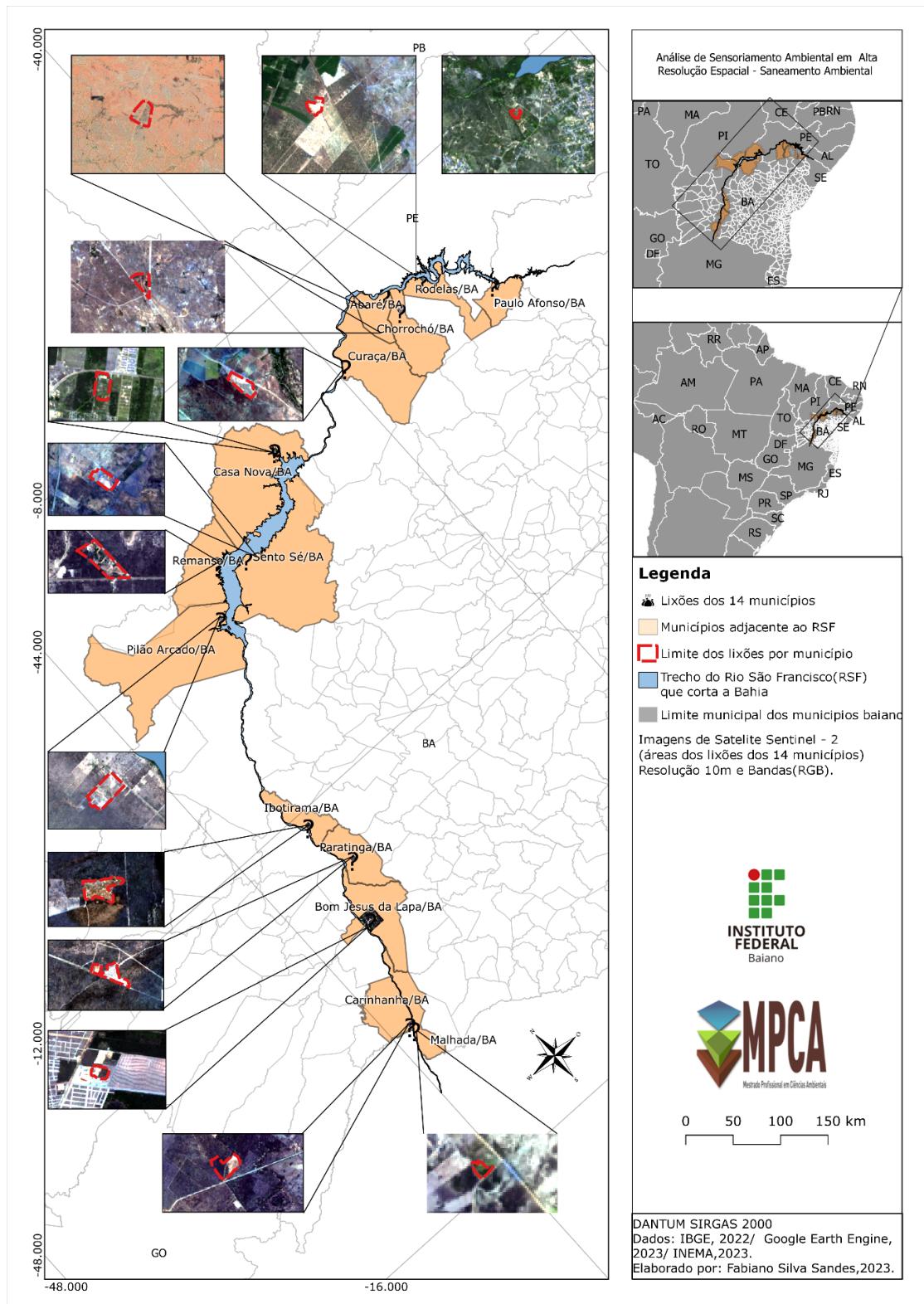
Textura se refere à variação tonal em uma imagem. A textura rugosa é crucial para distinguir feições em imagens de radar dos lixões.

Com base na interpretação visual das características das imagens de satélite dos lixões e dos dados de GPS obtidos em campo, foi realizado o mapeamento dos lixões nos 14 municípios avaliados.

A capacidade de coletar imagens da mesma região geográfica durante um longo tempo é um dos principais benefícios do sensoriamento remoto orbital. Ao longo dos anos, os cientistas desenvolveram várias abordagens para interpretar dados de sensores remotos, incluindo: 1) o uso de informações colaterais, 2) a aplicação da convergência de evidências e 3) aplicação do conceito de multifontes na análise de imagens. Partindo dessa premissa, foi feito o mapeamento na área de estudo.

Ao utilizar dados de visitas *in loco* nos 14 municípios abordados nesta pesquisa, foi aplicada a técnica de sensoriamento remoto ambiental supervisionada, ratificando o aumento da eficácia do mapeamento dos lixões, proporcionando um resultado mais completo e confiável (Figura 09).

Figura 8. Mapa representado por imagens satélite Sentinel 2 - harmonizada com mosaico dos 14 municípios ao logo do Rio São Francisco



Fonte: Próprio autor (2023).

Concluindo, a implementação dessas informações sobre os 14 lixões ao longo do Rio São Francisco no Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas

(BDNAC) é uma medida relevante e necessária. A partir da Resolução CONAMA n.º 420/2009 e com o apoio dos órgãos e entidades estaduais de meio ambiente, essa iniciativa permitiria a divulgação de informações detalhadas sobre esses lixões e suas principais características.

Com isso, seria possível obter uma visão abrangente e acessível sobre a situação dessas áreas contaminadas, contribuindo para uma melhor compreensão do problema e fornecendo subsídios para a adoção de medidas efetivas de gestão e remediação. Essa abordagem fortaleceria a proteção do Rio São Francisco e promoveria a busca por soluções mais sustentáveis para o enfrentamento dos desafios relacionados aos lixões ao longo de sua extensão.

6.2.2 Script em javascript para classificação e seleção de imagens por meio do Google Earth Engine

Através da interpretação visual das imagens, foi possível identificar os lixões a céu aberto nos 14 municípios avaliados. Essa análise visual forneceu uma visão clara da extensão do problema em questão.

O código apresentado do modelo automatizado é um script em lógica da programação no formato Javascript para a plataforma *Earth Engine*, do *Google Earth Engine* (um ambiente de computação em nuvem para análise e processamento de imagens geoespaciais) (MATHER, 2004). O código utiliza a biblioteca *Earth Engine* - EE para acessar e filtrar imagens da coleção Sentinel-2.

O script é dividido em três partes, cada uma contendo um recorte espacial diferente (Figura 10). Para cada recorte, o código filtra imagens da coleção Sentinel-2 para um determinado período, removendo imagens com alta porcentagem de nuvens. Em seguida, o código seleciona a primeira imagem da coleção filtrada e adiciona ao mapa como uma camada RGB (Vermelha, Verde e Azul).

Figura 9. Captura de imagens no GEE usando código Java no Sublime Text 3: uma solução eficiente para análise de dados geoespaciais.

```
1 // Trecho de código para coletar imagens Sentinel-2 em quatro municípios do estado da Bahia
2 var point1 = ee.Geometry.Point([-40.96399, -9.156352]);
3 var nomeMunicipio = 'Município de Casa Nova';
4
5 var collection = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
6     .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8', 'B11', 'B12'])
7     .filterBounds(point1)
8     .filterDate('2021-01-01', '2022-12-29')
9     .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 0.5))
10    .sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE');
11
12 print('Quantidade de imagens na coleção:', collection.size());
13
14 var melhor_imagem = collection.first();
15
16 print('ID da imagem selecionada:', melhor_imagem.get('system:index'));
17 print('Porcentagem de pixels de nuvem:', melhor_imagem.get('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE'));
18
19 var vizParams = {
20   bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
21   min: 0,
22   max: 3000,
23 };
24
25 Map.addLayer(melhor_imagem, vizParams, 'RGB');
26
27 Map.centerObject(point1, 12);
28
29 // Exportar imagem para o Google Drive
30 Export.image.toDrive({
31   image: melhor_imagem,
32   description: 'S2_CASA_NOVA_2021',
33   folder: 'CASA NOVA',
34   region: point1.buffer(2500).bounds(),
35   scale: 10
36 });
37
```

Fonte: Próprio Autor (2023).

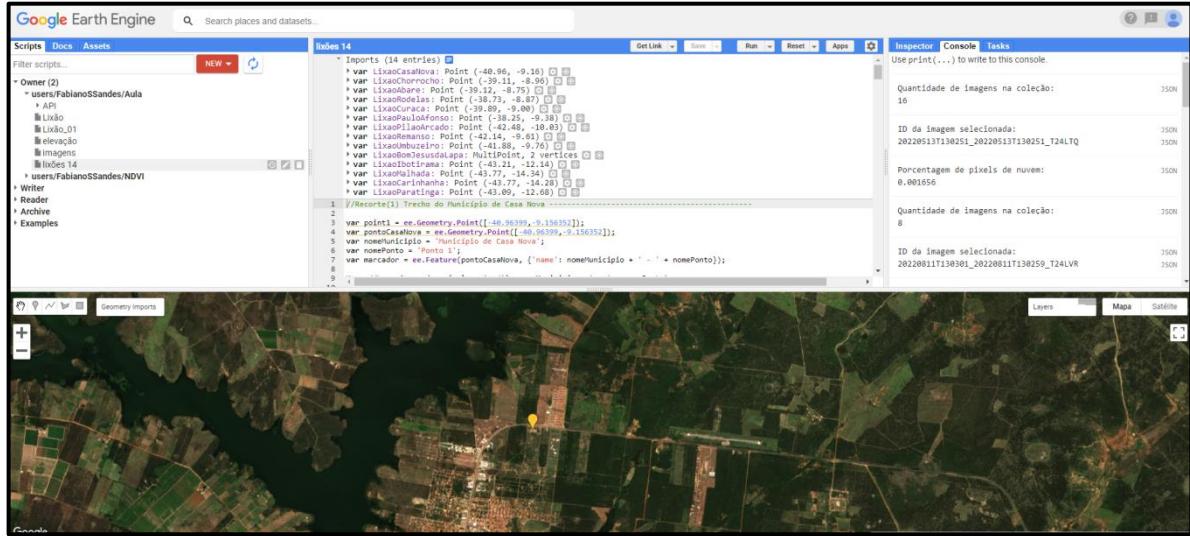
O código, conforme apresentado na Figura acima, está usando a API do Google Earth Engine (GEE) para buscar imagens do satélite Sentinel-2 e realizar o processamento de imagens. Na primeira parte do código, é definida uma região de interesse (ROI) representada por um ponto (point1), que, no exemplo em questão, está localizado no município de Casa Nova, no Estado da Bahia.

Em seguida, é feita uma consulta à coleção das imagens do Sentinel-2 (ImageCollection) filtrando apenas as imagens que intersectam a região de interesse (filterBounds), que foram capturadas entre 01/01/2021 e 29/12/2022 (filterDate) que possuem menos de 50% de pixels nublados (filter). A coleção resultante é ordenada em ordem crescente de porcentagem de pixels nublados (sort).

Após a filtragem, a quantidade de imagens da coleção foi impressa em tela (Figura 11). A primeira imagem selecionada da coleção foi a de menos pixels nublados, (melhor_imagem). Em seguida, é impresso o ID da imagem selecionada e a

porcentagem de pixels de nuvem presentes na imagem. Por fim, a imagem selecionada é adicionada ao mapa usando as bandas RGB.

Figura 10. Processamento de imagens RGB no GEE: Análise de mudanças no uso da terra usando código Javascript.



Fonte: Próprio Autor (2023).

Na segunda parte do código, são definidos três pontos que representam os municípios de Chorochó, Abaré e Curaçá. Para cada um desses pontos, é criado um marcador vermelho no mapa.

Em seguida, é feita uma consulta à coleção de imagens do Sentinel-2 filtrando apenas as imagens que intersectam a região de interesse definida pelo ponto point1, que é o ponto correspondente ao município de Chorochó. Novamente, são selecionadas as imagens capturadas entre 01/01/2021 e 29/12/2022 com menos de 50% de pixels nublados e ordenadas em ordem crescente de percentagem de pixels nublados.

A quantidade de imagens na coleção é impressa na tela, e é selecionada a primeira imagem da coleção (melhor imagem). Em seguida, é impresso o ID da imagem selecionada e a percentagem de pixels de nuvem presentes na imagem. Por fim, a imagem selecionada é adicionada ao mapa usando as bandas RGB. O mesmo procedimento é repetido para o município de Rodelas, o qual é o único ponto definido na terceira parte do código.

O código também adiciona marcadores vermelhos no mapa para indicar as localidades dos recortes espaciais. O nome de cada marcador é definido com base nas informações de nome do município ou ponto específico.

No geral, o código é útil para visualização e análise de imagens Sentinel-2 em diferentes áreas de interesse. Ele pode ser facilmente modificado para outros recortes espaciais ou intervalos de tempo. Houve a criação de aplicativo web que pode ser acessado pelo link seguir: <https://ee-fabianossandes.projects.earthengine.app/view/integracaoedadadoslixaoalogodorioosaofrancisco>

6.3 VISUALIZAÇÃO INTERATIVA E GEORREFERENCIADA DOS LIXÕES

O aplicativo *online* desenvolvido no estudo oferece uma plataforma interativa e de fácil utilização para a visualização georreferenciada dos lixões identificados nos 14 municípios da Bacia do Rio São Francisco. Utilizando camadas geométricas sobrepostas a imagens de satélite, o aplicativo permite que os usuários visualizem a localização exata dos lixões, bem como suas características físicas e a proximidade a áreas sensíveis, como corpos hídricos e zonas urbanas. Além da visualização, o aplicativo possibilita a consulta de informações adicionais sobre cada lixão, como data de identificação, tamanho estimado e tipo de resíduos predominantes. Essa ferramenta interativa oferece um valioso recurso para gestores públicos, pesquisadores e a sociedade civil, permitindo um melhor entendimento da problemática dos lixões e contribuindo para a busca por soluções efetivas de gestão de resíduos sólidos na região.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo revela o potencial do Google Earth Engine (GEE) e das imagens de satélite Sentinel-2 para monitorar e mapear lixões nos 14 municípios analisados da Bacia do Rio São Francisco. Foram identificados e mapeados lixões em todos os municípios, sendo a proximidade ao rio uma preocupação adicional devido aos potenciais impactos ambientais e de saúde pública.

O aplicativo *online* desenvolvido oferece uma ferramenta de fácil acesso para visualização e análise dos lixões, permitindo identificar áreas de risco e avaliar os impactos ambientais associados. A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e interpretação visual das imagens de satélite revelou-se eficiente para o monitoramento e identificação desses locais.

Os resultados obtidos pelo GEE demonstram a urgência de políticas públicas eficazes na gestão de resíduos sólidos. A presença de lixões compromete a qualidade do solo, água e ar, além de afetar negativamente a biodiversidade e a saúde pública.

A pesquisa destaca a importância da tecnologia na implementação de estratégias de gerenciamento de resíduos sólidos. O modelo automatizado e o script desenvolvido permitem identificar lixões e podem ser aplicados em outras regiões, ampliando o conhecimento sobre esses problemas em todo o país.

Para resolver essa questão, é essencial o engajamento da comunidade e o estabelecimento de políticas públicas que promovam a destinação adequada dos resíduos, a coleta seletiva, a reciclagem e a reutilização de materiais.

No caso dos 14 lixões ao longo do Rio São Francisco, seria relevante implementar as informações sobre esses lixões no Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC). A finalidade seria divulgar dados detalhados sobre esses lixões e suas principais características, de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009. Utilizando dados disponibilizados pelos órgãos e entidades estaduais de meio ambiente, essa iniciativa proporcionaria uma visão abrangente e acessível da situação dessas áreas contaminadas. Isso contribuiria significativamente para uma melhor compreensão dos problemas ambientais e subsidiaria a adoção de medidas efetivas de gestão e remediação, fortalecendo a proteção do Rio São Francisco e promovendo soluções mais sustentáveis para os desafios relacionados aos lixões ao longo de sua extensão.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/Panorama/panorama2018.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: https://abrelpe.org.br/Panorama/panorama_abrelpe_2019.pdf. Acesso em: 31 mar. 2023.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 26 maio. 2022.

ALMEIDA, C. A. P. **Prospecção da crise hídrica por meio da modelagem hidrológica no rio São Francisco**. 235 f. 2018. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/10689>. Acesso em: 26 maio 2022.

BAHIA. Lei Estadual nº 12.932, de 27 de novembro de 2014. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial do Estado da Bahia, Salvador, 28 nov. 2014.

BRASIL. **Decreto n.º 11.043, de 13 de abril de 2022. Dispõe sobre Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-393566799>. Acesso em: 26 maio 2022.

BRASIL. **Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010**, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: em 26 maio. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica do São Francisco**. Brasília: MMA, 2006. 148 p.

CÂMARA, G. Modelos, **Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1995.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. 4. ed. São José dos Campos: INPE, 2019.p.1-5.

CÂMARA, G. **Representação computacional de dados geográficos**. In: CASANOVA, Marco A et al. (Ed.). Banco de dados geográficos. Curitiba: MundoGEO,

cap. 1, p. 1–44, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/capitulos.html>. Acesso em: 26 dez. 2022.

COPERNICUS. **Sentinel-2**. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/accessible-data/sentinel-2>. Acesso em: 03 abr. 2023.

ESA. European Space Agency. **Sentinel-2**. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2. Acesso em: 03 abr. 2023.

CONAMA. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Seção 1, p. 81-84.

BAHIA. Governo da Bahia. **Capacidade dos Municípios**. Disponível em: <http://www.gac.meioambiente.ba.gov.br/index.php/capacidade-dos-municípios/>. Acesso em: 31 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/panorama>. Acesso em: 31 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101791.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por satélite (PRODES)**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 17 mar. 2024.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2011. 598 p.

JENSEN, J. Sensoriamento Remoto do Ambiente: **Uma perspective em recursos terrestres** (tradução José Carlos Neves Epiphanio et. al.). São José dos Campos, SP, Parêntese, 2009.40 p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley and Sons, Nova York. 1994.750 p.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Editora Hucitec, 1985. 244 p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**.3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 324 p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. (Org.). São Paulo: Editora Oficina de Textos, 1^a ed., 2019. 336 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

PMSC. Prefeitura Municipal de São Carlos. Estudo de Impacto Ambiental. **Relatório de Impacto Ambiental do Novo Aterro Sanitário**. 2009. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/meio-ambiente/155943-estudo-de-impacto-ambiental-relatorio-de-impacto-ambiental-do-novo-aterro-sanitario.html> Acesso em: 9 jun. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes)**. 2023. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 05 dez. 2023.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia, Apostila, 2013. 142 p.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013. 495 p.

SANTOS, D. R. **Fotogrametria I: Capítulo I**. Departamento de Geomática. UFPR, 2014. 41 p. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~danielsantos/FS-capI_A5.pdf. Acesso em: 9 jun. 2022.

Documento Digitalizado Público

Dissertação_mestrado_Fabiano_Sades

Assunto: Dissertação_mestrado_Fabiano_Sades

Assinado por: Maria Marchi

Tipo do Documento: ANEXO

Situação: Finalizado

Nível de Acesso: Público

Tipo do Conferência: Documento Original e Cópia

Documento assinado eletronicamente por:

▪ **Maria Nazare Guimaraes Marchi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/12/2024 14:15:38.

Este documento foi armazenado no SUAP em 17/12/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifbaiano.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 984615

Código de Autenticação: a13da715e7

