



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB IG / IB / IQ / FACE - ECO / CDS
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS COM EXPANSÃO DA
AGROPECUÁRIA NO EXTREMO OESTE BAIANO: UMA
ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DO PERÍODO DE 1984 A
2022.**

Vitória de Azevedo Albuquerque

BRASÍLIA - DF.

2023

Vitória de Azevedo Albuquerque

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS COM EXPANSÃO DA
AGROPECUÁRIA NO EXTREMO OESTE BAIANO: UMA
ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DO PERÍODO DE 1984 A
2022.**

Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em
Ciências Ambientais da
Universidade de Brasília,
como requisito para
obtenção de título de
bacharel em Ciências
Ambientais.

BRASÍLIA - DF.

2023

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS COM EXPANSÃO DA
AGROPECUÁRIA NO EXTREMO OESTE BAIANO: UMA
ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DO PERÍODO DE 1984 A
2022.**

Vitória de Azevedo Albuquerque

Professor Orientador: Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília - DF, 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador)
Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição (Avaliador)
Faculdade de Economia da Universidade de Brasília

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, principalmente minha mãe, meu pai e minha avó. Sou grata por tudo o que me proporcionaram ao longo dos anos.

Expresso minha sincera gratidão ao Professor Gustavo, cuja orientação proporcionou uma experiência de aprendizado única e enriquecedora. Agradeço pelas conversas inspiradoras de sexta-feira, que despertaram em mim um fascínio pelo mundo do sensoriamento remoto. Ele sim é a verdadeira definição de ícone acessível.

Também gostaria de agradecer ao Professor Pedro Zuchi, por fazer parte da banca avaliadora e por ministrar a disciplina de trabalho interdisciplinar integrado. Sua contribuição fez toda a diferença no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço também ao apoio dos meus amigos. Em especial à Laura, ao William e à Natasha. Todos são muito importantes e me ajudaram muito ao longo do trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu namorado, Ramon, que me apoiou em todos os momentos desta jornada. Sua presença constante e sua compreensão foram essenciais para me manter motivada ao longo desse processo.

RESUMO

O Oeste Baiano tem como sua principal atividade econômica a agropecuária, que o torna um dos principais polos agrícolas e agroindustriais do Brasil. Por ser uma região extensa, as tecnologias advindas do sensoriamento remoto podem ser extremamente úteis para a detecção de mudanças ocorridas na região. Ao analisar a composição espectral de uma cena observada, composta por vários alvos, este trabalho tem como objetivo de testar a metodologia do Modelo Linear de Mistura Espectral, por meio das imagens das séries temporais na região. Foram utilizadas imagens do Landsat 5 e 8, referentes ao período de 1984 a 2022. Inicialmente, realizou-se o método de pré-processamento, que consistiu na correção radiométrica e na fusão das bandas das imagens. Em seguida, o processamento foi realizado por meio do modelo linear de mistura espectral. Por fim, o método de classificação se deu pela subtração de imagens mais recentes em relação às mais antigas e pela coloração das classes identificadas. Através das etapas de pré-processamento, processamento e classificação realizadas em todas as imagens, foi possível observar as mudanças no uso do solo e o crescimento exponencial da agropecuária na região. Os resultados demonstraram um aumento de aproximadamente 165.000 hectares nas áreas com solo exposto, como pastagens e cultivos não irrigados entre 1984 e 2022, enquanto as áreas com irrigação mais intensa e vegetação representaram 24.576 hectares. A metodologia utilizada mostrou-se eficaz na classificação, identificação de mudanças e determinação da área de expansão entre duas datas. No entanto, apresentou limitações na comparação e obtenção das áreas de expansão ao longo das séries temporais.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, detecção de mudanças, agropecuária.

ABSTRACT

West Bahia's main economic activity is agriculture, which makes it one of the main agricultural and agro-industrial centers in Brazil. Because it is an extensive region, technologies arising from remote sensing can be extremely useful for detecting changes in the region. By analyzing the spectral composition of an observed scene, composed of several targets, this work aims to test the methodology of the Linear Model of Spectral Mixture, through the images of the time series in the region. The images from Landsat 5 and 8 were used, covering the period from 1984 to 2022. Initially, the pre-processing method was performed, which consisted of radiometric correction and merging of the image bands. Then, the processing was performed using the Linear Model of Spectral Mixing. Finally, the classification method was performed by subtracting more recent images from older ones and by coloring the identified classes. Through the pre-processing, processing and classification steps performed on all images, it was possible to observe changes in land use and the exponential growth of agriculture in the region. The results showed an increase of approximately 165,000 hectares in areas with exposed soil, such as pastures and non-irrigated crops between 1984 and 2022, while areas with more intense irrigation represented 24,576 hectares. The methodology used proved to be effective in classifying, identifying changes and determining the area of expansion between two dates. However, it presented limitations in comparing and obtaining areas of expansion along the time series.

Keywords: remote sensing, change detection, agriculture.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Oeste Baiano	11
2.1.1. Agricultura.....	11
2.1.2. Cerrado e Preservação	12
2.2. Sensoriamento Remoto.....	13
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Aquisição das imagens	17
4.2. Pré-Processamento	19
4.3. Processamento	20
4.3.1. Detecção de mudanças	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da Área de estudo – Oeste Baiano	14
Figura 2. Mapa dos Biomas na Área de Estudo	15
Figura 3. Mapa de localização da bacia do rio das Fêmeas no Estado da Bahia.	16
Figura 4. Metodologia do trabalho.....	17
Figura 5. Informações básicas do Landsat 5.....	18
Figura 6. Informações básicas do Landsat 8.....	18
Figura 7: Registro imagem-imagem da cena de 2022.	23
Figura 8. Composição colorida R3 G2 B1, cor real, cena de 2022.	23
Figura 9. Resultado das curvas espectrais das classes de solo exposto, água e vegetação após aplicação MLME.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área plantada ou destinada à colheita no extremo oeste baiano (BA) no ano de 2017.	11
Tabela 2. Lista das datas e satélites de cada imagem utilizada no estudo.	19
Tabela 3. Valores utilizados na correção radiométrica de cada imagem.	19
Tabela 4. Especificações das bandas espectrais do sensor TM.	19
Tabela 5. Escolha das classes para a realização do método de classificação supervisionada.	20
Tabela 6. Resultado do antes e depois da correção radiométrica (histograma e imagem), da cena de 2022.	22
Tabela 7. Composição R(Solo) G(Vegetação) B(Água/Sombra) do resultado da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral das 5 datas.	24
Tabela 8. Subtração da fração solo do período mais novo pelo mais antigo com uma periodicidade de 10 anos.	27
Tabela 9. Coloração das imagens conforme os resultados das anomalias positivas e negativas	30
Tabela 10. Descrição dos Limiares Definidos para Coloração	33
Tabela 11. Valores e resultados da delimitação dos limiares.	33
Tabela 12. Tamanho das áreas de anomalia negativa e positiva em ha.....	36

1. INTRODUÇÃO

O Oeste Baiano tem como sua principal atividade econômica a agropecuária, que o torna um dos principais polos agrícolas e agroindustriais do Brasil. Nessa região, a atividade agrícola é liderada pela produção de culturas como soja, algodão e milho, acompanhadas por uma diversificada gama de produtos derivados.

No entanto, os impactos ambientais decorrentes da expansão desordenada é um tema que tem gerado grandes discussões, visto que o ambiente é favorável para o rápido crescimento econômico. Dentre os diversos impactos, os mais observados nessa região são a redução da biodiversidade, a contaminação da água e do solo por componentes químicos e as erosões, a perda da fertilidade do solo e o crescimento no desmatamento.

Por ser uma região extensa, as tecnologias advindas do sensoriamento remoto podem ser extremamente úteis para a detecção de mudanças ocorridas na região do oeste baiano, tendo em vista que pode ser usado no monitoramento do uso da terra, dos recursos hídricos, nas mudanças climáticas, na vegetação e safras, além da avaliação de impactos ambientais.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é uma técnica muito utilizada no processamento de imagens de sensoriamento remoto, com o intuito de analisar a composição espectral de uma cena observada, composta por vários alvos. Com o uso do MLME e das cenas obtidas pelo satélite Landsat 5 e Landsat 8, este trabalho tem como objetivo de testar a metodologia por meio das imagens das séries temporais para detectar e identificar as mudanças na composição desses alvos que sucederam após o crescimento da ocupação do solo destinado à agricultura no Oeste Baiano ao longo do tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Oeste Baiano

2.1.1. Agricultura

A agricultura desempenha um papel significativo no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, como destacado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse setor contribui substancialmente, no qual representa aproximadamente 21% de todas as riquezas geradas no país. O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, também conduzido pelo IBGE no período de 1975 a 2017, revela um impressionante aumento na produção de grãos. Os números passaram de 38,1 milhões de toneladas para 232,6 milhões de toneladas, um notável crescimento de 510% ao longo desse período (IBGE, 2017).

De acordo com a Tabela 1, constata-se que as principais culturas no oeste da Bahia em 2017 foram soja, algodão e milho. Especificamente em relação à soja, essa cultura assume um papel de destaque ao contribuir com cerca de 75,2% da produção total da área. Esse cenário reforça não somente o peso econômico da agricultura na região, mas também a sua importância para o contexto agrícola nacional.

Tabela 1: Área plantada ou destinada à colheita no extremo oeste baiano (BA) no ano de 2017.

Produtos	Área plantada ou destinada à colheita
Algodão herbáceo (em caroço)	266.025
Arroz (em casca)	274
Café (em grão) Total	6.200
Feijão (em grão)	64.599
Laranja	629
Mandioca	4.445
Milho (em grão)	211.732
Soja (em grão)	1.693.885
Trigo (em grão)	3.032

Fonte: Adaptado pela autora, dados do IBGE - Produção Agrícola Municipal.

Com uma extensa área, a região é considerada a principal fronteira agrícola do estado da Bahia, em que, nas últimas duas décadas, observa-se um desenvolvimento acelerado do processo de mecanização da agricultura (AMORIM JUNIOR; LIMA, 2007; DE CASTRO et al., 2010). O Oeste Baiano, destaca-se nos últimos anos como uma das principais regiões produtoras do País por diversos fatores, incluindo condições climáticas favoráveis, disponibilidade de terras agricultáveis e investimentos em infraestrutura (IBGE, 2007).

A expansão das áreas de agricultura mecanizada altera a configuração socioeconômica e ambiental local de maneira desordenada. Essa alteração é associada a diversos impactos ambientais negativos que antes eram inexistentes na região, como a perda de habitats, a redução da biodiversidade, a contaminação do solo e da água, o assoreamento, a inundação, a redução nos fluxos dos rios e a redução de áreas de terras úmidas. Esses problemas podem ser provenientes de diversos fatores como por exemplo o desmatamento, as queimadas, o uso de agrotóxicos e fertilizantes e pela irrigação permanente (AMORIM JUNIOR; LIMA, 2007; BATISTELLA et al., 2002).

Ao ponderar sobre os efeitos resultantes da alteração no uso do solo e a ausência de um planejamento adequado, fica evidente a demanda por informações acerca dessas transformações. Esse contexto ganha ainda mais relevância devido à localização dessa área em um aquífero de grande importância, somado ao fato de abrigar predominantemente o cerrado, um ecossistema de extrema relevância ecológica, categorizado como hotspot, o qual requer monitoramento contínuo e preservação eficaz.

2.1.2. Cerrado e Preservação

O Bioma Cerrado é considerado a Savana mais rica do mundo em biodiversidade, com a presença de diversas tipologias de fauna e flora e está presente em aproximadamente 24% do território brasileiro. Segundo informações fornecidas pelo SAD Cerrado (Sistema de Alerta de Desmatamento) na Bahia, em janeiro de 2023, ocorreu um desmatamento de 9,3 mil hectares no bioma, o que representa um aumento de 64% em comparação com o mesmo período do ano anterior, no qual 5,6 mil hectares foram desmatados (IPAM, 2023). O bioma é classificado como um hotspot, ou seja, uma área de grande biodiversidade e endemismo, com uma grande devastação ambiental.

É notável que, segundo os dados do SAD, seis dos dez municípios que mais contribuíram para o desmatamento no Bioma Cerrado durante janeiro estão situados na região consolidada de agricultura no oeste baiano e são responsáveis por 7,6 mil hectares de desmatamento. Essa safra representa 82% de todo o desmatamento registrado no Cerrado baiano e equivale a 16% do total de desmatamento no bioma (IPAM, 2023).

A expansão das áreas agrícolas no oeste da Bahia persiste, mesmo em uma região já estabelecida no setor agrícola, como ressaltado por Fernanda Ribeiro, pesquisadora do IPAM. Essa tendência de desmatamento e expansão agrícola merece atenção, especialmente considerando o contexto da região. Os fragmentos de vegetação nativa remanescentes desempenham um papel de suma importância na garantia da segurança hídrica e alimentar da região. Além disso, eles desempenham um papel vital na preservação da biodiversidade e na conexão entre diferentes áreas de proteção ambiental. A disparidade nas tendências de desmatamento enfatiza a necessidade de implementar abordagens de desenvolvimento sustentável para assegurar a proteção dessa singular riqueza natural.

Uma forma de controle e preservação do cerrado é pela legislação que delimita territórios ambientalmente protegidos. Dito isso, a Lei 12.651, de 2012 estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal, por exemplo. Segundo o código florestal, as Reservas Legais são áreas localizadas no interior de uma propriedade ou posse rural de no mínimo 20% do tamanho da terra e essas áreas devem ser inscritas no Cadastro Ambiental Rural – CAR para fins de controle e monitoramento.

No estado da Bahia, os imóveis cadastrados no CAR possuem uma área total dedicada à preservação de aproximadamente 44,8% de sua área para a preservação da vegetação nativa, um valor bem alto ao comparar a outros estados (EMBRAPA, 2018). Porém, como no Brasil o percentual de imóveis sem cadastro no CAR ainda é de 37% até 2021 (EMBRAPA, 2021), é muito difícil garantir que a preservação dessas áreas está sendo feita. Dessa forma, ao considerar a extensão territorial da região, pode-se entender a importância de utilizar métodos de monitoramento para garantir que essas áreas realmente estão sendo preservadas.

2.2. Sensoriamento Remoto

Considerando o crescimento do setor agrícola no Brasil, a disponibilidade de métodos de monitoramento capazes de mitigar e controlar os impactos adversos decorrentes desse progresso é extremamente importante. O sensoriamento remoto é um método a ser considerado pelas suas particularidades na expansão territorial das terras agrícolas que são definidas pela mutabilidade de variáveis que permeiam o setor, como a paisagem, o clima, as práticas de manejo e a área ocupada, por exemplo (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

“A definição mais conhecida ou clássica de sensoriamento remoto é: Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto” (MENESES; ALMEIDA, 2012). A obtenção dessas imagens se dá pela medição da radiação eletromagnética refletida da superfície de um objeto. O sensoriamento remoto permite então que as informações presentes na imagem sejam extraídas e traduzidas por meio de diversos processos para que sejam posteriormente analisadas em um produto final, como mapas, gráficos, tabelas e outras imagens (CRÓSTA, 2015; MENESES; ALMEIDA, 2012).

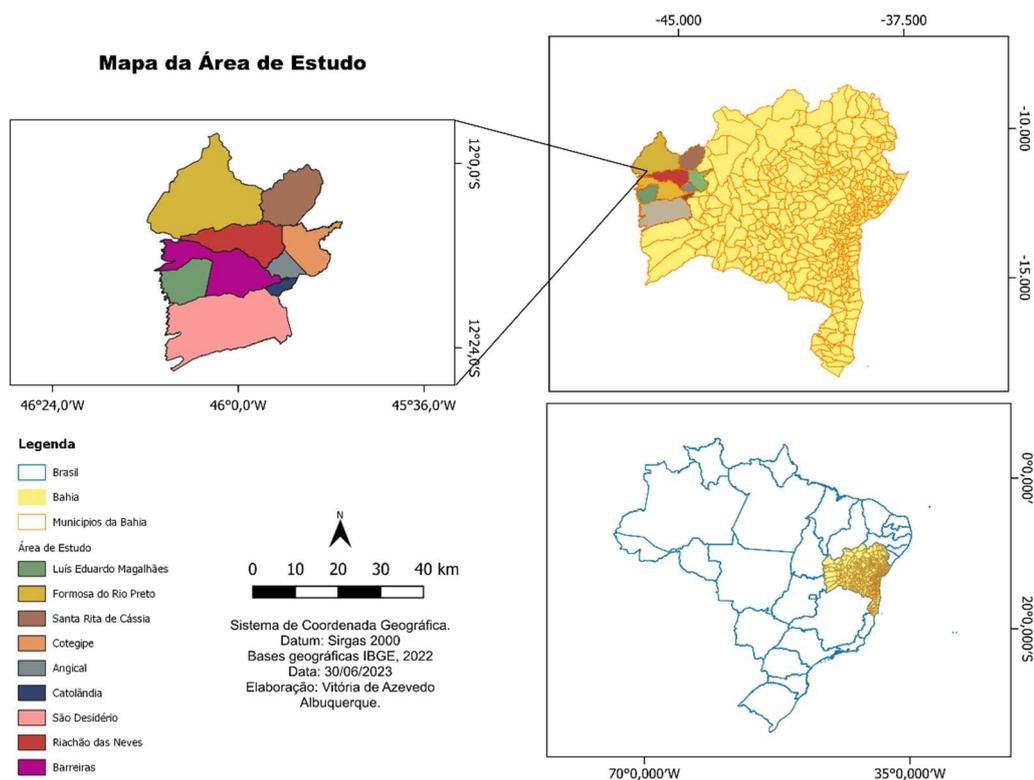
Para extrair informações das imagens existem diversos métodos de análises para a interpretação do significado de um dado (MENESES; ALMEIDA, 2012). Ainda segundo os autores, “a classificação de imagens multiespectrais é o processo de associar os pixels da imagem a um número finito de classes individuais que representam os objetos do mundo real, com base nos seus valores digitais”. Dito isso, os métodos de classificação podem ser um aliado na visualização e no entendimento do crescimento de áreas agrícolas e na diminuição de áreas de vegetação nativa ao longo do tempo.

A detecção de mudanças tem como objetivo a comparação de imagens multitemporais por operações entre os pixels correspondentes. (OLIVEIRA et al., 2015 apud ILSEVER; UNSALAN, 2012). Uma forma simples de detecção de mudança é pela obtenção da diferença entre pares de imagens de um determinado local, compostas por uma ou mais bandas/atributos, obtidas em um período com instantes distintos, de forma que seja possível fazer uma análise comparativa das alterações que ocorreram neste período (OLIVEIRA et al., 2020).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo o IBGE Cidades, o Estado da Bahia é composto por 417 municípios em uma área de 564.760,429 Km² e uma população de 14.136.417 habitantes e é considerado o 5º maior estado brasileiro. Os municípios de Luís Eduardo Magalhães, Formosa do Rio Preto, Santa Rita de Cássia, Cotegipe, Angical, Catolândia, São Desidério, Riachão das Neves, e Barreiras, localizados no Extremo Oeste Baiano, estão dentro da área de estudo do trabalho conforme a figura 1.

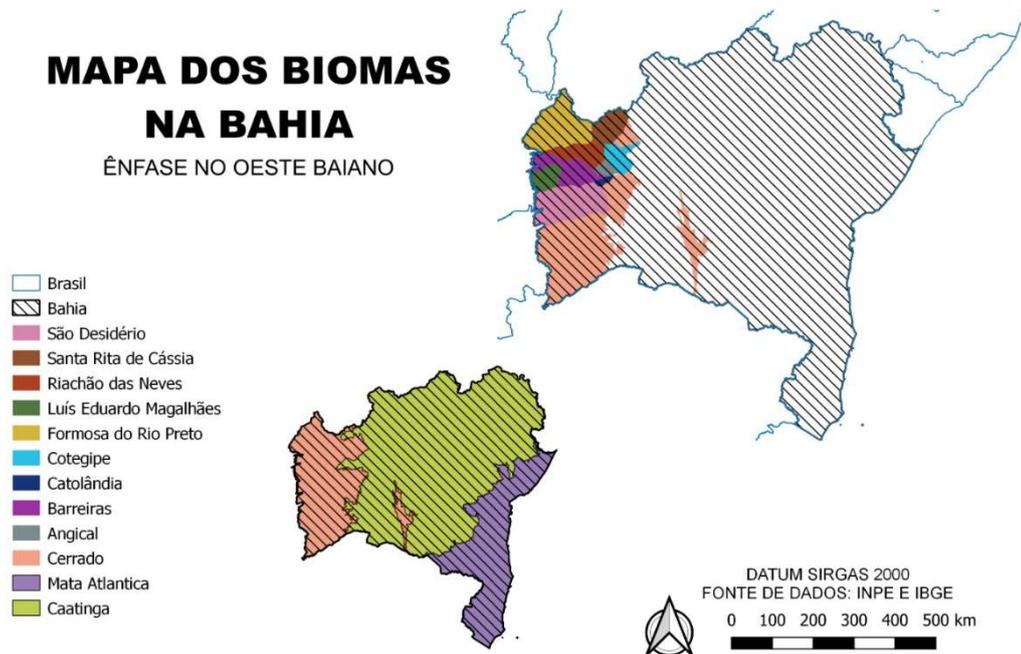
Figura 1. Mapa da Área de estudo – Oeste Baiano



Fonte: Elaborado pela autora

O clima é quente e seco com chuvas de inverno, de acordo com a classificação de Köppen (INMETRO, 2003, apud DE CASTRO et al., 2010). A região está inserida em uma área de cerrado Stricto Sensu (figura 2), sendo assim, o solo pertence majoritariamente às classes Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo e, apresenta também, Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos Hápicos (AMORIM JUNIOR; LIMA, 2007; DE CASTRO et al., 2010). A vista disso, a formação geológica do local é composta por arenitos quartzosos de tamanhos e cores variados, com de siltitos e folhelhos intercalados.

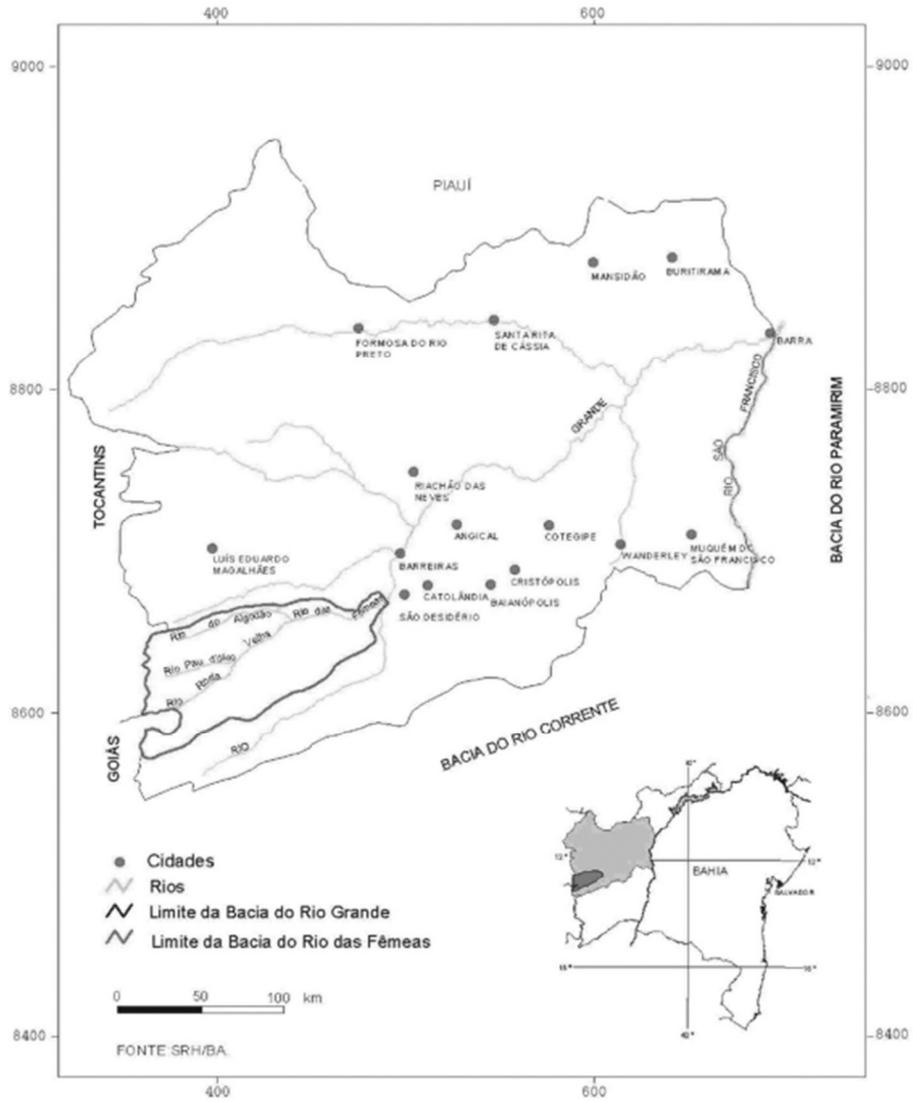
Figura 2. Mapa dos Biomas na Área de Estudo



Fonte: Elaborado pela autora

A região está inserida na porção setentrional da Bacia Sanfranciscana (Figura 3). Segundo Amorim Junior e Lima (2007), o aquífero Urucuaia, no Estado da Bahia, compreende um amplo chapadão de aproximadamente 80.000 km² de extensão e sua altitude varia em 1000 m. O local possui uma extensa, mas rarefeita rede de drenagem, que constitui a expressão superficial do fluxo hídrico de um dos maiores reservatórios de água potável do Brasil (AMORIM JUNIOR; LIMA, 2007; DE CASTRO et al., 2010).

Figura 3. Mapa de localização da bacia do rio das Fêmeas no Estado da Bahia.

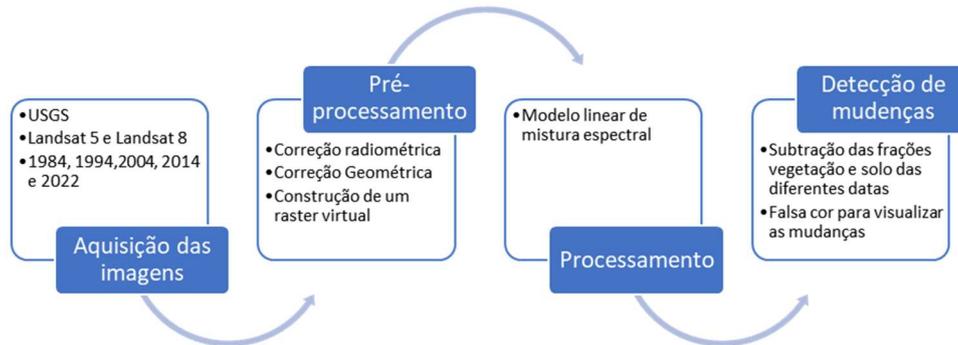


Fonte: Amorim Junior e Lima, 2007

4. MATERIAL E MÉTODOS

A figura 4 representa o resumo da metodologia do trabalho. Ela mostra o que foi feito dentro das etapas de aquisição das imagens, pré-processamento, processamento e detecção de mudanças.

Figura 4. Metodologia do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora

4.1. Aquisição das imagens

A obtenção das imagens do Landsat foi feita pelo site da United States Geological Survey (USGS) pelo módulo Earth Explorer de forma gratuita. Tendo em vista a análise temporal de uma área rural, foi escolhida a coleção 2, nível 2 dos satélites Landsat 5 e 8 com as características descritas nas figuras 5 e 6, já que os efeitos atmosféricos vêm corrigidos e essa configuração não foi descontinuada no período de uso, sendo possível utilizá-la em todas as cenas.

Figura 5. Informações básicas do Landsat 5

Instrumento/Sensor	MSS (até Ago/1995) e TM
Operadora/Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Inativo (22/11/2011)
Lançamento	01/03/1984
Altitude	705 km
Inclinação	98,20°
Órbita	Quase-Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min
Horário da Passagem	09h / 11h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	MSS: 80 m TM: 30 m

Fonte: (INPE, s.d.)

Figura 6. Informações básicas do Landsat 8

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: (INPE, s.d.)

Foram adquiridas 5 imagens entre o período de 1984 a 2022 de cenas que não apresentaram a presença de nuvens. As imagens de 1984, 1994 e 2004 são do Landsat 5, já as de 2014 e 2022 são do Landsat 8 (tabela 2) em razão das datas de lançamento e inativação dos satélites descritas nas figuras 6 e 7.

Tabela 2. Lista das datas e satélites de cada imagem utilizada no estudo.

Data	Satélite
jun/84	Landsat 5
ago/94	Landsat 5
mai/04	Landsat 5
jun/14	Landsat 8
jun/22	Landsat 8

Fonte: elaborado pela autora

4.2. Pré-Processamento

No pré-processamento foi feita correção radiométrica, que consiste em minimizar diferenças entre imagens dos diversos períodos para que possam ser comparadas ou classificadas em conjunto. *Para isso, foram utilizados os valores dos metadados para elaborar a fórmula descrita na tabela 3, sendo necessário utilizá-la em cada uma das 6 bandas, descritas na tabela 4, para a obtenção de uma resposta adequada da reflectância, por meio da ferramenta Calculadora Raster do software QGIS. Após essa etapa, as bandas foram agrupadas e um arquivo raster foi gerado para a obtenção da composição colorida das cenas, por meio da ferramenta Construir um Raster Virtual ainda no QGIS.*

Tabela 3. Valores utilizados na correção radiométrica de cada imagem.

Correção Radiométrica/Atmosférica	Valor
REFLECTANCE_MULT_BAND	2.75e-05
REFLECTANCE_ADD_BAND	-0.2
Equação da correção atmosférica	("BANDA X" x 0.0000275) + (-0.2)

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4. Especificações das bandas espectrais do sensor TM.

Landsat 5	Landsat 8
(B1) Azul	(B2) Azul
(B2) Verde	(B3) Verde
(B3) Vermelho	(B4) Vermelho
(B4) Infravermelho próximo	(B5) Infravermelho próximo
(B5) Infravermelho médio	(B7) Infravermelho médio
(B7) Infravermelho médio	(B8) Pancromática

Fonte: elaborado pela autora.

Após a realização da correção radiométrica das imagens, foi feito o processo de registro imagem-imagem. O processo dar-se-á ao alinhamento e ajuste, de modo que elas sobreponham-se de forma precisa e correta, posto que foi adquirido várias cenas de um mesmo local, mas em momentos diferentes.

Essa etapa é importante para a correção geométrica, que permite agrupar as 6 bandas de cada cena, de maneira uniforme para não haver um deslocamento da posição da imagem. Dessa forma, evita-se erros de qualquer deslocamento na posição das imagens, e posteriormente nas fases subsequentes dos processamentos.

O método de registro foi realizado no software Terraview, com o uso da ferramenta de Processamento Matricial Registro. Esse procedimento permite a integridade das informações e facilita a combinação das diferentes bandas de cada cena. Em suma, o registro de imagem-imagem foi fundamental para garantir a qualidade das imagens, bem como a torna possível para o objetivo desse estudo, que é a análise temporal do oeste baiano.

4.3. Processamento

Em seguida, ainda com a utilização do software TerraView, criou-se um arquivo raster com as 6 bandas agrupadas para cada imagem. Fez-se a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral por meio da ferramenta *Mistura Espectral*. Os ROIs foram água, vegetação e solo exposto como as classes escolhidas para a análise das imagens. Dessa forma, as amostras foram selecionadas por polígonos com uma parcela significativa de pixels que representam cada classe como mostra a tabela 5. O fim dessa etapa gerou-se uma fração água, fração vegetação e fração solo exposto. A tabela 5, é um exemplo do resultado para as camadas do ano de 2022.

Tabela 5. Escolha das classes para a realização do método de classificação supervisionada.

	Fração solo exposto
	Fração vegetação
	Fração água

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1. Detecção de mudanças

Com o uso da calculadora raster, no software QGIS, a subtração da fração solo das imagens mais recentes pela fração solo das imagens mais antigas foi realizada. Criou-se uma camada com a diferença entre as frações e, para ser possível a visualização das mudanças, foram gerados os dados das estatísticas que foram posteriormente calculados para criar uma falsa cor para que as anomalias positivas e negativas sejam detectadas mais facilmente.

As anomalias positivas e negativas referem-se às diferenças observadas na região no decorrer dos anos analisados e nas assinaturas espectrais de uma área após a detecção de mudanças. Em síntese, se ocorre o surgimento de novos alvos na imagem, são detectadas anomalias positivas, já as anomalias negativas são o resultado da supressão dos objetos de uma mesma área ocorrida ao longo do tempo.

Dito isso, para uma melhor classificação, realizou-se a reclassificação pela ferramenta *r.recode* para delimitar os 4 limiares. Assim, os valores variam do máximo até a anomalia positiva, da anomalia positiva até a média, da média até a anomalia negativa e da anomalia negativa até o mínimo. As anomalias positivas são determinadas pelo valor médio somado ao dobro do desvio padrão e as anomalias negativas pelo valor médio subtraído do dobro do desvio padrão.

$$\text{Anomalia positiva} = \text{média} + (2 \times \text{desvio padrão})$$

$$\text{Anomalia negativa} = \text{média} - (2 \times \text{desvio padrão})$$

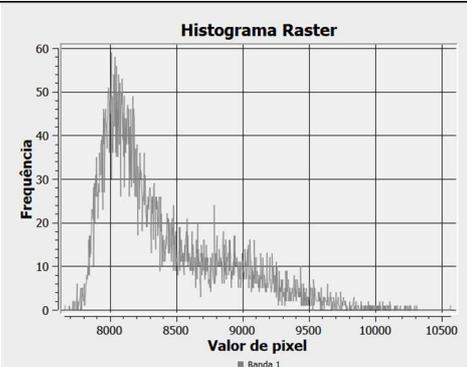
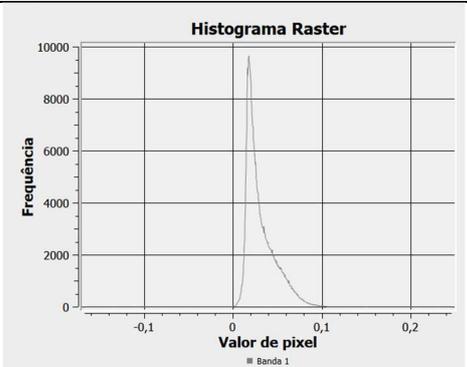
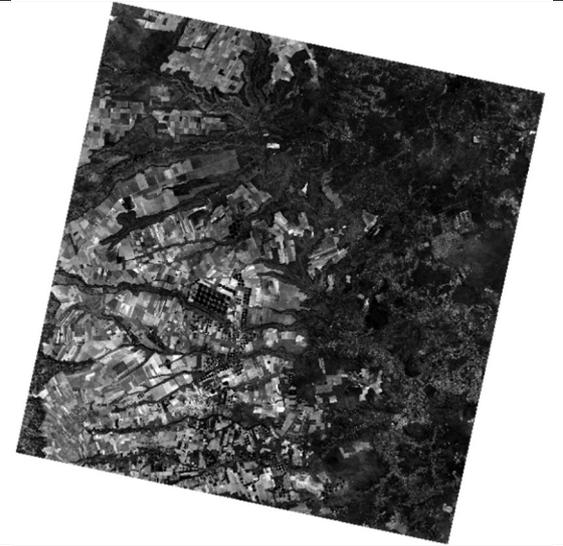
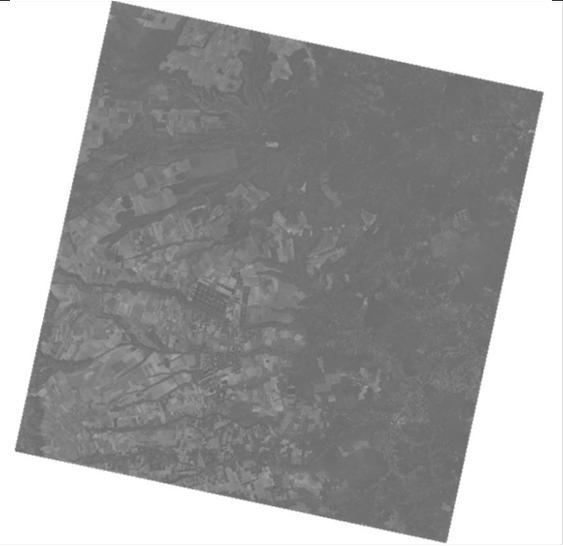
Dessa forma, por meio da execução das operações estatísticas sobre os resultados obtidos, os valores que refletiam as anomalias positivas e negativas presentes na cena foram determinados. Para uma avaliação mais detalhada, com base na composição de cores falsas para uma melhor representação visual, as anomalias positivas estão em azul e as negativas em vermelho. Os dois extremos foram coloridos para que a visualização do que foi incrementado ou retirado da área da fração solo exposto fosse possível identificação. Finalmente, o cálculo da área das anomalias foi realizado pela ferramenta *reporta camada raster* de valor único.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No pré-processamento, as etapas realizadas foram as mesmas em todas as bandas e cenas, dessa forma, as imagens e tabelas deste item são representadas pelos resultados de 2022 como exemplo.

Na realização da correção radiométrica, houve uma diferença visual e na frequência do histograma gerado em cada banda. É possível observar uma grande diferença nos valores dos histogramas, de forma que após a correção radiométrica o histograma fica mais uniforme. O resultado é refletido na imagem, que fica com menos contraste e menos níveis de cinza, porém tem efeitos de sombras e interferências reduzidas. A tabela 6 contém os resultados desta etapa utilizando como exemplo a banda 1 da imagem de 2022.

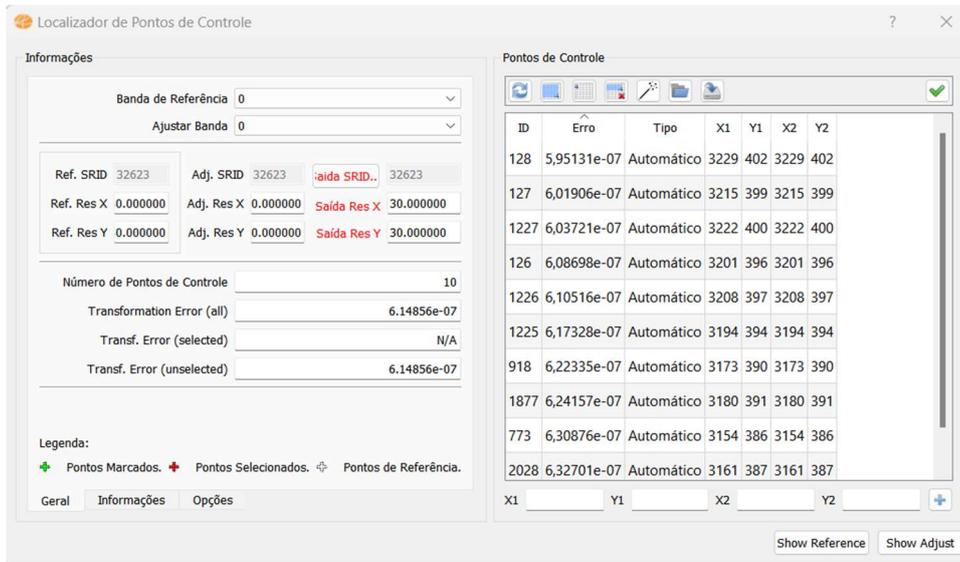
Tabela 6. Resultado do antes e depois da correção radiométrica (histograma e imagem), da cena de 2022.

Histograma antes da correção radiométrica	Histograma depois da correção radiométrica
	
Cena antes da correção radiométrica	Cena depois da correção radiométrica
	

Fonte: elaborado pela autora.

Com o uso da ferramenta Processamento Matricial Registro, identificou-se os valores dos erros entre as bandas utilizadas, conforme figura 7, e posteriormente fez-se o ajuste para que fosse possível empilhá-las sem uma interferência geométrica. O valor do erro dos pontos em comum às duas cenas é mínimo, ou seja, com pontos considerados iguais, as cenas estão alinhadas e ajustadas de forma precisa.

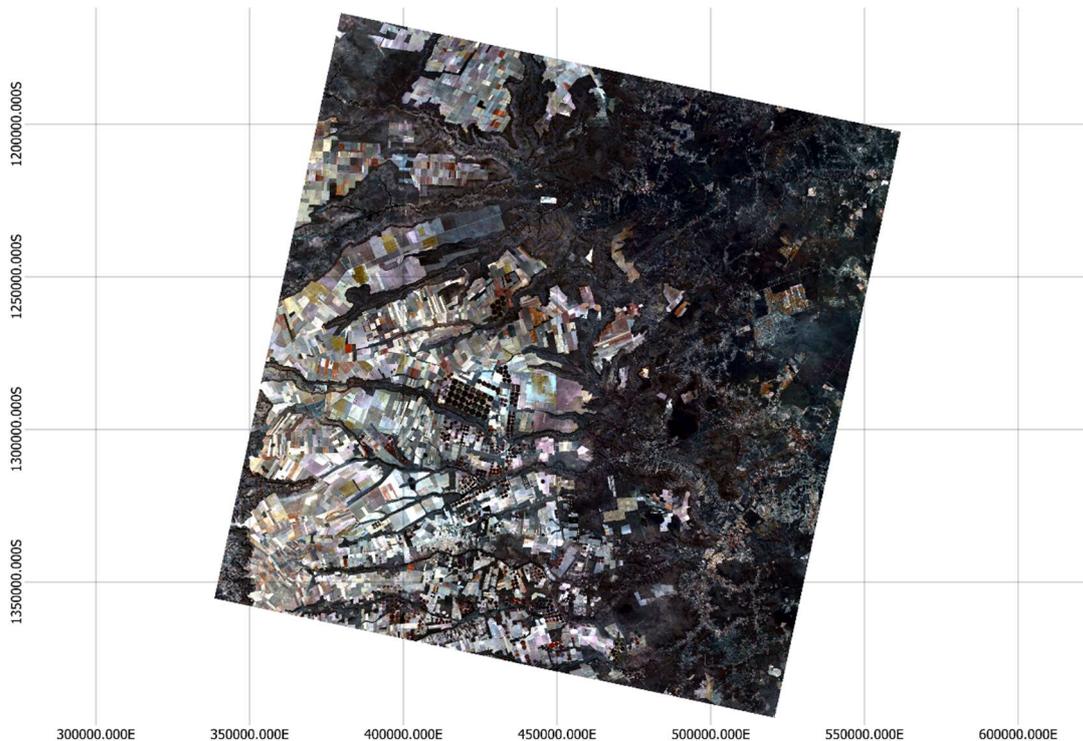
Figura 7: Registro imagem-imagem da cena de 2022.



Fonte: Autora, Terraview

Com as imagens corrigidas, a junção das bandas pela ferramenta *calculadora raster* possibilita a obtenção de uma composição colorida das imagens. A figura 8 é um exemplo de 2022 da junção das bandas com a cor real, ou seja, banda 3 no canal do vermelho, banda 2 no canal do verde e banda 1 no canal do azul, ou seja, uma composição de cor real.

Figura 8. Composição colorida R3 G2 B1, cor real, cena de 2022.

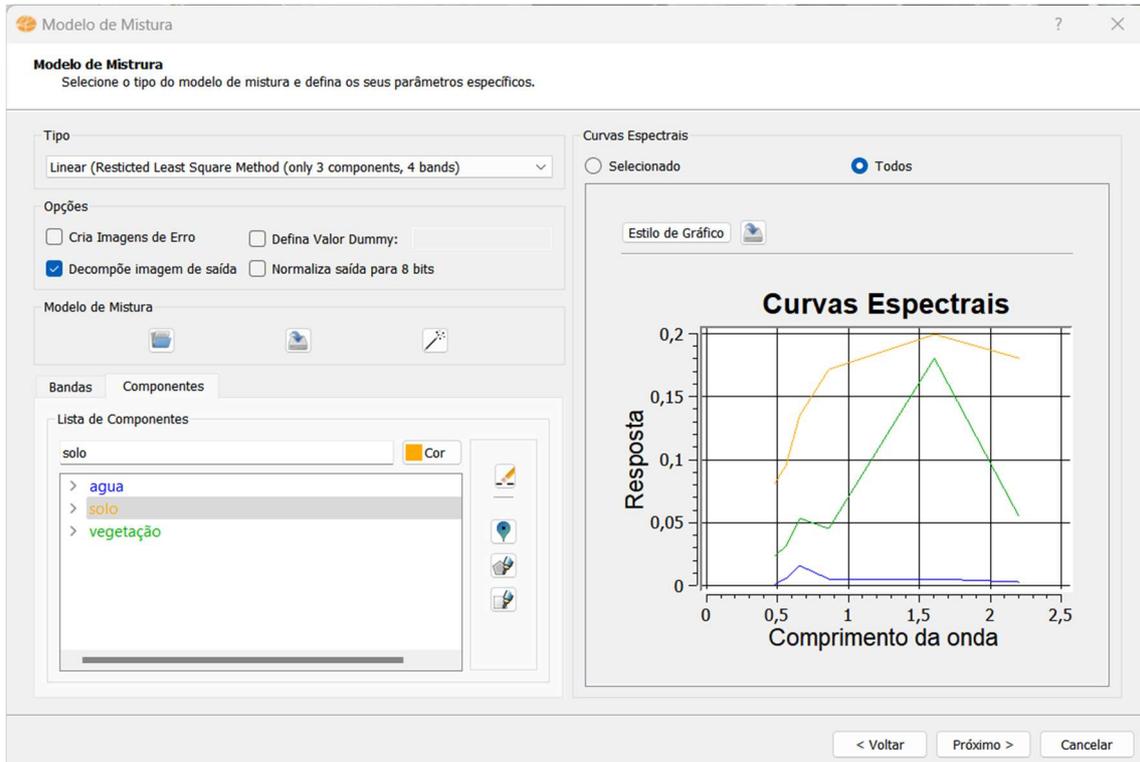


Fonte: Autora

Após a composição dos arquivos raster com as 6 bandas de cada cena, procedeu-se o processamento do Modelo Linear de Mistura Espectral. Para isso, foi coletado amostras de solo

exposto, água e vegetação, realizadas a partir da seleção das regiões de interesse (ROIs). Essa classificação dar-se-á pela forma como as curvas espectrais das diferentes classes se comportam (figura 9) ao se referirem aos perfis de absorção ou reflexão das classes presentes em cada amostra com o passar do tempo, e como resultado desse processo visualiza-se imagens de fácil identificação por cores, conforme tabela 7.

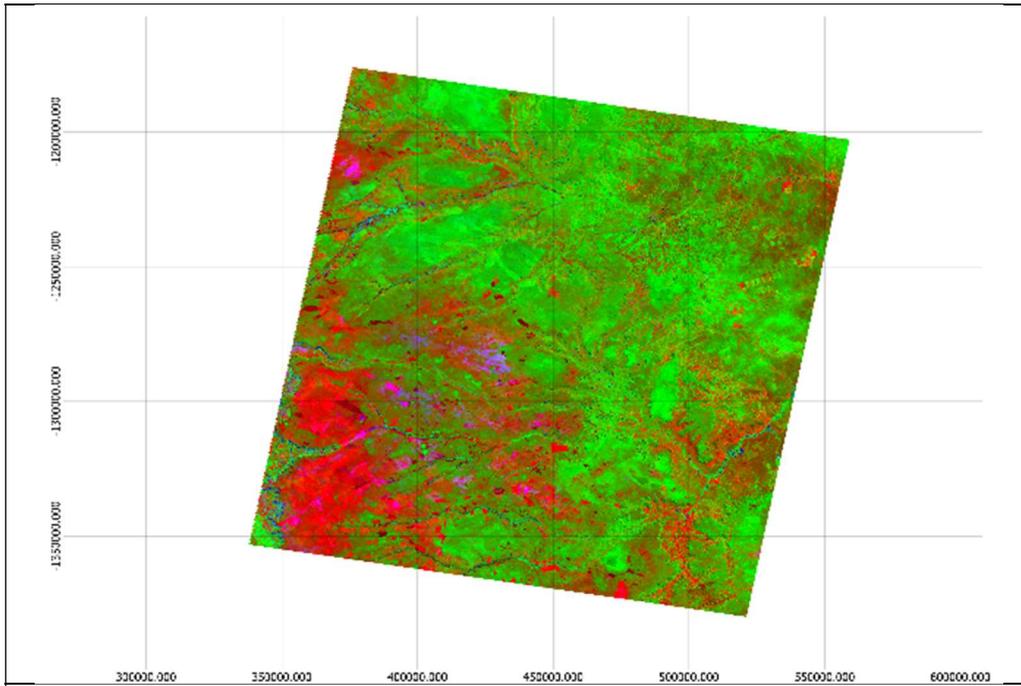
Figura 9. Resultado das curvas espectrais das classes de solo exposto, água e vegetação após aplicação MLME.



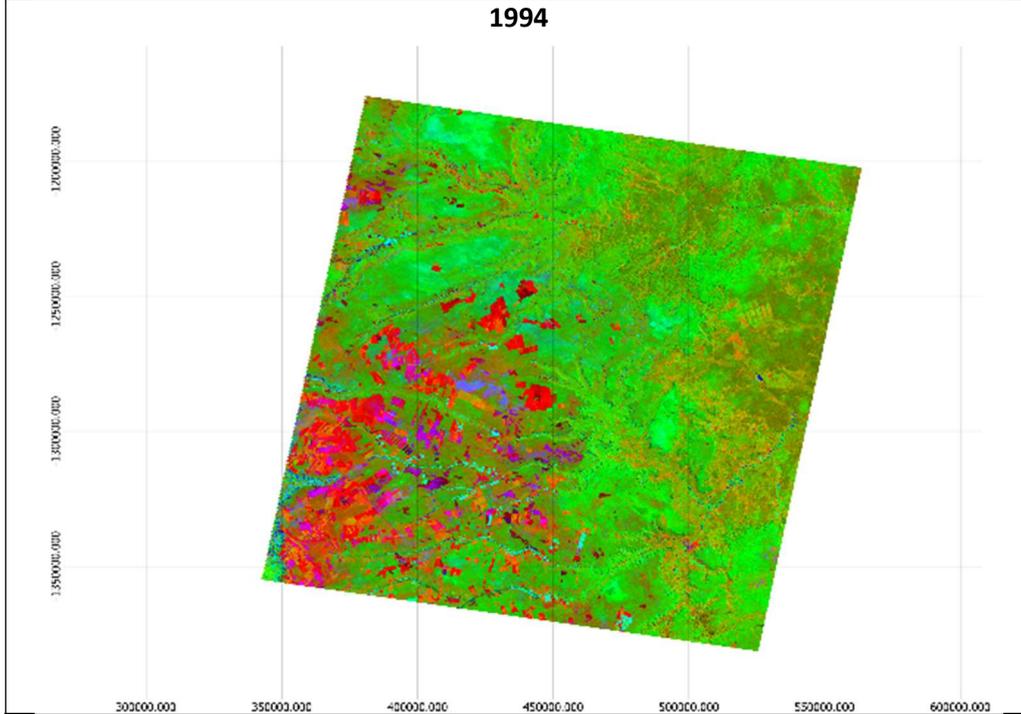
Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 7. Composição R(Solo) G(Vegetação) B(Água/Sombra) do resultado da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral das 5 datas.

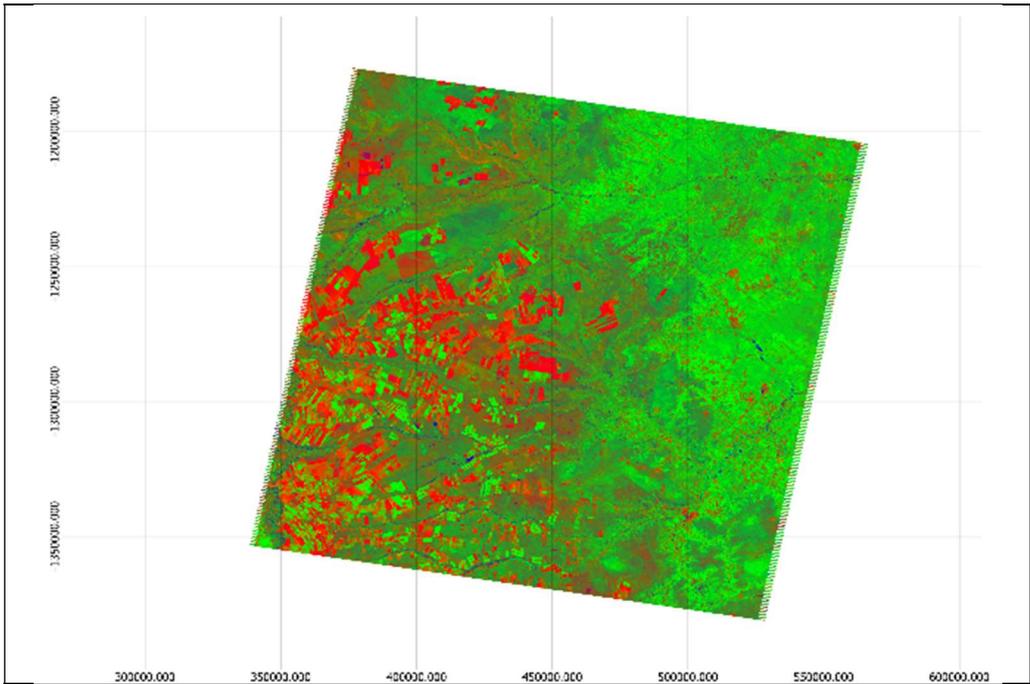
1984



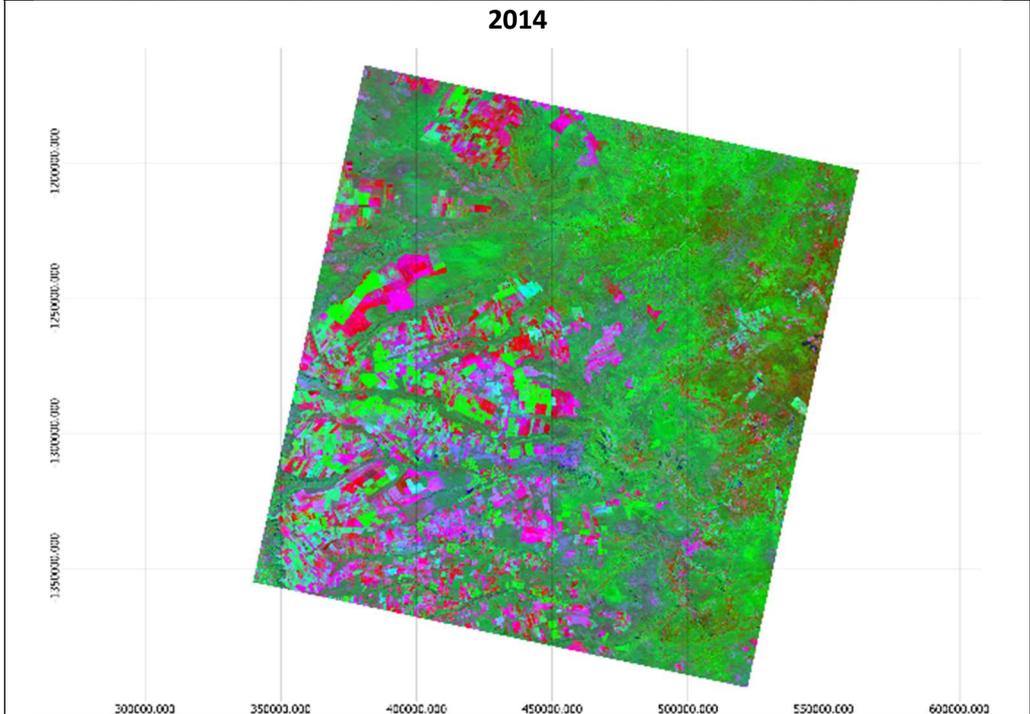
1994



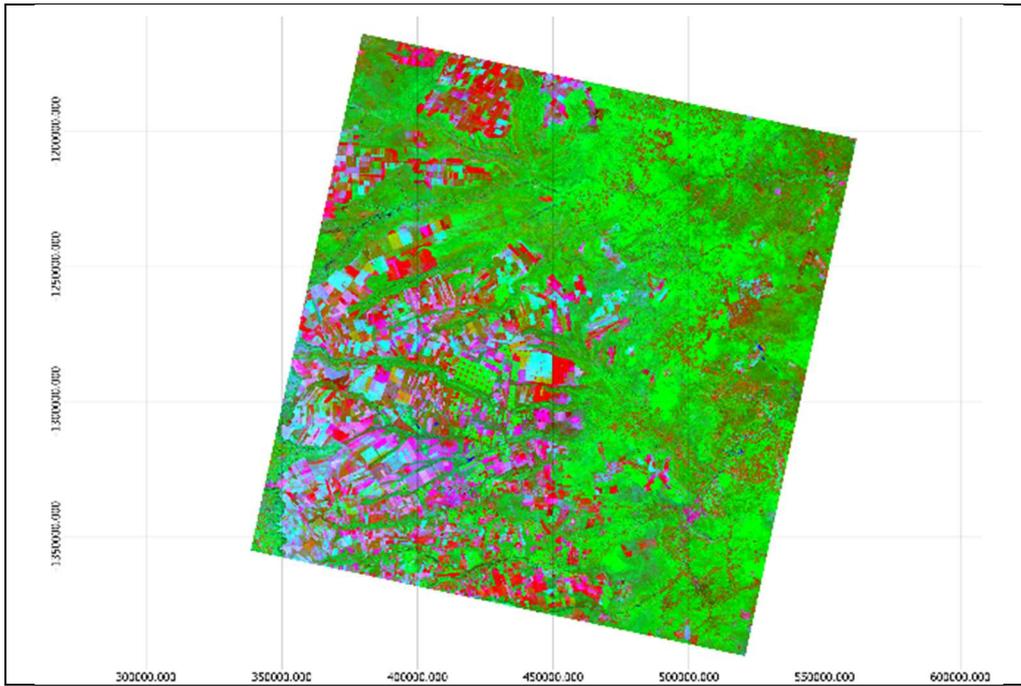
2004



2014



2022

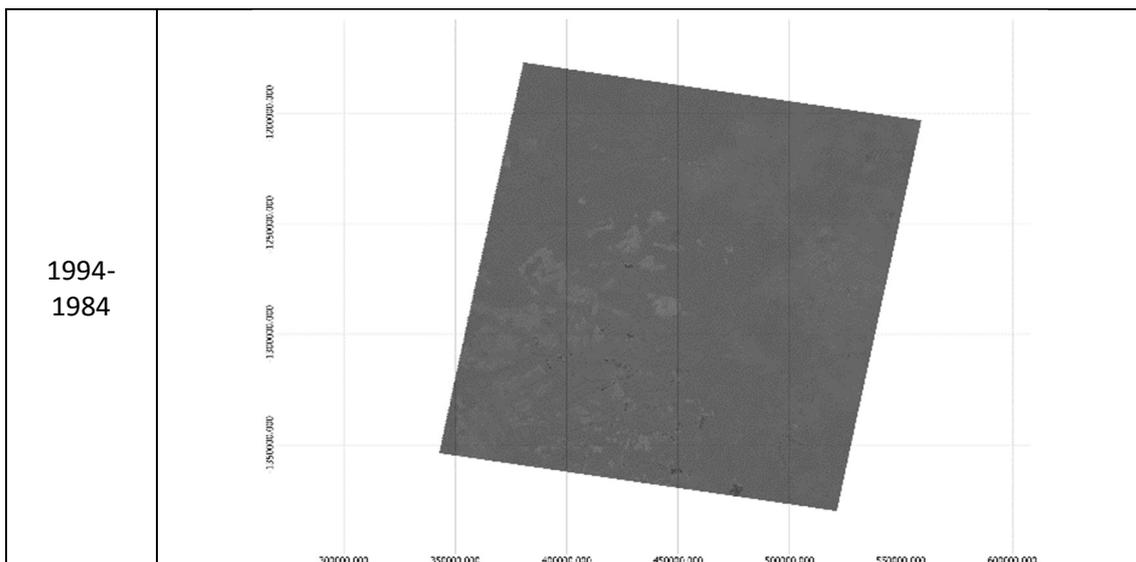


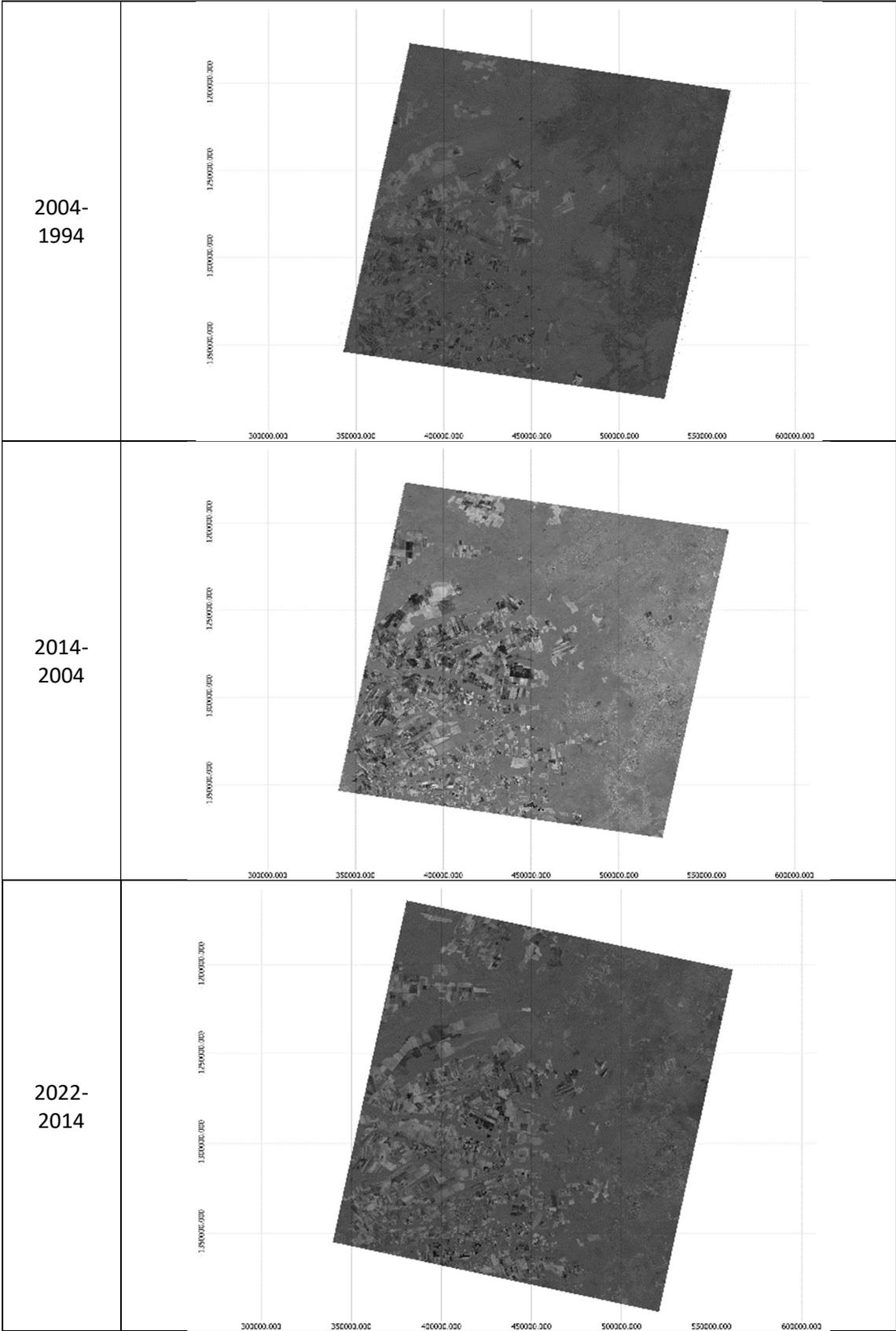
Fonte: elaborado pela autora.

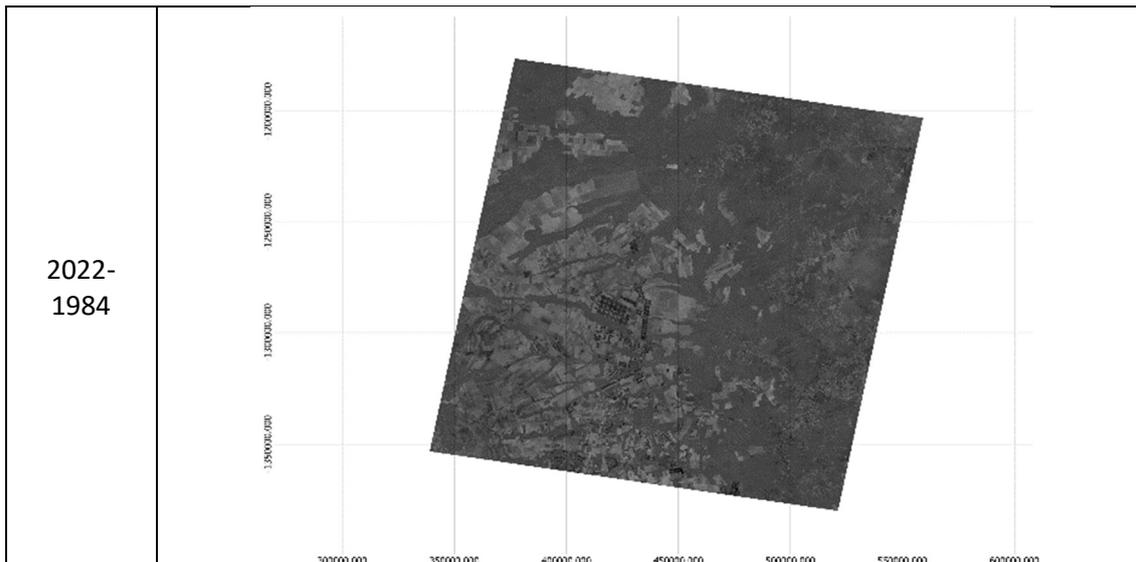
Como resultado dessa etapa, o crescimento de áreas de solo exposto ao longo dos anos fica nítido, porém, é possível observar que o método confunde áreas de vegetação nativa com áreas de pivô e irrigação mais intensa. O sistema faz esse tipo de confusão pelo fato de que essas áreas também são fotossinteticamente ativas e tem uma umidade maior, a corresponder de forma parecida nas curvas espectrais das imagens.

Tendo em vista o objetivo do trabalho, o objeto de análise a partir da etapa de detecção de mudanças foi a fração solo. Para analisar apenas as mudanças que ocorreram no local, a subtração entre as frações mais novas pelas mais antigas foi realizada conforme a tabela 8.

Tabela 8. Subtração da fração solo do período mais novo pelo mais antigo com uma periodicidade de 10 anos.







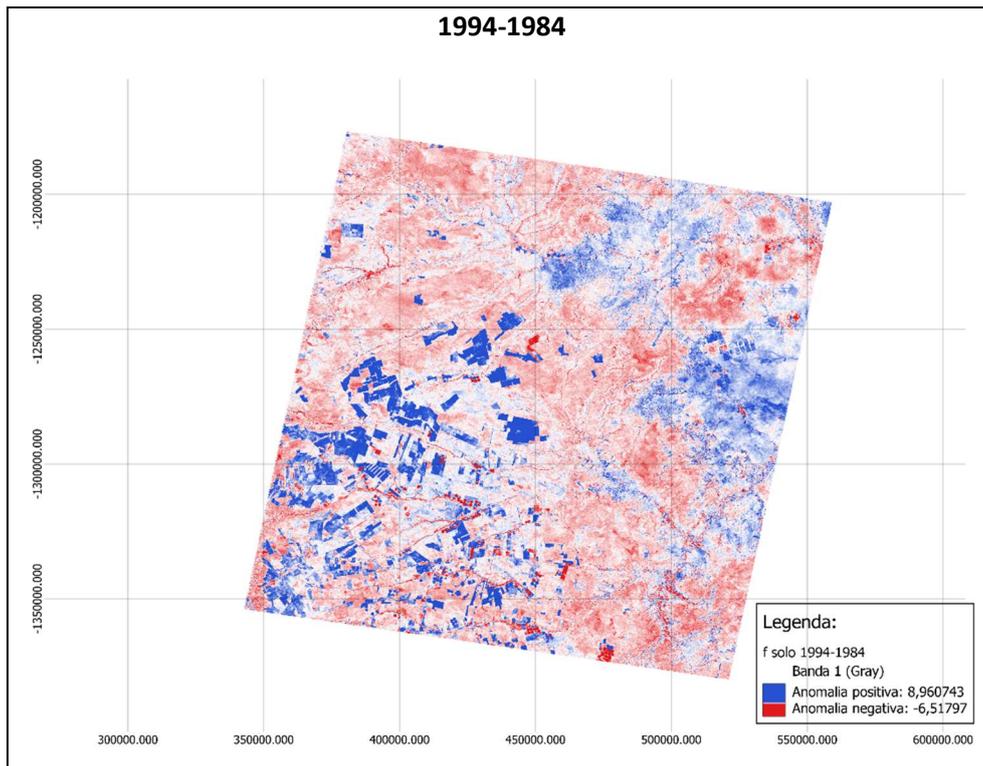
Fonte: elaborado pela autora.

O resultado da subtração gerou imagens em escala de cinza, que podem ser vistas na tabela 9. Para visualizar as mudanças de acréscimo e redução da fração solo em cada período, foi necessário pegar os dados das estatísticas e classificar os valores por cores.

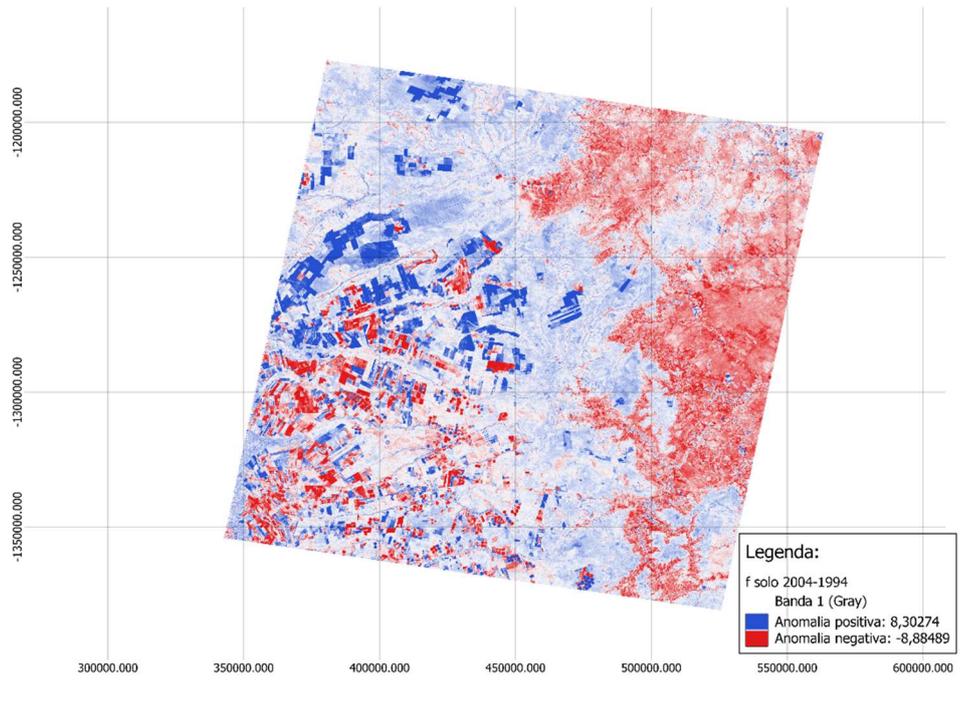
Com base na seleção da classe de solo como foco para detectar mudanças, os valores máximos e as anomalias positivas indicam áreas onde houve aumento de solo exposto, ou seja, a criação de novas áreas agrícolas ou pastagens. Por outro lado, as anomalias negativas indicam a diminuição do solo exposto e aumento da vegetação, geralmente relacionado a áreas agrícolas com maior irrigação ou culturas mais desenvolvidas.

Os valores máximos e as anomalias positivas foram pintados de azul, os valores mínimos e anomalias negativas foram pintados de vermelho e os valores da média foram pintados de branco conforme tabela 7.

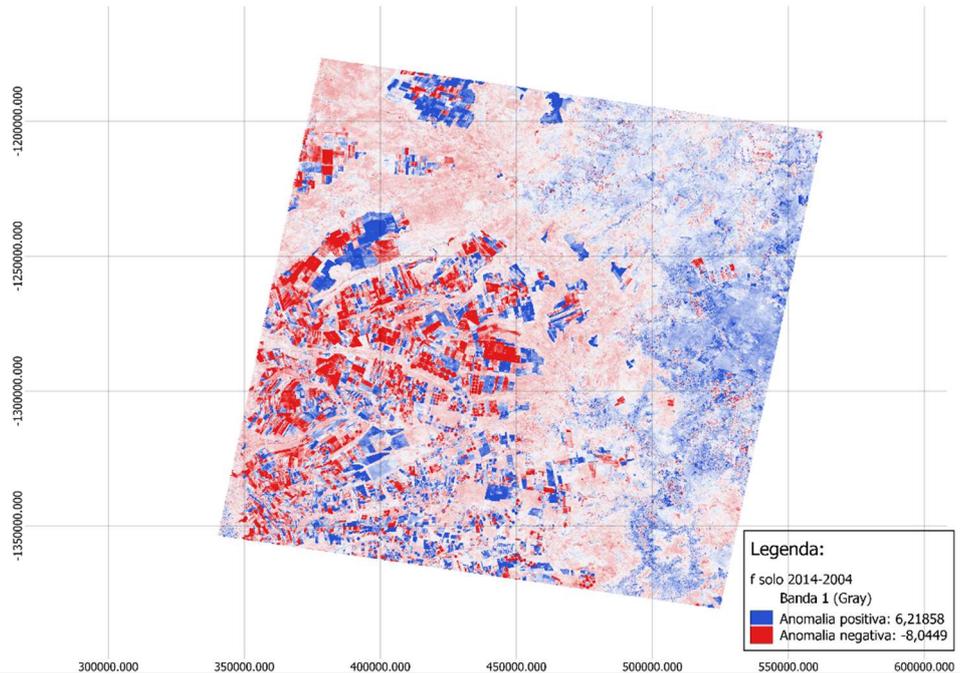
Tabela 9. Coloração das imagens conforme os resultados das anomalias positivas e negativas

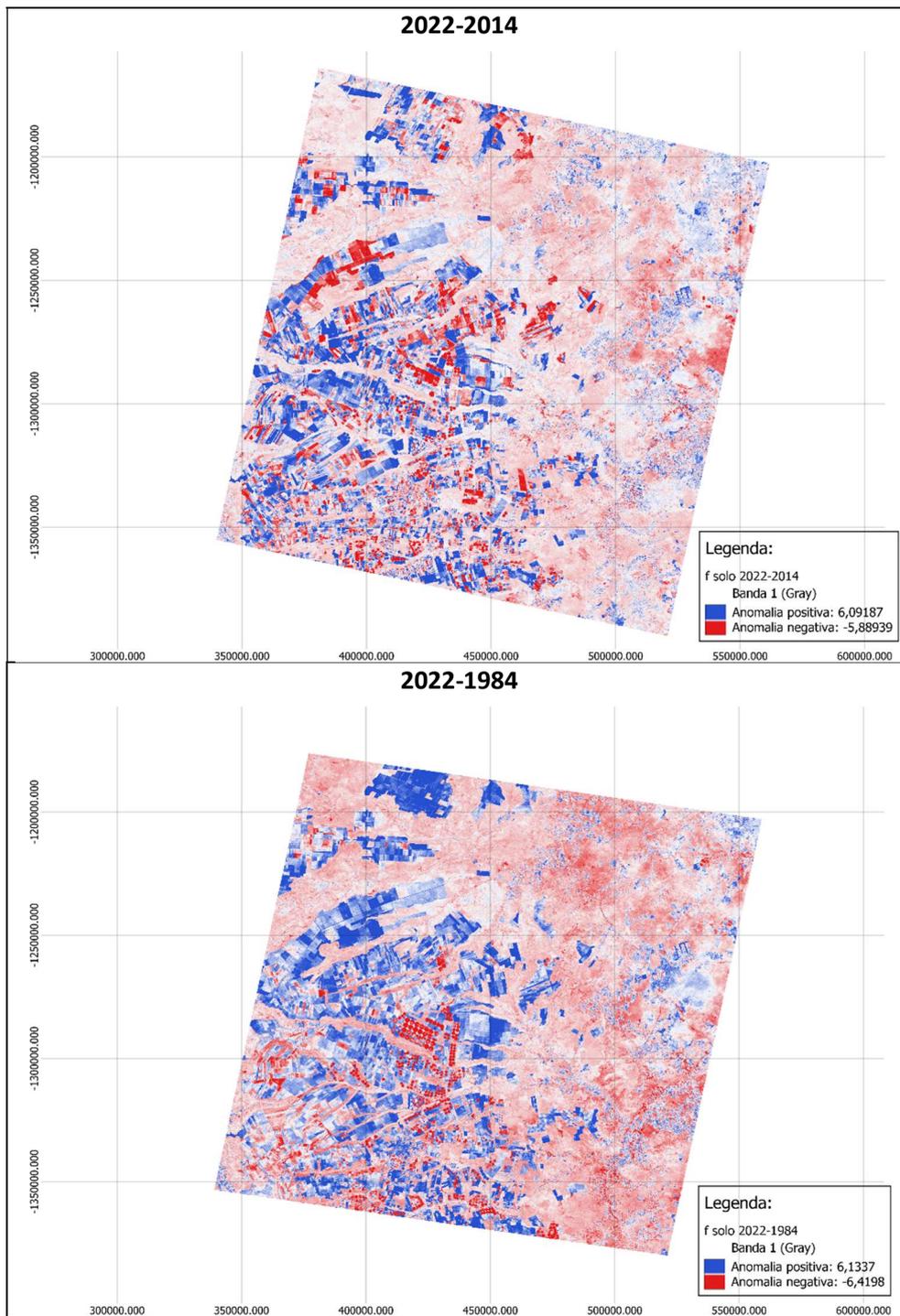


2004-1994



2014-2004





Fonte: elaborado pela autora

As imagens da tabela 9 mostram o crescimento da área de solo exposto, representado pela cor azul e de áreas de vegetação, representada pela cor vermelha, a cada dez anos. As áreas de plantio irrigadas são representadas pelas áreas com um tom mais forte de vermelho, porém, a delimitação dos valores ainda está misturada com áreas antigas por conta de algumas mudanças sazonais e com outros tipos de mudanças. Sendo assim, foi feita outra restrição de 4 limiares, conforme tabela 10.

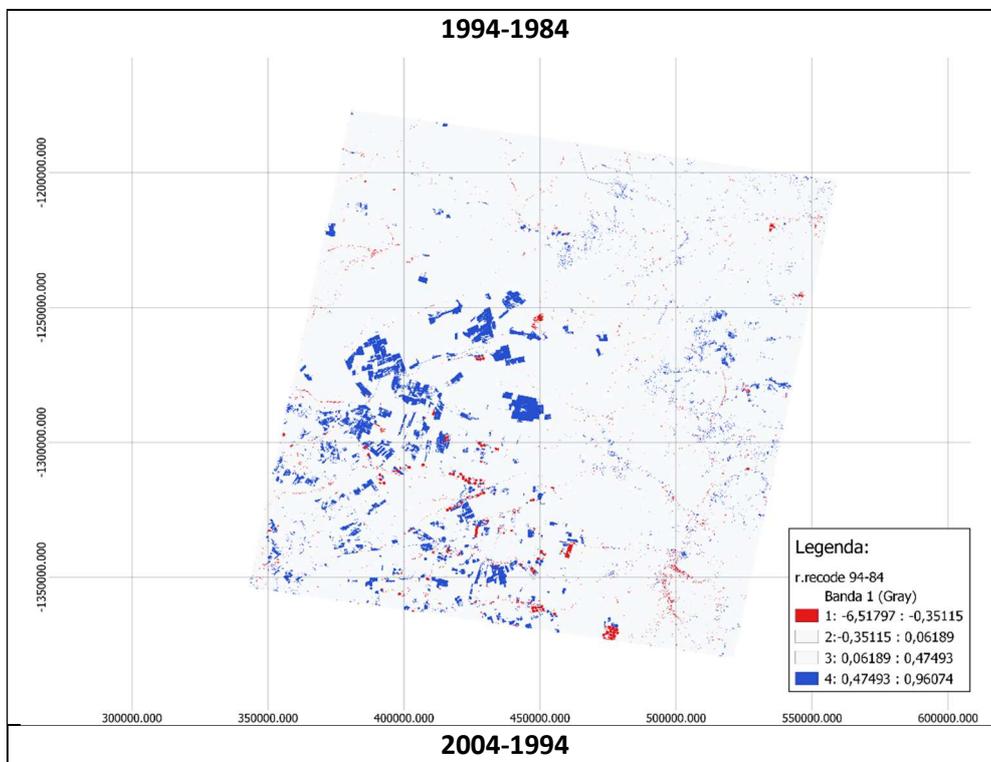
Tabela 10. Descrição dos Limiares Definidos para Coloração

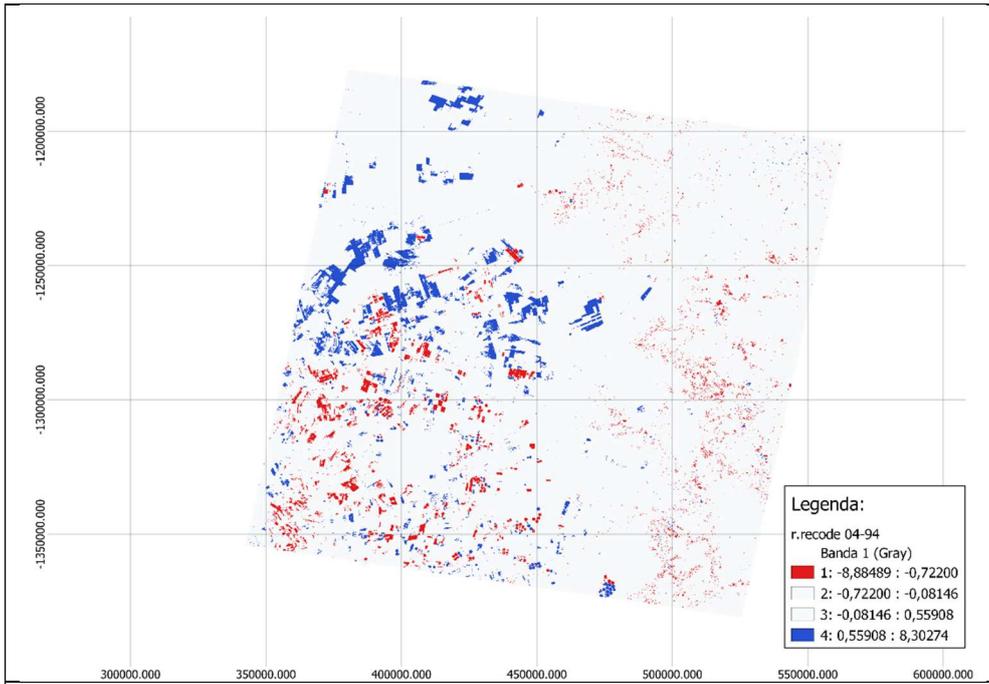
1 - Valor mínimo: anomalia negativa
2- Anomalia negativa: média
3 - Média: anomalia positiva
4 – Anomalia positiva: valor máximo

Fonte: Elaborada pelos autores.

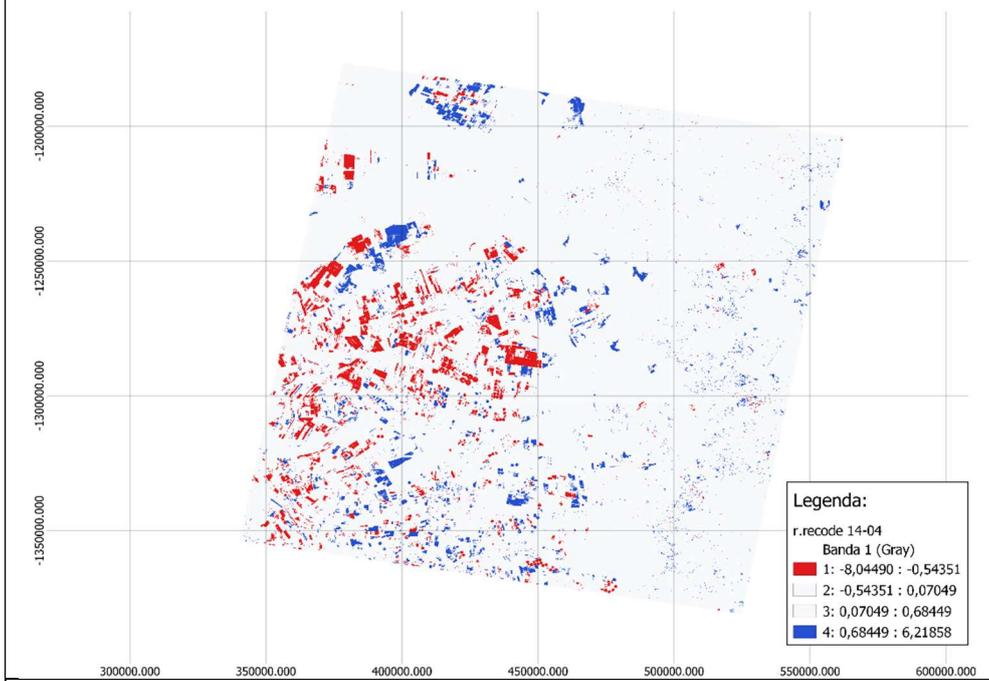
Os limiares ajudam a restringir ainda mais os valores e as mudanças observadas de modo que apareçam as principais mudanças positivas e negativas, ou seja, o aumento do uso do solo com objetivo da agropecuária. É possível comparar visualmente a reclassificação conforme a tabela 11, porém para comparar os valores concretos da área analisada, foi necessário utilizar a ferramenta *reporta camada raster de valor único* que viabilizou a obtenção desse resultado.

Tabela 11. Valores e resultados da delimitação dos limiares.

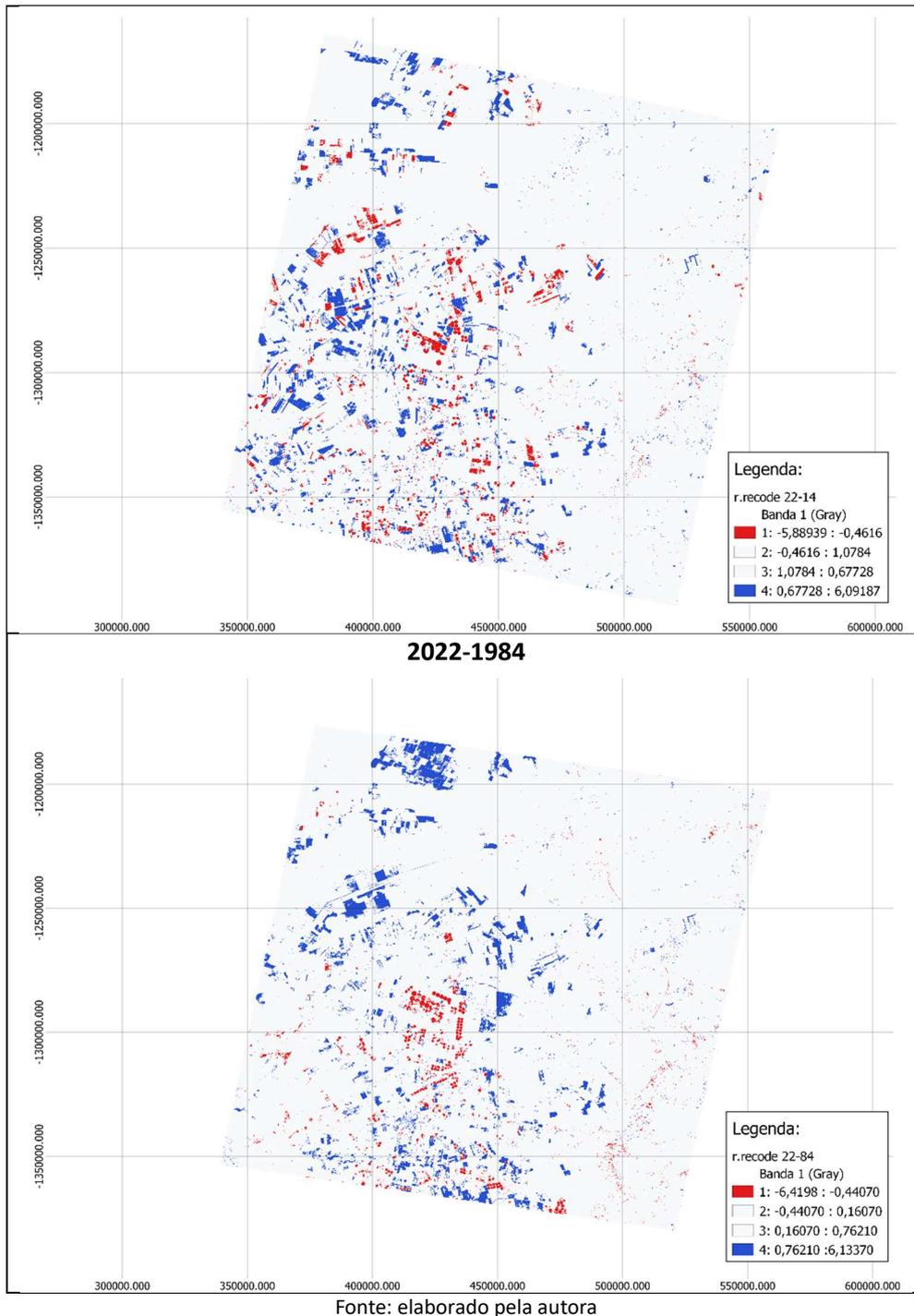




2014-2004



2022-2014



Assim, o processo completo envolveu não apenas a subtração das frações de solo entre as diferentes imagens, mas também a análise das variações por meio das estatísticas, culminando na produção de uma imagem que destacou claramente as mudanças ocorridas ao evidenciar as mudanças no local num período de aproximadamente 10 anos com uma paleta de cores específica, azul e vermelho.

É possível notar que as áreas de mudança se assemelham ao longo do tempo, indicando que esse método não identifica apenas as áreas específicas de crescimento na agropecuária, mas também abrange mudanças na cultura, no uso da terra, na irrigação e no clima, já que algumas

das imagens são representadas por meses e estações diferentes. Portanto, áreas antigas são consideradas quando ocorre alguma dessas alterações. A detecção de mudanças entre as cenas de 2022 e 1984 fornece um resultado mais concreto, que representa com mais exatidão as alterações ocorridas nas imagens ao longo do período de 38 anos.

Com o auxílio da tabela 12, torna-se evidente que as áreas onde as mudanças ocorreram são levadas em consideração, e não se restringem apenas às áreas de plantio ou criação de gado que foram adicionadas durante o período de análise. A área de crescimento de áreas com solo exposto como de pasto e de cultivo sem irrigação entre 2022 e 1984 é de 165.000 hectares, enquanto a áreas com irrigação intensa representam 24,576 hectares, porém não é possível comparar essa expansão entre as 5 camadas.

Tabela 12. Tamanho das áreas de anomalia negativa e positiva em ha

Camada	Área	Valor (ha)
1994-	Área da anomalia negativa	26.150,85
1984	área da anomalia positiva	158.382,18
2004-	área da anomalia negativa	86.101,29
1994	área da anomalia positiva	125.311,5
2014-	área da anomalia negativa	133.830,5
2004	área da anomalia positiva	116.308,9
2022-	área da anomalia negativa	81.821,25
2014	área da anomalia positiva	183.993,9
2022-	área da anomalia negativa	42.576,57
2084	área da anomalia positiva	165.354,6

Fonte: elaborado pela autora

Isto posto, a abordagem de subtração das imagens pode sofrer diversas influências de fatores como variações sazonais ou até mesmo variações no modo de manejo sobre determinados alvos, assim, há a necessidade de uma análise mais robusta, que neutralize essas influências de modo que apenas a extensão da área de estudo seja captada.

6. CONCLUSÃO

Ao considerar as mudanças na paisagem observadas na expansão da região do oeste baiano, este trabalho teve como objetivo testar a metodologia para entender como se deu o crescimento dessas áreas e identificar as alterações do uso do solo na região mediante as análises de séries temporais do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Para a obtenção dos resultados, realizou-se as etapas de aquisição das imagens, de pré-processamento e de processamento, que englobou também a detecção de mudanças.

Com a aplicação do MLME, os resultados obtidos permitiram uma melhor visualização das áreas, nas cenas de fração solo exposto, que facilitou a comparação dos períodos com mudanças mais significativas. Para a detecção de mudanças, os resultados do MLME foram subtraídos do ano mais recente pelo ano mais antigo. No período de 2014 a 2022, observou-se um aumento nas áreas de solo exposto, atribuído à seca em regiões que anteriormente eram caracterizadas pela perda da fração de solo. Essa explicação também ajuda a compreender o aumento na representação das anomalias negativas, no período entre 2004 e 2014, que posteriormente foram identificados como alterações, se comparado às anomalias positivas nos períodos seguintes.

O método de classificação baseada nos dados espectrais obtidos mostrou-se eficaz na visualização de mudanças de cada classe e na comparação entre um ano inicial e um ano final, como no caso apresentado, onde os anos de 2022 e 1984 foram analisados. No entanto, ao realizar comparações entre as 5 imagens, com um intervalo de 10 anos entre cada uma, surge uma confusão entre as mudanças e a expansão que ocorreram na área, resultando na ausência de dados concretos para comparação.

Constata-se que a metodologia realizada pode ser utilizada para determinar as classes de uso do solo, das mudanças ocasionadas pela sazonalidade e pelo tipo de manejo do local, além de ser útil para um direcionamento no estudo de campo, porém não viabiliza a análise temporal comparativa entre os valores das áreas de expansão entre os resultados dos diversos períodos de tempo. É interessante que outras metodologias sejam testadas para a obtenção do resultado adequado às análises multitemporais de uso do solo, sem que haja confusão entre expansão e fatores externos, para que posteriormente sejam feitas análises dos impactos ambientais, sociais e econômicos existentes na região.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM JUNIOR, V.; LIMA, O. A. L. DE. Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas - BA usando resistividade e polarização elétrica induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 117–129, jun. 2007.

BATISTELLA, M. et al. **Monitoramento da expansão agropecuária na Região Oeste da Bahia**. 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/16804>>. Acesso em: 19 mai.2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 02 jun.2023

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Reimpressão em 2022. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1901009/mod_folder/content/0/1_Capa_Indice_Introducao.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CUNHA, N. R. DA S. et al. **A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 46, p. 291–323, jun. 2008.

DE CASTRO, K. B. et al. **Caracterização Geomorfológica do Município de Luís Eduardo Magalhães, Oeste Baiano**, Escala 1:100.000, 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/891209/caracterizacao-geomorfologica-do-municipio-de-luis-eduardo-magalhaes-oeste-baiano-escala-1100000>>. Acesso em: 10 mai.2023.

EMBRAPA. **Portal CAR**, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/car-2018/resultados>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

EMBRAPA. Resultados - Portal Embrapa, 2021. Acesso em 25 de agosto de 2023. <https://www.embrapa.br/car-2021/resultados>.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em Agricultura**. [s.l.] Oficina de Textos, 2017.

IBGE. **Produção agrícola municipal: cereais, leguminosas e oleaginosas : 2007 / IBGE, Coordenação de Agropecuária**. -. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=239180>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

IPAM, W. **Desmatamento do Cerrado sobe 88% na Bahia e no Piauí em janeiro**. Disponível em: <<https://ipam.org.br/desmatamento-do-cerrado-sobe-88-na-bahia-e-no-piaui/>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

INPE. **LANDSAT**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

MENESES, P.; ALMEIDA, T. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. [s.l: s.n.].

WECKMÜLLER, Rômulo; VICENS, Raúl Sánchez. **Correção de distorções geométricas e radiométricas de imagens RapidEye para detecção de mudanças**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 8, 2015.