



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E  
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA

**USO DE MÚLTIPLOS SENSORES PARA DETECÇÃO DE BORDAS NA UNIDADE  
DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA-PE**

Recife  
2020

RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA

**USO DE MÚLTIPLOS SENSORES PARA DETECÇÃO DE BORDAS NA UNIDADE  
DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

**Área de concentração:** Cartografia e Sistema de Geoinformação.

**Orientador:** Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Jr.

Recife

2020



RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA

**USO DE MÚLTIPLOS SENSORES PARA DETECÇÃO DE BORDAS NA UNIDADE  
DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: 11/02/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Jr. (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Gérsica Moraes Nogueira da Silva (Examinadora Externa)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano

“Dedico este trabalho a todos que me acompanharam nessa jornada, e especial à minha mãe. Para ela, todo amor e gratidão”.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, eterna gratidão por todas as oportunidades proporcionadas e os caminhos traçados em minha vida.

À minha família, pelo apoio e compreensão em especial para minha mãe, Roseane Cavalcanti da Silva, por ser minha base para a realização dos meus objetivos.

Aos meus amigos, Edson, Keila, Sheila, Lício, Thyago, Joaquim, Raylane, Jéssica, Shirlei, Anderson e Adriana, que sempre estão e se fazem presentes em todos os momentos. E do meu amigo, companheiro e namorado Rafael Felipe, que sempre me apoia e me estimula a ser melhor.

À José Armando Torres Moreno, por todo apoio, experiência e o incentivo fornecido ao longo dos anos.

A equipe da Aeroespacial, pelo aprendizado, crescimento profissional e conhecimento adquirido neste período. Assim como, por disponibilizar os insumos necessários para a composição deste trabalho como a Ortofoto e seu respectivo relatório de calibração.

À Caarem Denise Silva Studzinski, por compartilhar seu conhecimento e sua experiência. Destacando a exigência e excelência em tudo o que se propõe a fazer.

À todos os professores que integraram a banca, sejam na fase inicial do projeto, como na qualificação e na defesa final, todos contribuíram de forma significativa para melhorias deste trabalho. Em especial a professora Dra. Gérsica Moraes Nogueira da Silva, por compartilhar seu conhecimento, disponibilidade e relevantes informações e ideias para enriquecer o trabalho.

E por fim, não menos importante, à Professora Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias, por toda sua contribuição, incentivo e disponibilidade ao longo dos anos. Pela sua contribuição, competência, excelência e generosidade, em compartilhar o conhecimento e fomento para o crescimento não apenas deste trabalho, como também profissional e pessoal.

## RESUMO

Um ambiente é um meio em constante transformação que está sujeita a atuação de diferentes agentes que intensificam o processo modificatório. O isolamento destas áreas, a partir da criação de Unidades de Conservação (UC) é uma forma de preservar e restaurar as riquezas ambientais ali existentes. A primeira UC implantada no Estado de Pernambuco foi o Parque Estadual Mata da Pimenteira, localizada no município de Serra Talhada. Embora apresente um amplo acervo biológico, cartograficamente não apresenta demarcações físicas como marcos e estacas. A carência de recursos econômicos, tecnológicos e operacionais, é um fator que dificulta na gestão e no monitoramento contínuo desta UC. O Sensoriamento Remoto (SR) e as técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) são ferramentas que servem como parâmetros para a extração de informações que compõem diferentes estudos. O crescente uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para obtenção de produtos cartográficos a partir de imagens de alta resolução vem sendo usado cada vez mais. Entretanto, ter acesso a esse recurso é dificultoso, seja por questões econômicas ou de acesso na região. Assim, o uso de plataformas livres e amplamente difundidas como a do Google Earth (GE), se torna uma alternativa. Desta forma, a partir das imagens multifontes e com as ferramentas do SR e PDI, os elementos contidos nas cenas são detectados, através da redução da correlação entre as bandas espectrais, das combinações entre as bandas e minimização dos efeitos ruidosos para realce das bordas. Considerando as seguintes metodologias: (i) uso da técnica de análise de componente principal (ACP) (ii) Aplicação do índice de vegetação (IV) de reflectância fotoquímica modificado (MPRI) e variável atmosférica resistente (VARI) (iii) detecção das bordas de cada banda espectral (R – G – B) nas múltiplas plataformas (iv) aplicação do filtro de Sobel sobre as imagens resultantes dos processamentos considerados. Os resultados destacam que a detecção de bordas nas imagens de alta resolução apresenta bom desempenho apenas com efeito do operador de Sobel. O agrupamento entre os níveis de cinza foi mais rápido nas imagens do GE com valores baixos para a similaridade e a área. Na ACP os dados usados na Ortofoto para os parâmetros foram: 150 e 150; 50 e 50; 40 e 40 que correspondem a ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente. E 70 e 70; 20 e 20; 20 e 20 para ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente nas imagens do GE. Nos IV foram: 40 e 40; 20 e 20; que

representam o IV MPRI das imagens da Ortofoto e do GE, respectivamente. Para o VARI, 20 e 20; 20 e 20, que estão relacionados as cenas da Ortofoto e do GE, respectivamente. No RGB foi: 90 e 90; 70 e 70; 50 e 50, respectivamente, para a Ortofoto e no GE foram de: 40 e 40; 5 e 5; 5 e 5, respectivamente. A classificação resultou em arquivos vetoriais e mapas temáticos provenientes da etapa da segmentação, destacando o GE como representação de todas as feições.

Palavras-chave: Parque Estadual Mata da Pimenteira. Múltiplos sensores. Análise de Componentes Principais. Índices de Vegetação. Segmentação. Filtro de Sobel.

## ABSTRACT

An environment is a constantly changing ecosystem that is subject to the action of different agents that intensify the modification process. The isolation of these areas, since the creation of Conservation Units (UC), be they at the federal, state or municipal level, is a way to preserve and restore the environmental wealth that exists there. The first UC established in the state of Pernambuco was the Mata da Pimenteira State Park, located in the municipality of Serra Talhada. This UC, although it has a large biological variety, faces strong human pressure influenced by the local community, and with urban and infrastructure growth in its proximity. The lack of economic, technological and operational resources is a factor that contributes to the difficulty in the management and continuous monitoring of external agents that impact this UC. Thus, the use of free and widespread platforms such as Google Earth (GE) and the increasing use of remotely piloted aircraft (RPA) to obtain high resolution images, has been an alternative and proposed for application, due to its use in different studies. The objective of the work is the detection of edges in the multi-source images of the UC Parque Estadual Mata da Pimenteira. The tools considered work by reducing the existing correlation between the spectral bands, detecting the edges from algebraic combinations between the bands, reducing the noise effects and enhancing the edges. For this, the following methodologies were adopted: (i) use of the principal component analysis technique (ACP) (ii) Application of the vegetation index (IV) of modified photochemical reflectance (MPRI) and resistant atmospheric variable (VARI) (iii) detection of the edges of each spectral band (R - G - B) in the multiple platforms (iv) application of the Sobel filter on the images resulting from the considered processing. The results highlight that the detection of edges in high resolution images presents good performance only with the effect of the Sobel operator. The grouping between the gray levels was faster in the GE images, with low values for similarity and area. In the ACP, the data used in Ortofoto for the parameters were: 150 and 150; 50 and 50; 40 and 40 corresponding to ACP1, ACP2 and ACP3, respectively. And 70 and 70; 20 and 20; 20 and 20 for ACP1, ACP2 and ACP3, respectively in the GE images. In IV, they were: 40 and 40; 20 and 20; that represent the IV MPRI of Ortofoto and GE images, respectively. For VARI, 20 and 20; 20 and 20, which are related to the Ortofoto and GE scenes, respectively. NO R-G-B was: 90 and 90; 70 and 70; 50 and 50, respectively, for

Ortofoto and GE were: 40 and 40; 5 and 5; 5 and 5, respectively. The classification resulted in vector files and thematic maps from the segmentation stage, highlighting the GE as a representation of all features.

Keywords: Mata da Pimenteira State Park. Multiple sensors. Principal component analysis. Vegetation indices. Segmentation. Sobel filter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Imagem disponibilizada pela plataforma Google Earth. (a) e (c) destaca o Quickbird e em (b) e (d) Landsat.....	25
Figura 2 –	Processo de geração e correção de Ortofoto.....	26
Figura 3 –	Método de segmentação por crescimento de regiões .....	33
Figura 4 –	Localização da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira e sua posição geográfica em relação a zona urbana e as instituições de ensino federal pertencentes ao município de Serra Talhada-PE.....	37
Figura 5 –	(a) Aspecto do Relevo e em (b) Vegetação característica da Região.....	38
Figura 6 –	Zoneamento da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.....	39
Figura 7 –	Metodologia adotada para obtenção de bordas.....	41
Figura 8 –	Cenas usadas para a formação da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira .....	42
Figura 9 –	(a) representação da Ortofoto considerada para estudo (b) imagem do Google Earth que corresponde a área da pesquisa e estão datadas em 29/11/2014.....	43
Figura 10 –	Esquematização dos procedimentos realizados com o uso da ACP e do Filtro de Sobel.....	44
Figura 11 –	Procedimentos realizados com o uso dos Índices Físicos e do Filtro de Sobel.....	45
Figura 12 –	Esquematização dos procedimentos realizados a partir das imagens originais do Google Earth e da Ortofoto e as técnicas de processamento digital para detecção de bordas.....	46

Figura 13 –	Em (a) e (b) extensas áreas que sofrem com a queima da vegetação nativa; (c) os vestígios da vegetação queimada sendo recolhido para exploração e (d) exemplos de moradias encontradas no entorno da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.....	48
Figura 14 –	Imagens de saída da ACP com o filtro de Sobel. Em (a) e (b), imagens ACP1; (c) e (d), ACP2 e (e) e (f), ACP3, todas representando as cenas resultantes da Ortofoto e a do Google Earth, respectivamente.....	49
Figura 15 –	Em (a) e (b) apresentam a imagem ACP1, em (c) e (d) a ACP2 e em (e) e (f) a ACP3, todas representando a imagem monocromática resultante do manuseio do histograma da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.....	51
Figura 16 –	Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (a2) perfil espectral da ACP1 com o filtro de Sobel; (a2) e (b2) perfil espectral da ACP2 com o filtro de Sobel e em (c1) e (c2) perfil espectral da ACP3 com o filtro de Sobel.....	54
Figura 17 –	Em (a) índice físico MPRI representando a imagem da Ortofoto e em (b) MPRI resultante do Google Earth. E em (c) e (d) IV VARI destacando a Ortofoto e o Google Earth, respectivamente.....	59
Figura 18 –	Em (a) e (b) IV MPRI sobre aplicação do filtro de Sobel, e em (c) e (d) índice físico VARI sobre efeito do filtro de Sobel nas imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.....	60
Figura 19 –	Em (a) e (b) IV MPRI sobre aplicação do filtro de Sobel e contraste negativo, e em (c) e (d) índice físico VARI sobre efeito do filtro de Sobel e contraste negativo nas imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.....	62
Figura 20 –	Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da	

	Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (a2) perfil espectral do MPRI; (a2) e (b2) perfil espectral do VARI.....	64
Figura 21 –	Em (a), (c) e (e) bandas espectrais R – G - B da Ortofoto, respectivamente. E em (b), (d) e (f) bandas espectrais R – G - B das imagens do Google Earth.....	67
Figura 22 –	Em (a), (c) e (e) Contraste negativo aplicado sobre as Em (a), (c) e (e) bandas espectrais R – G - B da Ortofoto, respectivamente. E em (b), (d) e (f) bandas espectrais R – G - B das imagens do Google Earth.....	69
Figura 23 –	Em (a), (c) e (e) Contraste negativo aplicado sobre as bandas espectrais resultantes do Filtro de Sobel na Ortofoto. E em (b), (d) e (f) Contraste negativo usado sobre as resultantes do operador de Sobel nas bandas espectrais R-G-B do Google Earth.....	72
Figura 24 –	Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (b1) perfil espectral da banda R com Filtro de Sobel; (a2) e (b2) perfil espectral da banda G com Filtro de Sobel e em (a3) e (b3) perfil espectral da banda B com Filtro de Sobel.....	76
Figura 25 –	Em (a1) e (b1) ACP1 da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (a2) e (b2) Imagens segmentadas da ACP1 com parâmetros 150 e 150 e 70 e 70, respectivamente. Em (c1) e (d1) ACP2 da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (c2) e (d2) com valores do parâmetro de 50 e 50 e 20 e 20, respectivamente. E em (e1) e (f1) ACP3 da Ortofoto e do Google Earth, com respectivas imagens segmentadas. E (e2) e (f2) os valores para a similaridade e área de 40 e 40 e 20 e 20, respectivamente.....	81
Figura 26 –	Em (a1) e (b1) IV MPRI da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E em (a2) e (b2) suas respectivas imagens	

	segmentadas do IV MPRI com parâmetros de similaridade e área de 40 e 40 e 20 e 20, respectivamente. Em (c1) e (d1) IV VARI da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (c2) e (d2) suas respectivas segmentações com valores de 20 e 20 e 20 e 20, para a similaridade e a área.....	84
Figura 27 –	Em (a1) e (b1) Filtro de Sobel aplicado na banda R da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (a2) e (b2) suas respectivas imagens segmentadas com parâmetros de similaridade e área de 90 e 90 e 40 e 40, respectivamente. Em (c1) e (d1) Filtro de Sobel aplicado na banda G da imagem aérea e orbital. E (c2) e (d2) suas respectivas imagens segmentadas com 70 e 70 e 5 e 5, respectivamente, para cada plataforma. Em (e1) e (f1) Filtro de Sobel aplicado na banda B da imagem da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (e2) e (f2) imagem segmentada de cada plataforma com valores de 50 e 50 e 5 e 5, respectivamente.....	88
Figura 28 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP1, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	89
Figura 29 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP2, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	90
Figura 30 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP3, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e	

	Google Earth, respectivamente.....	92
Figura 31 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) IV MPRI, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	93
Figura 32 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) IV VARI, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	95
Figura 33 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) Banda Espectral R, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	96
Figura 34 –	Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) Banda Espectral G, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.....	97

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1 –	Exemplos de Índices de Vegetação com arranjos na faixa do visível.....	31
------------	--	----

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 –	Perfil espectral da ACP1 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a1 e b1. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	55
Gráfico 2 –	Perfil espectral da ACP2 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	56
Gráfico 3 –	Perfil espectral da ACP3 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a3 e b3. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	57
Gráfico 4 –	Perfil espectral do IV MPRI com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 20a1 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	65
Gráfico 5 –	Perfil espectral do IV VARI com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 20a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	66
Gráfico 6 –	Perfil espectral da banda espectral R com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a1 e b1. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	73
Gráfico 7 –	Perfil espectral da banda espectral G com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	74
Gráfico 8 –	Perfil espectral da banda espectral B com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APC	ANÁLISE DE PRINCIPAIS COMPONENTES
APP	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
GE	GOOGLE EARTH
GSD	GROUND SAMPLE DISTANCE
IPA	INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO
INCRA	INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA
INPE	INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
IV	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO
MM	MORFOLOGIA MATEMÁTICA
MPRI	ÍNDICE DE REFLECTÂNCIA FOTOQUÍMICA MODIFICADO
PDI	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM
RL	RESERVA LEGAL
RPA	AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA
SPRING	SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
SR	SETOR DE RESTAURAÇÃO
UC	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
VARI	ÍNDICE VARIÁVEL ATMOSFÉRICA RESISTENTE
ZA	ZONA DE AMORTECIMENTO
ZAN	ZONA DE AMBIENTE NATURAL
ZUA	ZONA DE USO ANTRÓPICO

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	23
1.1.1 Objetivo geral .....	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>24</b>
2.1 GOOGLE EARTH.....	24
2.2 ORTOFOTO .....	25
2.3 MORFOLOGIA MATEMÁTICA E OUTRAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM PARA DETECÇÃO DE BORDAS .....	27
2.4 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	28
2.5 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	29
2.5.1 índice de reflectância fotoquímica modificado - MPRI.....	31
2.5.2 índice variável atmosférica resistente - VARI .....	32
2.6 SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM .....	33
2.7 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM .....	34
2.8 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO .....	35
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.2 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO E ZONEAMENTO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA.....	38
3.3 METODOLOGIA.....	40
3.3.1 Uso de geotecnologias no processamento digital de imagem: Google Earth e Ortofoto.....	41
3.3.2 Análise de componentes principais .....	43
3.3.3 Índices de vegetação .....	44
3.3.4 Análises das bandas espectrais para as plataformas aérea e orbital .....	46
3.3.5 Segmentação de imagem .....	47
3.3.6 Classificação de imagem.....	47
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>47</b>
4.1 ANÁLISES DE PRINCIPAIS COMPONENTES.....	49
4.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	58
4.3 DETECÇÃO DE BORDAS NAS BANDAS ESPECTRAIS INDIVIDUAIS DA ORTOFOTO E DO GOOGLE EARTH.....	66
4.4 SEGMENTAÇÃO .....	75
4.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM .....	87
<b>5 CONCLUSÕES RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma paisagem é formada por um complexo conjunto de variáveis que sofrem constantes alterações no espaço que a constitui. Nos estudos ambientais a coleta destas informações é um fator importante para o acompanhamento das transformações, visto que são modificações que ocorrem de forma rápida e que trazem, muitas vezes, danos ao ambiente.

O uso de fontes como o Sensoriamento Remoto (SR) e às técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) viabilizam a aquisição dos dados, uma vez que sua extração é tida de forma rápida e eficiente, com ferramentas que podem ser aplicadas em diferentes plataformas orbitais e aéreas. Com o advento da aeronave remotamente pilotada (RPA) e a sua crescente aplicação em diferentes estudos, dentre eles o monitoramento ambiental, a obtenção de produtos cartográficos gerados a partir da imagem de alta resolução se torna uma realidade cada vez mais frequente.

O uso de Ortofotos permitem maiores condições de resoluções espectrais e geométricas. Essas imagens são resultados de levantamentos aerofotogramétricos que apresenta um sistema de imageamento embarcado (OLIVEIRA, 2013). Nele cada pixel é corrigido conforme a variação do relevo e a orientação do sensor. Sua projeção é ortogonal e a escala de representação uniforme em todo seu recobrimento (NASCIMENTO et al, 2010). Para a Ortofoto considerada o GSD (*Ground Sample Distance*) foi de 50 cm e a escala de 1:5.000.

No entanto, em regiões de difícil acesso e com baixo recurso financeiro, tecnológico e operacional, dispor de outras ferramentas livre, gratuita e de amplo conhecimento se torna uma alternativa a ser considerada. Desta forma, a plataforma orbital do Google Earth é um instrumento que serve de apoio e aplicação, pois apresenta uma grande publicidade e alcance.

Esta plataforma faz uso de um modelo tridimensional representativo chamado de Globo virtual. Nele ocorrem simulações da representação da Terra, a partir de uma Projeção Perspectiva Geral. Suas imagens correspondem a um mosaico com diferentes resoluções espaciais, pois são formados a partir de distintos sistemas orbitais, isto é, Landsat, Quickbird, Ikonos e Spot, além de contar com

fotografia aérea. Apresentando na maioria dos locais uma resolução espacial de 15 metros (PRINA et al., 2011) e escala de 1:75.000.

Nessas imagens multifontes, as técnicas do SR e PDI serão usadas. Os filtros morfológicos são alternativas propostas pelas técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) para a detecção de bordas. Nelas as cenas são realçadas, os objetos se tornam nítidos e assim os alvos contidos nas cenas capturadas pelos sensores são delimitados (MENESES & ALMEIDA, 2012). Dentre os vários filtros não-lineares existentes o de Sobel é um exemplo que pode ser utilizado para fins de detecção de bordas.

O operador de Sobel atua reduzindo a sensibilidade quanto aos efeitos dos ruídos sobre a imagem (DIAS et al., 2011). Nele o contorno é determinado a partir da descontinuidade entre os níveis de coloração da cena (FILHO, 2007). Sendo úteis na definição de bordas dos lugares com intensa massa de vegetação (PRINA, 2011).

Para a detecção de bordas, além do filtro de Sobel metodologias foram consideradas como o uso das Técnicas de Análise de Principais Componentes (APC), os Índices de Vegetação (IV), sendo contemplados os Índices: de Reflectância Fotoquímica Modificado (MPRI) e o de Variável Atmosférica Resistente (VARI) e a Detecção de Bordas nas Bandas Espectrais individuais da Ortofoto e do Google Earth.

A APC é uma ferramenta que atua reduzindo as altas correlações espectrais entre as bandas e retirando as informações redundantes. Sendo comumente aplicado em estudos que apresentam regiões constituídas por feições com similaridade quanto a faixa espectral, causando dependência e correlações. Seu emprego se dá no monitoramento das mudanças em região semiárida (SWAINE; GREIG-SMITH, 2014).

Por sua vez, os índices físicos MPRI e o VARI estabelecem as correlações com os parâmetros biofísicos, distinguindo as possíveis mudanças na luz e condições ambientais no campo a partir das combinações das bandas espectrais. O IV MPRI resulta em imagens monocromáticas que realçam as regiões de vegetação fotossintenticamente ativa, enquanto o IV VARI as áreas de solo que estão com déficit de nutrientes.

O uso de índice de vegetação é um processo que vem sendo empregado por oferecer rápidas respostas na detecção de áreas de cobertura verde, biomassa e

lacuna de áreas degradadas, estando associados ao baixo custo de operação e processamento (PONTI, 2015). Esses IVs são frequentemente associados em estudos com uso de imagens na região do visível, como exemplo, a agricultura de precisão. E as imagens resultantes apresentam semelhança às cenas obtidas pelo uso de IV na faixa do infravermelho.

A área considerada para estudo foi o Parque Estadual Mata da Pimenteira, localizada no município de Serra Talhada, no Estado de Pernambuco, e instituído no Decreto nº 37.823, de janeiro de 2012 pelo Governo Estadual de Pernambuco como Unidade de Conservação (UC). Este Parque Estadual foi à primeira UC instaurada no Estado de Pernambuco, representando um sinônimo de preservação e restauração de um ambiente que se encontra envolvido entre dois meios, a heterogeneidade biológica e o antrópico.

Embora apresente um potencial ecossistêmico de preservação, esta UC tem uma problemática quanto a sua delimitação física (CPRH, 2013). Sem cercas e marcos definidos, a proteção desta unidade fica a cargo da educação ambiental, seja ela proveniente da conscientização da comunidade local ou incentivada por palestras e movimentos educacionais promovidos pela entidade gestora.

O acesso a esta UC se dá pela Rodovia Federal BR-232, no entanto, observa-se que no entorno do Parque Estadual, assim como no seu interior a presença de estradas vicinais. Essas estradas vicinais são portas de entrada e saída dos habitantes locais, da entidade fiscalizadora, assim como das instituições de ensino para o desenvolvimento de pesquisas e estudos no interior desta unidade ambiental. Mas, também servem de passagem para o processo extrativista da vegetação nativa que ali se encontra.

Na região de entorno do Parque Estadual Mata da Pimenteira é encontrado o Açude Saco. Esta bacia hidrográfica contém espécies de Caatinga ao seu redor e dispõe de pequenas áreas de plantio sequeiro em suas margens. Sendo a irrigação e a pesca seu principal uso (CPRH, 2013). Este Açude é usufruído pelos moradores locais que exercem atividades nesta área.

Assim, a detecção de bordas desta bacia hidrográfica e da estrada vicinal serve como parâmetros para estudos posteriores, como na análise de extensão das vias frutíferas ou não da retirada de vegetação, o consequente aumento do solo exposto seja por vias naturais ou por influência antrópica e o comprimento dessa bacia hidrográfica em diferentes épocas.

A metodologia estabelecida para essa pesquisa é passível de ser reproduzida por entidades acadêmicas e por gestores ambientais que apresentam interesse em acompanhar as mudanças transcorridas no ambiente. Considerando o uso de imagens de média e alta resolução, provenientes de plataformas que apresentam ampla cobertura e disponibilidade espaço-temporal, como a do Google Earth, e as adquiridas remotamente, com aplicação em diferentes estudos de monitoramento ambiental.

Com o uso dessas multifontes, processadas em softwares livres de geoprocessamento e informação geográfica, SPRING e o Quantum GIS, a detecção dos elementos contidos na cena, podem compor a base cadastral, temática e espacial dessa região que contempla a unidade ambiental. Sendo útil para atualizar o acervo técnico e os mapas temáticos, que juntos enriquecem o setor cartográfico desta UC.

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

O principal objetivo da pesquisa é usar os múltiplos sensores para detectar as bordas da Unidade de Conservação do Parque Estadual Mata da Pimenteira, fazendo uso de softwares livres e técnicas de Processamento Digital de Imagens.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Uso de múltiplos sensores para a detecção de bordas na Unidade de Conservação Parque Estadual Mata da Pimenteira.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Reduzir a autocorrelação entre as bandas espectrais a partir da Técnica de Principal Componente;
- Gerar os índices de vegetação (MPRI e VARI) e detectar as bordas das multifontes;
- Detectar as bordas em cada banda espectral (R – G – B) nas múltiplas plataformas;
- Analisar as bordas detectadas pelo filtro de Sobel;
- Realizar o agrupamento e formação das classes para a aquisição dos produtos cartográficos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A dissertação apresentada está estruturada da seguinte maneira: o capítulo 2 discorre sobre as plataformas aérea e orbital, as técnicas de processamento digital utilizadas como o operador de Sobel, Segmentação, Classificação de Imagem. Os arranjos matemáticos entre as bandas espectrais para a formação dos índices de vegetação MPRI e VARI e a conceituação de unidades de conservação.

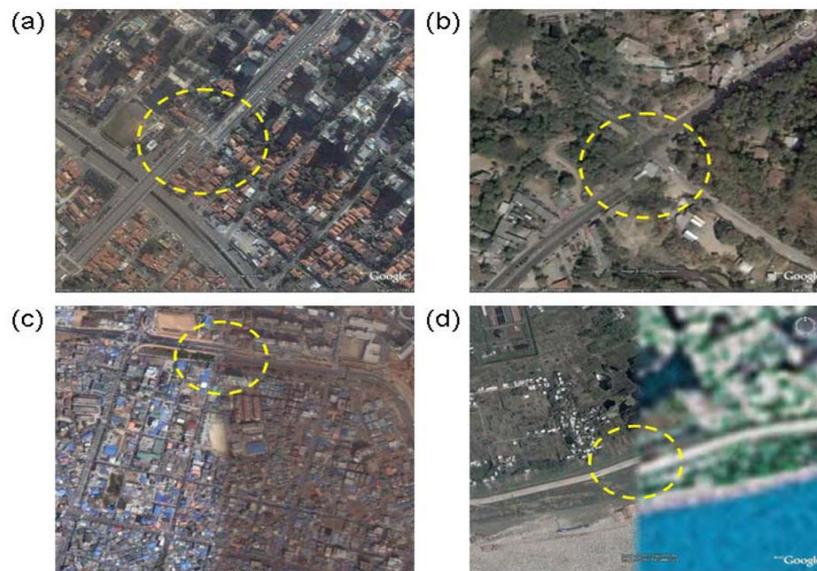
No capítulo 3 segue apresentada a área de estudo e a descrição das metodologias aplicadas. Para o capítulo 4, os resultados obtidos com as técnicas e metodologias consideradas. E no capítulo 5, a conclusão e recomendação da pesquisa apresentada.

### 2.1 GOOGLE EARTH

O Google Earth (GE) é uma plataforma de dados livres, amplamente difundida e utilizada nos diferentes setores, de uso simples, como exemplo, a geolocalização, e de mapas bases que estão disponíveis nas plataformas de sistema de informação geográfica (SIG) e servem de referência para as informações temáticas. Seu lançamento foi em junho de 2005 com a finalidade de demonstrar uma visão tridimensional e mais realista do mundo (BROWN, 2010). Nele a terra é mapeada a partir da superposição das imagens que são provenientes de satélites e fotografias aéreas (CÂMARA et al., 2016).

O GE apresenta uma resolução espacial variável. Na maior parte da representação da Terra a resolução espacial é de 15 metros, no entanto, nas regiões mais centrais da América do Norte e Europa as cenas são de alta resolução com menos de 2,5 metros. Por sua vez, nos oceanos se tem a mais baixa resolução espacial em torno de 500 metros. As imagens de alta resolução são usualmente do satélite Quickbird e as de média do Landsat (BROWN, 2010). Na figura 1, abaixo, apresenta-se as imagens do Quickbird e do Landsat que compõem o mosaico de cenas da plataforma do Google Earth.

Figura 1 – Imagem disponibilizada pela plataforma Google Earth. (a) e (c) destaca o Quickbird e em (b) e (d) Landsat.



Fonte: Potere, D, 2008

A figura 1 acima destaca em amarelo os problemas que podem ser encontrados nas imagens do Google Earth durante a transição entre as imagens. Em relação à resolução temporal do GE, tem que este varia entre seis meses a cinco anos. Dessa forma como as imagens estão disponibilizadas em diferentes períodos de tempo, uma de suas utilidades pode ser no estudo de detecção da mudança de uso do solo (OHRI; YADAV, 2012; JACOBSON et al., 2015). Porém, sua aplicabilidade requer uma validação da precisão, pois nem sempre pode representar as modificações ocorridas na paisagem.

No GE, as imagens estão em geral na faixa do visível, ou seja, R (*red*), G (*green*) e B (*blue*), sendo uma limitação para os estudos que demandam maiores detalhamento sobre o ambiente e que necessitam de outras faixas espectrais para se fazer outras análises. Nesta plataforma está disponível recursos como o modelo detalhado de elevação digital que permite a visualização tridimensional das imagens.

## 2.2 ORTOFOTO

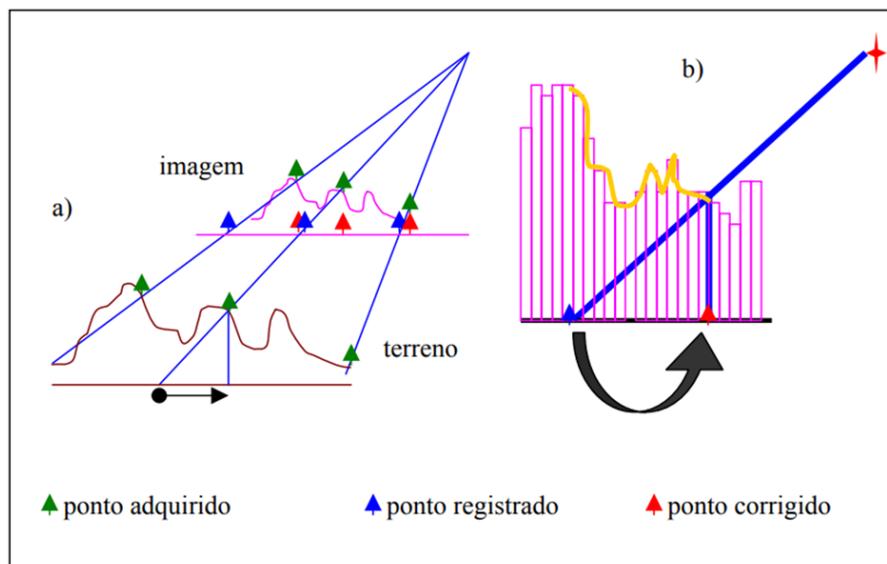
A Ortofoto consiste numa representação cartográfica de uma determinada porção da superfície terrestre que destaca os alvos na sua posição ortográfica. As imagens são geradas a partir de fotografias aéreas que estão em perspectivas onde são conhecidos os parâmetros dos dados da aquisição da imagem e o modelo digital do terreno- MDT (PCI GEOMATICS, 2010).

Nas Ortofotos ocorrem os processos de retificação diferencial a partir de parâmetros de orientação. A ortoretificação é um processo em que ocorre a transformação da projeção baseada na saída da posição central da imagem para uma ortogonal ao plano (HU et al., 2004).

Para isso, ocorre um ajustamento das coordenadas da imagem e do ponto de controle terrestre. A imagem resultante apresenta correções nas distorções causadas pela posição do satélite, superfície física da Terra e pela projeção cartográfica (GRIPP JR, 2009). A qualidade da Ortofoto está relacionada à quantidade e distribuição dos pontos de controle, bem como do modelo escolhido para estudo (PCI GEOMATICS, 2010).

A figura 2, a seguir destaca o processo de correção e geração de uma Ortofoto. Nela se observa a simbologia de um triângulo representado nas cores verde, azul e vermelho, no qual indicam, respectivamente, as informações adquiridas pelo sensor, bem como às registradas e a posição exata de onde os objetos deveriam estar.

Figura 2 - Processo de geração e correção de Ortofoto.



Fonte: Adaptado de GRIPP JR, 2009.

Como observado na figura 2 acima, durante a captura de uma cena, os alvos registrados (azul) ficam numa posição deslocada em relação a sua representação real no terreno. Com a correção desses pontos registrados, a partir da inserção de pontos de apoio e de controle, se obtém os pontos corrigidos (vermelho) que ficam

no posicionamento preciso de sua representação na superfície da terra.

As imagens aéreas resultantes dos processos de levantamento aerofotogramétrico são comumente usadas na delimitação de projetos e planejamentos urbanos, pois apresentam uma resolução geométrica que conseguem extrair e caracterizar as feições.

### 2.3 MORFOLOGIA MATEMÁTICA E OUTRAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM PARA DETECÇÃO DE BORDAS

A morfologia matemática (MM) é uma ferramenta do processamento digital de imagem usada para extração de feições contidas numa cena. A MM é formada por operadores básicos como a erosão, dilatação, anti-erosão e anti-dilatação, mas dispõe de ferramentas como os detectores de bordas e os filtros morfológicos (MEDEIROS et al., 2018). Por outro lado, de acordo com o referido autor, o operador gradiente é determinado a partir de operadores lineares de convolução que são o de Sobel, Prewitt entre outros.

O operador de Sobel faz uso de duas máscaras do tipo 3x3 que estão deslocadas em 90°. Com elas os gradientes da borda que são encontrados ficam na posição vertical e horizontal (DIAS et al., 2011).

As bordas são detectadas a partir das discontinuidades, isto é, mudanças bruscas que ocorrem na intensidade do pixel e que caracterizam os limites do objeto em uma cena (JOSEPH et al., 2015). De acordo com o mesmo autor, este filtro é dito como um operador de diferenciação discreta, pois calcula uma aproximação do gradiente da função de intensidade da imagem e o resultado obtido em cada ponto da imagem corresponde ao vetor gradiente ou a norma desse vetor. Na equação 1 e 2 abaixo destacam-se as máscaras de convoluções utilizadas pelo operador de Sobel.

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (2)$$

Onde,

$G_x$  e  $G_y$  correspondem a duas imagens que em cada ponto contém a aproximação da derivada horizontal e vertical, respectivamente.

A vantagem do uso do operador de Sobel consiste no efeito suavizante ao ruído aleatório presente na imagem que é possível devido à introdução do fator médio, além da sua capacidade em tornar as bordas mais espessa e brilhante, consequência do diferencial entre duas linhas ou duas colunas (GUPTA, 2013).

Assim, a extração das informações contidas em uma imagem, seja através da sua intensidade, mudanças de luminosidade, rugosidade, cor, textura e outras propriedades, promove uma redução no tempo de processamento e um ganho na capacidade de reconhecimentos dos objetos (SORIA, 2018).

A detecção de bordas é baseada em análises locais das variações de sinais das linhas que representam os limites das regiões. Em imagem onde as fisionomias dos alvos estão numa faixa de nível de cinza similar, essa extração nem sempre ocorre de forma corresponde à realidade da área.

Assim, o uso de filtros morfológicos, como o de Sobel, por exemplo, precisa ser complementado com técnicas diferentes, como o uso de ferramentas baseadas nos: Principais Componentes e os Índices de Vegetação. Para a detecção de bordas, faz-se uso dos métodos da segmentação e de classificação de imagens que auxiliam na extração e geração de dados cartográficos. A seguir tem-se descritas, as abordagens que servem de auxílio ao operador de Sobel na detecção de bordas.

## 2.4 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica matemática empregada para reduzir a dimensionalidade dos conjuntos de dados e minimizar as correlações existentes entre as bandas espectrais. Sendo amplamente utilizadas nas áreas de reconhecimento de padrões e processamentos de sinais (ABDI et al., 2010). O objetivo da ACP é detectar as informações significativas, geralmente dependentes e correlacionadas entre si, contidas numa cena e, expressá-las a partir de um novo conjunto de variáveis estabelecidas de forma ortogonais e denominadas de componentes principais (JIANG, 2017).

Para isso, ocorre uma transformação linear que correlaciona os dados das diferentes variáveis contidas no eixo do espaço original, para a formação de um novo sistema de eixos com novas componentes espacializadas e sem correlação (DRAY et al., 2015). As novas componentes criadas conterão informações não correlacionáveis entre si e a quantidade dos dados vai reduzindo da componente 1

para a componente 2, assim sucessivamente, por exemplo, a primeira componente pertencente ao novo eixo formado será denominado de ACP1, a segunda componente ACP2 e assim segue.

A ACP1 consiste na direção de maior variação de todos os dados de entrada e nele haverá uma quantidade maior de elementos que os demais ACP. O segundo, dito como ACP2 é ortogonal e apresenta um remanescente das informações notadas no ACP1. Cada ACP a ser formado tende a absorver um valor menor que a anterior.

Os dados gerados podem ser analisados de forma visual e a partir da estatística multivariada, neste caso serão verificados os autovalores e autovetores das matrizes de variância-covariância ou a matriz de correlação (BALABANOVA et al., 2015). De acordo com o referido autor, o primeiro processo a ser calculado por este método é a matriz de covariância (S) que é possível a partir da soma de todas as bandas de entrada. Assim S é uma matriz simétrica e de dimensões  $k \times k$ , sendo k o número total de bandas de entrada. A equação 3 mostra a matriz de covariância (S) para a determinação de cada elemento.

$$Cov_{k1,k2} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{i,j,k1} - \mu_{k1})(P_{i,j,k2} - \mu_{k2}) \quad (3)$$

Onde,

$k1$  e  $k2$ : são duas entradas de bandas;

$P_{ij}$  : valor do brilho em linha i e coluna j;

$n$  : número de linha;

$m$  : número de coluna;

$\mu$ : média de todos os valores de pixel na banda de entrada subscrita.

Matematicamente, a ACP estabelece relação entre a decomposição de matrizes semi-definidas positivas e a de valor singular de matrizes retangulares (ABDI e WILLIAMS, 2010). Com as informações estatísticas originadas de cada matriz de dados é possível verificar o grau de confiabilidade de cada resultado e detectar as mudanças características da região (SWAINE; GREIG-SMITH, 2014).

## 2.5 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação (IV) são importantes ferramentas no monitoramento

da cobertura vegetal, pois conseguem ressaltar o comportamento espectral da vegetação e permitem distinguir as diferentes fisionomias vegetais (MOREIRA, 2005). Isso ocorre devido à reflectância da luz proveniente do espectro das plantas que mudam conforme o tipo de vegetação, teor de água dentro dos tecidos e outros fatores intrínsecos como as características químicas e morfológicas das folhas (CHANG, 2016).

Os IVs são formados a partir de combinações algébricas de bandas com dois ou mais intervalos espectrais que passam por operações de razão, diferença, soma ou outros arranjos lineares. Onde atuam reduzindo a homogeneidade entre os alvos e realçando a vegetação (SILVA et al., 2012).

Esses arranjos matemáticos tornam os índices físicos com aplicabilidades específicas, como exemplo, na análise de pigmentos foliares, no estudo do estresse das plantas, estresse hídrico, na estrutura bioquímica e na dinâmica e vigor da vegetação (ROBERTS et al, 2011). O que destaca sua capacidade em fornecer informações relevantes para a conservação da biodiversidade, agricultura, silvicultura e monitoramento ambiental (MULLA, 2013).

De acordo com Ziany et al. (2005), na literatura são descritos cerca de 50 índices físicos, em sua maioria formados pela associação entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Em menor proporção são encontrados os índices formados pela combinação entre bandas espectrais da faixa do visível (vermelho – R, verde –G e azul – B).

Com a crescente demanda por aquisição de imagens de alta resolução e o avanço de recursos tecnológicos como exemplo, Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), a obtenção de cenas na faixa do visível (R – G – B) vem se tornando cada vez mais requisitada. Para Amaral et al. (2015), poucas pesquisas podem ser encontradas estudando os sensores óticos ativos discriminando a eficiência de seus resultados.

Assim, em busca de aperfeiçoar os serviços que podem ser fornecidos por esses sensores, autores como Von Bueren et. al. (2015), destacam que embora capturem os comprimentos de onda na faixa espectral do visível, estes, apresentam um desempenho inferior aos multiespectrais, porém seus resultados são considerados satisfatórios.

Os resultados gerados pelos índices físicos são correlacionados com os dados da cultura e nele são obtidos os parâmetros de biomassa, cobertura pelo

dossel, teor de clorofila e outras variáveis (SAKAMOTO et al., 2011; MAIMAITIJIANG et al., 2017). No Quadro 1 são ilustrados os exemplos de índices de vegetação que são formados pelos arranjos R – G - B.

Quadro 1: Exemplos de índice de vegetação com arranjos na faixa do visível

Índices Físicos	Equação	Referência
Índice de Vegetação Vermelha Verde Modificada (MGVRI)	$\frac{(G)^2 - (R)^2}{(G)^2 + (R)^2}$	Bendig, et. al. (2015)
Índice de Folha Verde (GLI)	$\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$	Louhaichi, Borman & Johnson (2001)
Índice de Reflectância Fotoquímica Modificado (MPRI)	$\frac{G - R}{G + R}$	Yang et al. (2008)
Índice de Vegetação Azul Verde Vermelho (RGVBI)	$\frac{(G)^2 - (B * R)}{(G)^2 + (B * R)}$	Bendig, et al. (2015)
Excesso de Vegetação Verde (ExG VEG)	$\frac{(R)^{a*} + (B)^{(1-a)}}{0,667}$ a* é uma constante de valor	Woebbecke et al. (1995) Hague et al. (2006)
Índice de Cobertura de Resíduos Verdes (GRCI)	$\frac{G - B}{G + B}$	Rostami, 2014
Índice de Cobertura de Resíduos Verdes (BRCI)	$\frac{R - B}{R + B}$	Rostami, 2014
Índice Variável Atmosférica Resistente (VARI)	$\frac{G - R}{G + R - B}$	Gitelson et al., 2002

Fonte: adaptado de Kavvoosi et. al., 2018. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1658077X18301115?token=30B35DA9B3FB0017853322912F0FE64A0B124051F045DE0E433EC2B0AA07EE10A0B82CD1F4A210712F14D3A3091DEF34>>

Dentre os vários índices apresentados no Quadro 1, será utilizado neste trabalho os Índices de Reflectância Fotoquímica Modificado (MPRI) e o Índice Variável Atmosférica Resistente (VARI). O uso desses índices para estudos de agricultura de precisão, permitem detectar as características nutricionais de uma planta, realizar um monitoramento agrícola e a previsibilidade do rendimento de forragem (HUNT et al., 2013), bem como a distinção da vegetação verde (ROMEO et al., 2013; KAZMIN et al., 2015). E o controle de pragas e doenças (BALLESTEROS et al., 2014).

### 2.5.1 Índice de reflectância fotoquímica modificado - MPRI

O MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*) foi proposto por Yang, Willis e Muller em 2008, sendo comumente utilizado em estudos onde as imagens

estão na faixa espectral do visível. Seu arranjo está baseado na diferença entre as bandas espectrais do verde e do vermelho (FERREIRA et al, 2016). Conforme apresentado na equação 4 abaixo.

$$MPRI = \frac{GREEN-RED}{GREEN+RED} \quad (4)$$

Onde,

Green corresponde à banda verde e Red a vermelha.

Este IV está associado com a influência do uso da luz, ou seja, a estrutura do dossel e a ontogenia variam conforme a presença ou ausência da incidência solar (PEÑUELAS et al, 2011). É considerado como um índice de desempenho fotossintético em uso para todos os tipos de vegetação.

O uso deste IV está direcionado no monitoramento de pastagens, pois consegue realçar a vegetação fotossinteticamente ativa (HARRIS et al., 2014). Estimar a matéria seca das pastagens (LINHARES et al., 2014). A cobertura verde das culturas e a gestão das suas áreas de cultivos (BARBOSA et al., 2019). Nos processos fisiológicos medidos no nível foliar (NICHOL et al., 2006). E no fluxo de ecossistemas monitorados em escala regional (PEÑUELAS et al, 2011).

### 2.5.2 Índice variável atmosférica resistente - VARI

O VARI (*Visible Atmospherically Resistant Index*) foi proposto por Gitelson et al. em 2002. Com arranjo obtido a partir da combinação entre as bandas do vermelho, verde e azul, e operações que envolvem a soma, diferença e a subtração. Conforme se observa na equação 5 abaixo.

$$VARI = \frac{(GREEN-RED)}{(GREEN+RED-BLUE)} \quad (5)$$

Onde,

Green corresponde à banda verde, Red a vermelha e Blue a azul.

Com este índice é possível monitorar a área foliar das culturas que se encontram em estágios avançados (LOUHAICHI et al., 2001; GITELSON et al., 2002). Analisar o desenvolvimento e a diferença da coloração dos cultivos, a partir

dos déficits de nutrientes e sua respectiva relação a problemas no balanço nutricional do solo e conseqüente indicativo da saúde vegetal (HENRIQUE, 2018).

Este IV atua reduzindo os efeitos da atmosfera que está comumente associado na fase de captação da imagem e reduz a sensibilidade quanto às variações dos efeitos atmosféricos (GITELSON, 2008).

## 2.6 SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM

Na segmentação de imagem as informações existentes numa cena são agrupadas em várias regiões ou conjunto de pixels. Nele são encontrados diferentes métodos para a segmentação como: o crescimento de regiões, limiarização, divisão e fusão (GONZALES e WINTZ, 2010).

Neste trabalho fez uso da operação de segmentação por crescimento de regiões, no qual consiste em um processo iterativo que atua minimizando a heterogeneidade espectral dos pixels contidos em um segmento (DEFINIENS, 2008). Cada segmento representa um único pixel da imagem que na medida em que os pixels vão se associando com seus vizinhos este segmento vai crescendo. As regiões são formadas a partir das semelhanças entre as propriedades como nível de cinza, textura ou cor (GONZALES e WOODS, 2010). A figura 3 abaixo ilustra como ocorre o agrupamento entre os pixels que apresentam semelhanças entre os seus valores médios de nível de cinza.

Figura 3 – Método de segmentação por crescimento de regiões.

50	49	51	100
51	50	101	99
201	199	100	101
199	101	100	99

50	49	51	100
51	50	101	99
201	199	100	101
199	101	100	99

Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

Os métodos de segmentação estão baseados nas propriedades de descontinuidade dos pixels e na detecção das arestas ou pixels entre diferentes regiões com rápidas transições (SENTHILKUMARAN et al, 2009).

Essa separação se dá com a introdução de um limiar. Este limiar é uma

técnica no qual um valor do nível de cinza é determinado com o objetivo de separar os alvos de interesse do restante das informações contidas numa cena (GONZALES e WOODS, 2010). A diferenciação entre os segmentos da imagem é feita levando em consideração as propriedades da imagem, ou seja, cor, intensidade e textura (ACHARYA et al, 2013).

A segmentação é comumente aplicada em situações onde os alvos detectados muitas vezes são homogêneos (MEINEL, 2011). Para extração e reconhecimento de feições de uma imagem (YASMIN et al, 2013), o resultado esperado são regiões que estão individualizadas e que geram uma imagem formada por um conjunto de áreas que estão conectadas pela borda e, não apresentam sobreposição (ACHARYA et al., 2013).

## 2.7 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

A classificação de imagem é uma técnica que permite a coleta de dados nas imagens orbitais e, são baseadas em informações pré-estabelecidas pelo operador que as subdividem em diferentes classes. Cada classificador irá apresentar um tipo diferente de algoritmo que atua nas amostragens dos pixels extraídos.

Quando a classificação é por pixel, tem-se que em sua maioria, é do tipo paramétrico. Nesses modelos, o conjunto de dados segue uma distribuição normal com formação de parâmetros estatísticos e a partir dos valores espectrais são identificadas as regiões homogêneas. A desvantagem deste modelo se dá em áreas onde as paisagens são complexas, na qual introduzem incertezas nas imagens classificadas (LU & WENG, 2007). Dentre os classificadores supervisionados que se enquadram neste modelo destacam-se: máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e o método do paralelepípedo.

Por sua vez, na classificação não supervisionada, a distribuição das classes é formada sem o conhecimento prévio das classes e é determinada a partir das semelhanças entre as regiões ou, grupos denominados como cluster. A formação do cluster se dá a partir do método de agrupamento que faz uso da distância euclidiana e que requer a iteração por k-média (LU; WENG, 2007). Dentre os exemplos de técnica não supervisionada pode-se citar a K-média, método de histograma e, ISOSEG para classificação por região.

## 2.8 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A interação entre o meio ambiente e o antrópico é um fator importante para conhecer as riquezas biológicas de uma determinada paisagem ambiental. Conciliar essa relação na prática é um caminho difícil, devido à interferência dos agentes externos sobre o meio biótico. Dessa forma, a introdução das Unidades de Conservação em suas diferentes esferas, federais, estaduais e municipais, são processos essenciais na conservação, preservação e restauração das unidades ambientais.

A Lei 9.985, de 18 de Julho de 2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Em seu Artigo 2º, parágrafo I, define a UC como um: *“espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais [...], ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”*. Para estabelecer a relação entre a unidade de conservação, seu uso e sua proteção, a UC é dividida em dois grupos denominados como: Unidade de Proteção Integral e de Uso Sustentável.

Dentro destas Unidades são encontrados categorias e cada uma é constituída por plano de manejos, no qual são formadas por regras e restrições a serem seguidas. Os Parques Nacionais e suas categorias, Estaduais e Municipais, estão inseridos na Unidade de Proteção Integral. No Capítulo III, Art. 11º do SNUC, o Parque Nacional e suas categorias são destinados à preservação das riquezas biológicas e do ecossistema. Mas, também dispõem de autorização para pesquisas e desenvolvimento de projetos socioambientais.

O Parque Estadual Mata da Pimenteira, foi à primeira unidade de conservação instituída no Estado de Pernambuco e faz parte de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. Esta UC apresenta uma riqueza em sua biodiversidade, sendo palco de estudos e pesquisas pelas instituições de ensino federal que publicam nos meios acadêmicos as espécies vegetais que ali existem.

Dessa forma, a partir do Sensoriamento Remoto e do Processamento Digital de Imagem com o uso de técnicas como: Componentes Principais, Índices de Vegetação e Filtro de Sobel, as informações relevantes contidas nas multfontes serão detectadas como as bordas das estradas vicinais, solo, construções e o açude e irá servir para posteriores estudos e composição da base cartográfica desta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo discorre sobre a área de estudo (3.1), a estruturação de uma unidade de conservação e zoneamento ambiental do Parque Estadual Mata da Pimenteira (3.2) e os métodos aplicados (3.3).

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A UC Parque Estadual Mata da Pimenteira está localizada no município de Serra Talhada no Estado de Pernambuco. Este município é um dos mais desenvolvidos na região do Sertão Pernambucano, dispendo de universidades e institutos federais, com acesso principal pela rodovia federal BR-232 e a uma distância aproximada de 415 km da capital pernambucana (CPRH, 2013).

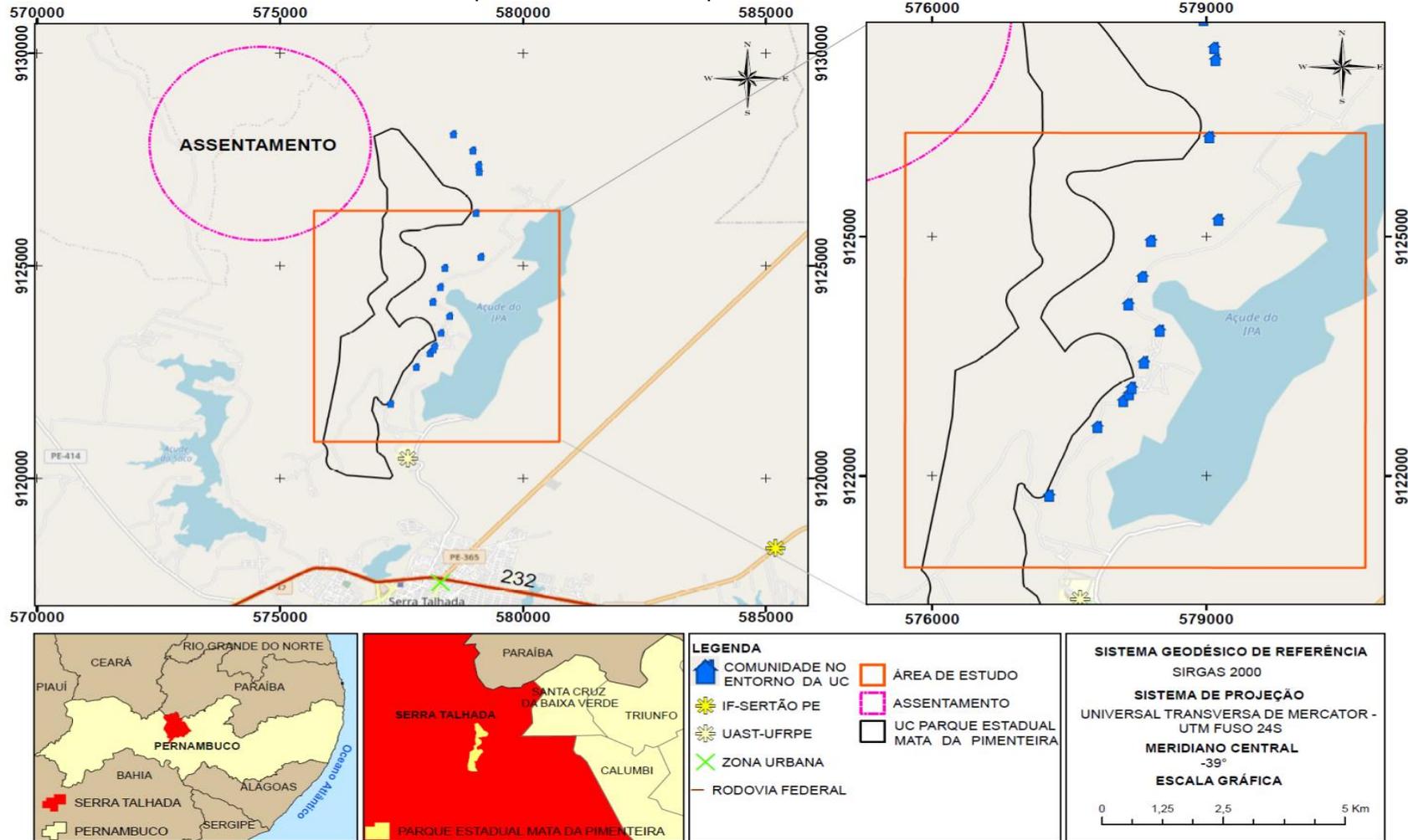
Inserido neste município, o Parque Estadual Mata da Pimenteira está situado geograficamente nas coordenadas: 7°53'21"S, 38°18'42"W e 7°57'36"S, 38°17'7"W, e nas posições sul, oeste e noroeste da propriedade do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). A sua localização é favorecida, pois se encontra próximo as principais localidades de Serra Talhada. Distanto aproximadamente 3 km ao norte da zona urbana do município, a 8 km da Universidade Rural e a 13,9 km do Instituto Federal.

Este Parque Estadual apresenta uma baixa precipitação ao longo do ano, em torno de 653,2 mm anual. Seu período de chuva se inicia no mês de dezembro, mas os meses de janeiro e maio são os que apresentam maior pluviosidade. A temperatura nos meses de outubro a março está numa média de  $26,3 \pm 3,56$  MJ/m<sup>2</sup>/dia (CPRH,2013).

Em relação a sua área, tem-se que é de aproximadamente 887,24 ha. Seu relevo é formado por topos de serra e a vegetação existente consiste em fragmentos de Caatinga arbórea que recobrem uma extensão de 300 ha, sendo conhecida como Mata da Pimenteira (SANTOS, 2013).

Na figura 4 é apresentada a localização da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira, assim como sua posição geográfica em relação à zona urbana e as instituições de ensino federal inseridas no município de Serra Talhada.

Figura 4 – Localização da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira e sua posição geográfica em relação a zona urbana e as instituições de ensino federal pertencentes ao município de Serra Talhada-PE



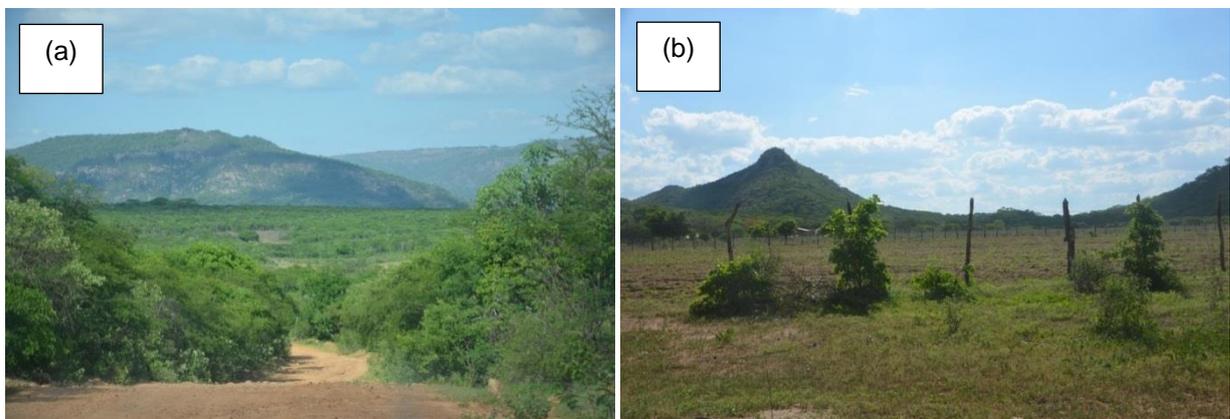
Fonte: A autora, 2020.

### 3.2 UNIDADE DE CONSERVAÇÃO E ZONEAMENTO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA

O Parque Estadual Mata da Pimenteira teve seu processo de criação no ano de 2010, a partir da necessidade de proteção e restauração do ecossistema ali presente. Foram propostos áreas de preservação permanente (APP), reserva legal (RL), definição dos limites do Parque e, por fim sua designação como unidade de conservação no ano de 2012 pelo decreto de nº 37.823/2012 (SANTOS et al., 2013).

Essa UC é constituída por vegetação do tipo arbórea e arbustiva, com características hiperxerófila. Composição florísticas particulares de floresta caducifolia espinhosa. O relevo predominantemente é o suave-ondulado separado por vales estreitos e vertentes dissecadas (SANTOS et al., 2013). A figura 5a e b abaixo ilustram o relevo e a vegetação característica da Caatinga no mês de dezembro da região.

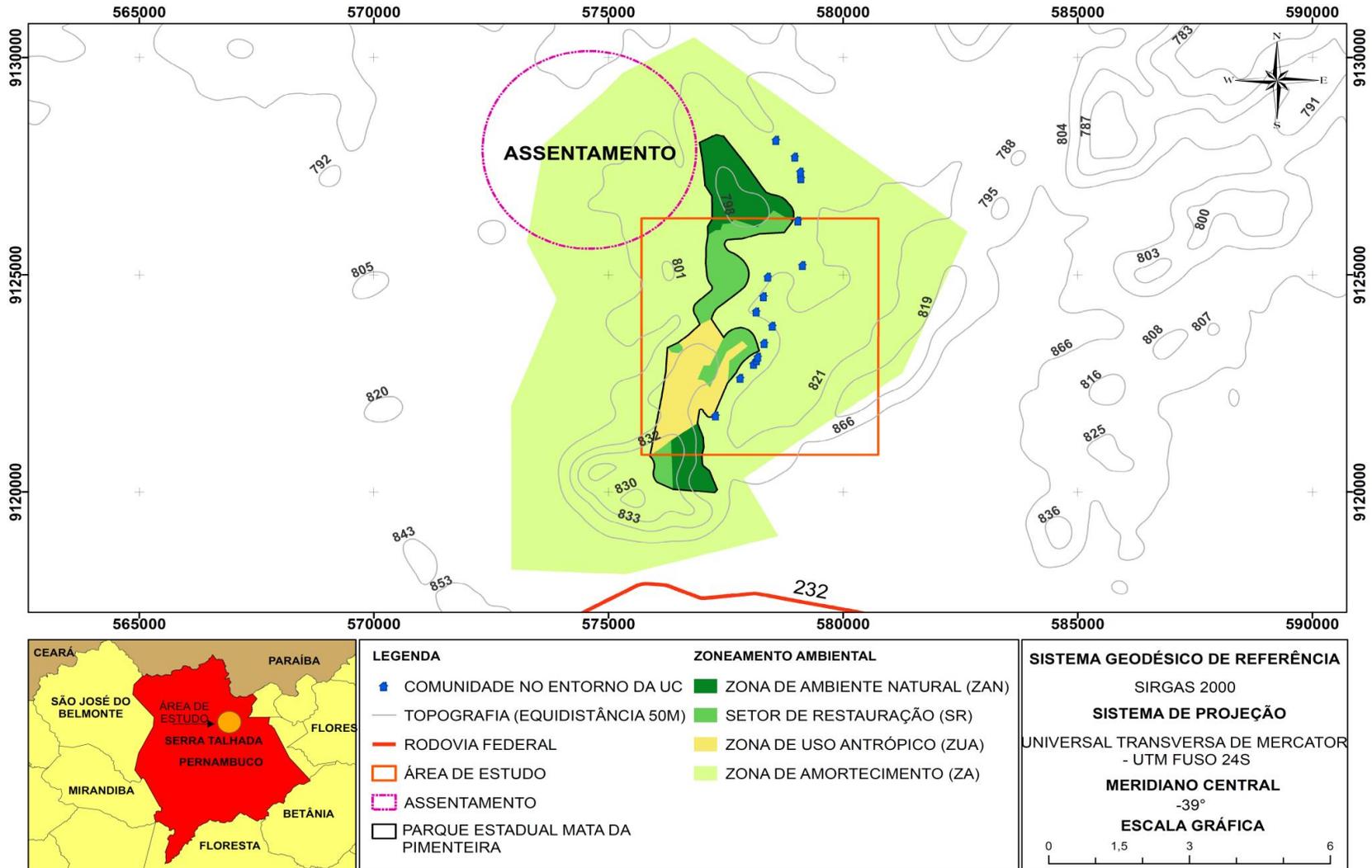
Figura 5 – (a) Aspecto do Relevo e em (b) Vegetação característica da Região.



Fonte: A autora, 2020.

Como proposta para preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental dos recursos naturais e, para atender os anseios socioeconômicos demandados pela sociedade, o Parque Estadual Mata da Pimenteira foi classificado em quatro tipos de zoneamentos definidos como: Zona de Ambiente Natural (ZAN), Zona de Amortecimento (ZA), Setor de Restauração (SR) e Zona de Uso Antrópico (ZUA). A Figura 5 ilustra o Zoneamento compreendido por esta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.

Figura 6 – Zoneamento da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira



Fonte: Adaptado de Bilar et al (2016) e baseado no Plano de manejo do Parque Estadual Mata da Pimenteira elaborado pela CPRH no ano de 2013.

A ZAN é um espaço de proteção integral, com presença de um ecossistema formado por espécies raras, endêmicas ou sobre ameaça de extinção. O entorno da UC tem-se a ZA, nelas ocorre à influência das ações antrópicas, entretanto com normas e restrições de uso. Neste zoneamento são encontrados os assentamentos e as comunidades locais, conforme se observa na figura 6 acima.

As áreas definidas por SR correspondem a áreas públicas que sofreram modificações na paisagem e estão isoladas para o processo mitigatório. Por sua vez, a ZUA são as áreas ditas como mistas, pois atendem as necessidades de conservação, porém com diretrizes que permitem as visitas, edificações e infraestruturas em acordo com o ambiente (SANTOS et al., 2013).

### 3.3 METODOLOGIA

Nos procedimentos de detecção de bordas foram usadas as imagens da plataforma do Google Earth e uma Ortofoto. O critério considerado para a seleção das imagens foi baseado nas condições de visibilidade, disponibilidade da imagem, recobrimento da área de estudo, qualidade de resolução e na possibilidade de reprodução da metodologia elaborada.

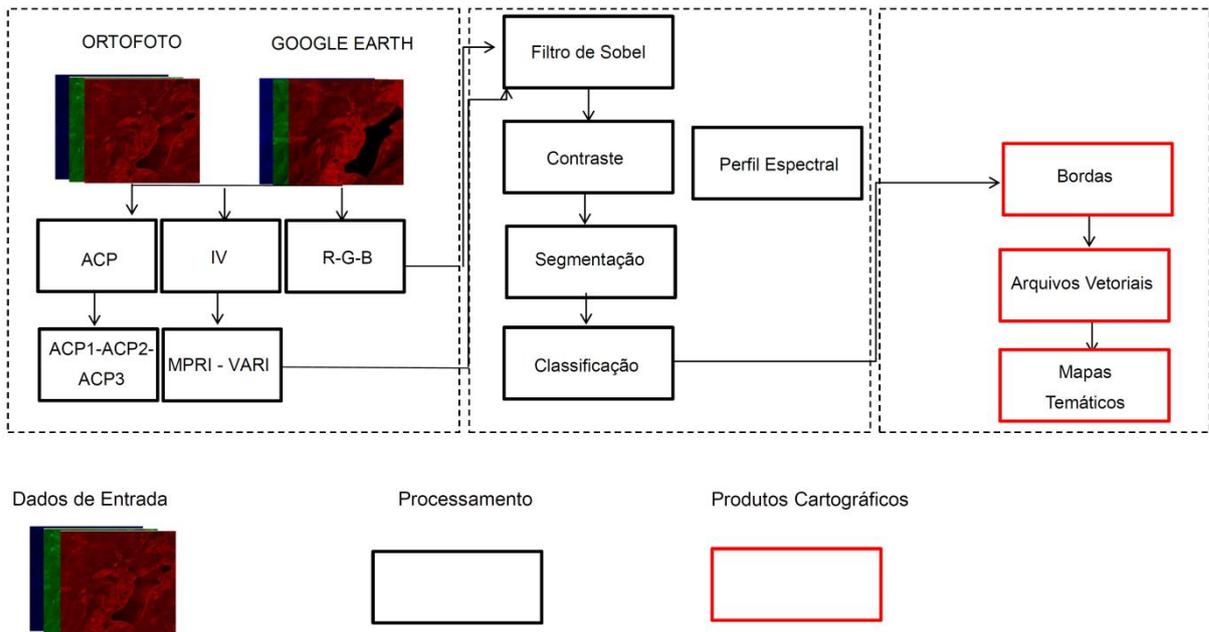
Na etapa do processamento das imagens fez-se uso do *software* livre do Sistema de Processamento de Informações Geográficas (SPRING) versão 5.4.3 disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Nele foram executados os processos de: Filtro de Sobel, Principais Componentes, Índice de Reflectância Fotoquímica Modificado – MPRI, Índice Variável Atmosférica Resistente – VARI, Análise de cada Banda Espectral das diferentes plataformas aérea e orbital, Perfil Espectral, Segmentação e Classificação de Imagem, respectivamente.

A partir do resultado em raster, foi traçado um perfil espectral com o objetivo de analisar o comportamento dos alvos na formação das bordas e nas etapas de transição entre feições. Para ilustrar essa variação espectral foi elaborado gráfico dos perfis, considerando as plataformas aérea e orbital.

Com o uso do *software* QGIS versão 2.14.2, foram obtidos produtos vetoriais no formato shapefile (.shp) e a partir deles elaborado mapas temáticos. Sendo identificadas as classes de solo, construção, estrada vicinal e o açude saco.

No diagrama de blocos (figura 7) apresenta-se a metodologia do trabalho que foi realizado até a obtenção dos produtos vetoriais.

Figura 7 – Metodologia adotada para obtenção de bordas



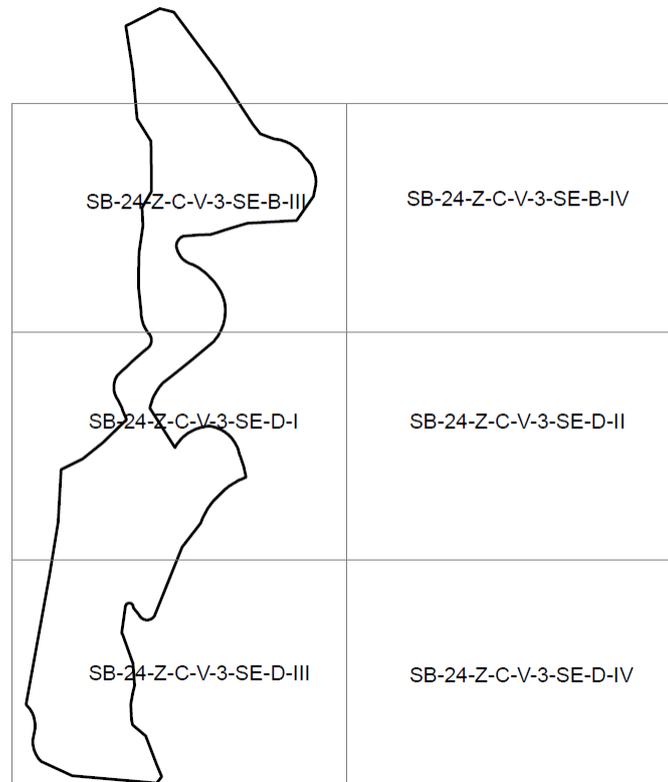
Fonte: A autora, 2020.

### 3.3.1 Uso de geotecnologias no processamento digital de imagem: Google Earth e Ortofoto

A Ortofoto foi resultado de um projeto para a determinação do relevo digital em todo o Estado de Pernambuco. De acordo com as informações do relatório final de atividades executadas no bloco III do ano de 2017, às especificações técnicas da cobertura aerofotogramétrica considerou a sobreposição lateral de 30%, com GSD (Ground Sample Distance) de 50 cm e escala de 1:5.000. No Sistema de Referência Geodésico SIRGAS 2000, fuso 24S, meridiano central  $-39^\circ$  e padrão de exatidão cartográfica (PEC) definido como classe "A".

A câmara área digital utilizada foi do tipo linear (Pushbroom), de modelo ADS 40 SH52, produzida pela LEICA Geosystems, com 6,5 microns de resolução geométrica, 16 bits de resolução radiométrica e R - G - B de resolução espectral. A data de recobrimento aerofotogramétrica da imagem é de 29 de novembro de 2014. Para constitui a Unidade de Conservação do Parque Estadual Mata da Pimenteira foram necessárias uma composição de 6 (seis) bandas espectrais conforme articulação demonstrada na Figura 8.

Figura 8 – Cenas usadas para a formação da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira



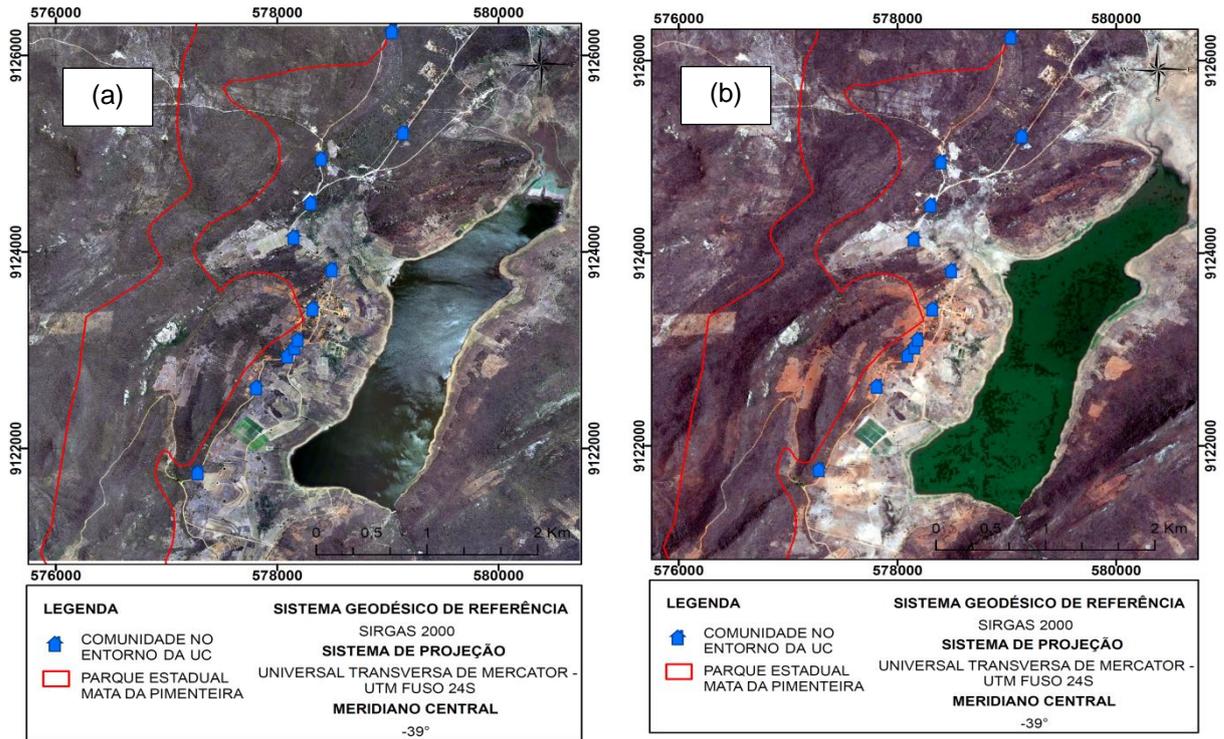
Fonte: A autora, 2020.

A figura 8 ilustrada acima destaca o mosaico formado a partir da composição das seis cenas que compõem uma porção da Unidade de Conservação do Parque Estadual Mata da Pimenteira e o açude existente na sua proximidade.

Com o uso das imagens históricas disponível na plataforma do Google Earth, a cena foi ajustada para a data de 29 de novembro de 2014. Nesta data a imagem apresenta pouco ou nenhum recobrimento de nuvens e boa disponibilidade de observação. As cenas foram registradas pelos satélites Landsat e Copernicus – Sentinel. De acordo com as informações do Google Earth 2016, as imagens registradas pelo Landsat são disponibilizadas pela NASA Goddard Space Flight Center e de US Geological Survey e os dados são provenientes do Copernicus Sentinel.

Dessa forma as imagens do Google Earth apresenta uma assinatura espectral formada por um mosaico de dois satélites com sensores diferentes. As figuras 9a e b ilustram as imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente, e o limite do Parque Estadual Mata da Pimenteira.

Figura 9 – (a) representação da Ortofoto considerada para estudo (b) imagem do Google Earth que corresponde a área da pesquisa e estão datadas em 29/11/2014.



Fonte: Consórcio de Aguas de Pernambuco, 2017 e plataforma do Google Earth, 2020, respectivamente.

### 3.3.2 Análise de componentes principais

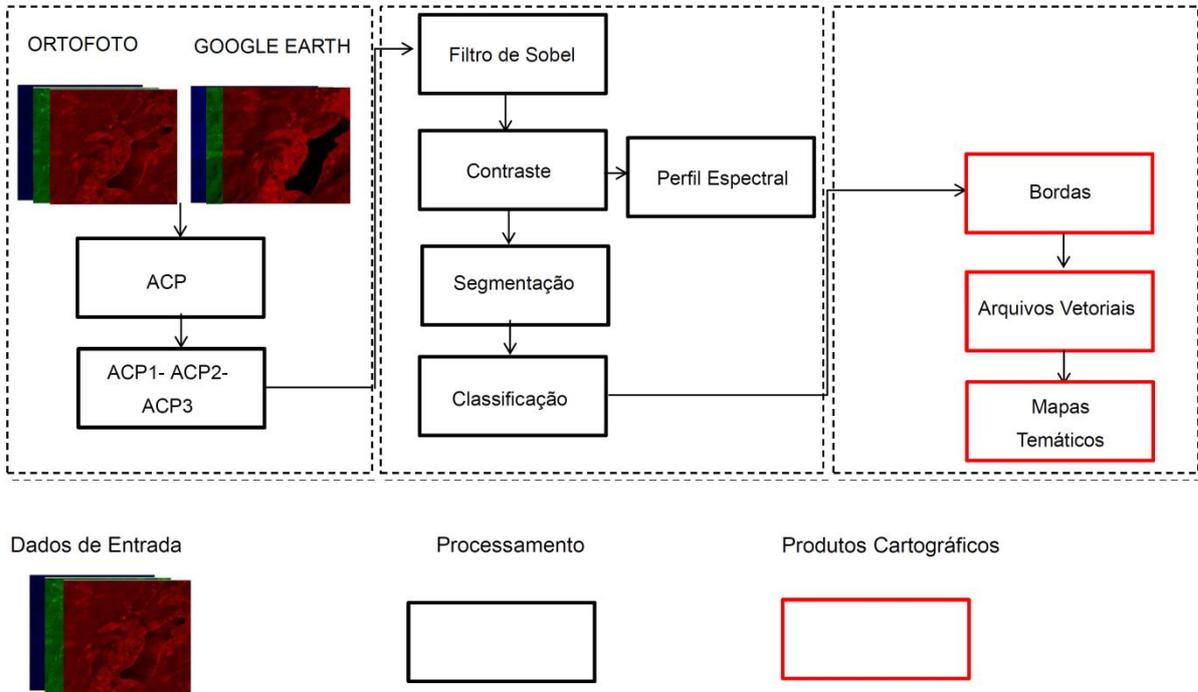
A análise de componentes principais (ACP) foi usada com a finalidade de reduzir as relações existentes entre os alvos. Estabelecendo uma conversão das variáveis que apresentam correlações em conjuntos de valores linearmente independentes e sem correlação. Assim, sobre cada banda espectral R - *red*, G - *green* e B - *blue* das imagens orbital e aérea, a ACP foi aplicada.

Com as imagens resultantes de cada plataforma, Ortofoto e Google Earth, foram aplicadas nas componentes principais ACP1, ACP2 e ACP3, o filtro de Sobel. Para HU et al (2013), a combinação entre o filtro de Sobel e a ACP reduz o nível de informação e o consequente detalhamento de uma cena, conseguindo realçar as fronteiras entre as feições, tornando as bordas dos objetos mais precisos e definidos.

Essas arestas delineadas entre as regiões auxiliam na segmentação e no reconhecimento dos alvos a partir das alterações que ocorrem na intensidade de uma imagem (SOUSA et al., 2015). Na figura 10 são esquematizados os procedimentos metodológicos da ACP e do Filtro de Sobel aplicados sobre as

imagens área e orbital.

Figura 10 - Esquematização dos procedimentos realizados com o uso da ACP e do Filtro de Sobel



Fonte: A autora, 2020.

### 3.3.3 Índices de vegetação

Os Índices de Vegetação contemplados para a pesquisa estão na faixa do visível (R – red, G – green e B – blue) e quando aplicados sobre as imagens aérea e orbital resultam em cenas monocromáticas de reflectância que realçam a vegetação contida numa cena.

Para a determinação do índice físico MPRI foi usado às bandas espectrais do verde e do vermelho, onde foram realizados arranjos matemáticas envolvendo a subtração, soma e diferença, conforme pode ser observado na equação 6.

$$MPRI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED} \quad (6)$$

Onde, Green corresponde à banda verde e Red a vermelha.

O MPRI é um índice físico comumente usado para avaliar a variabilidade da vegetação e a cobertura do solo, pois consegue distinguir essas variáveis

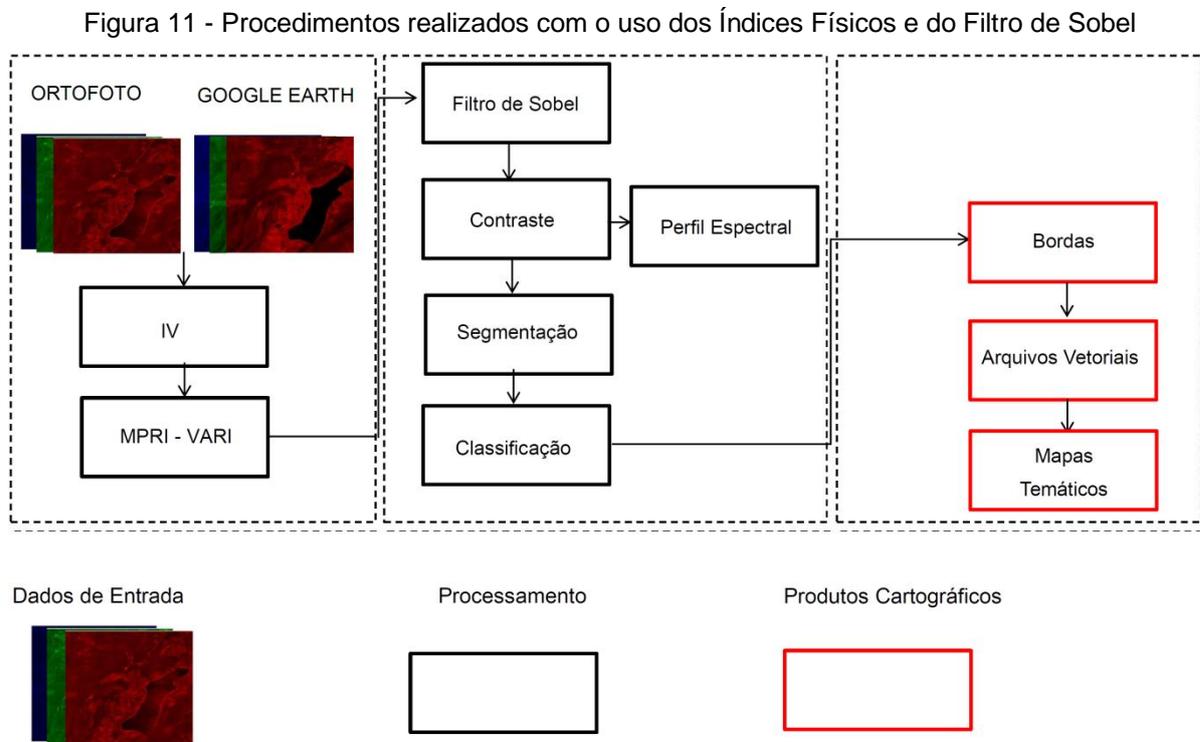
(BARBOSA et al., 2019). Além deste IV o VARI foi usado, sendo consideradas as bandas do vermelho, verde e azul, com diferentes arranjos matemáticos, conforme se observa na equação 7 abaixo.

$$VARI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED - BLUE)} \quad (7)$$

Onde, Green corresponde à banda verde, Red a vermelha e Blue a azul.

Com as imagens resultantes provenientes das plataformas orbital e aérea foi aplicado o filtro de Sobel para minimizar os efeitos ruidosos e a heterogeneidade entre os alvos. Sun (2012) descreve a relação entre a heterogeneidade de uma paisagem e as bordas que podem ser detectadas. Para ele, a combinação entre o processamento das técnicas de índices físicos associadas ao uso de filtro morfológico pode aperfeiçoar a forma de obtenção de bordas.

Na figura 11 está esquematizado o procedimento realizado entre os índices de vegetação e o filtro morfológico



Fonte: A autora, 2020.

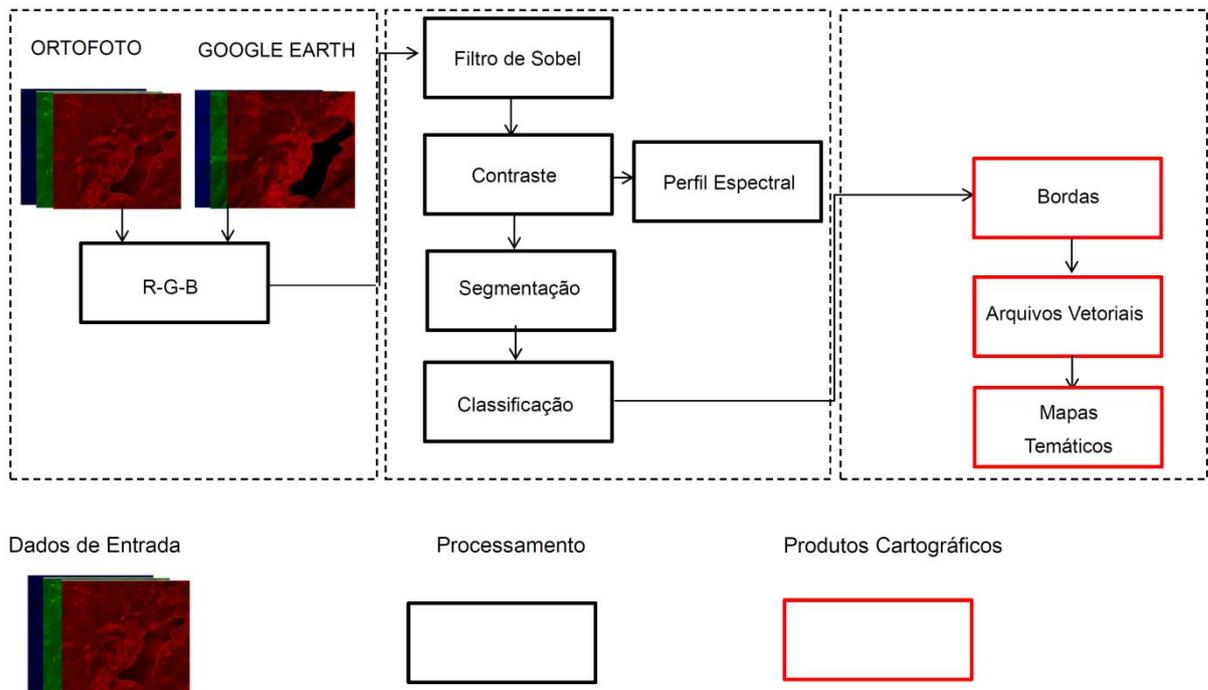
### 3.3.4 Análises das bandas espectrais para as plataformas aérea e orbital

Neste procedimento foi considerada a detecção das bordas a partir das imagens brutas do Google Earth e da Ortofoto. Sob essas imagens foi aplicado o filtro de Sobel e posteriores técnicas de processamento digital de imagem.

A detecção de bordas a partir do uso de filtros morfológicos em imagens orbitais e áreas tem sido uma ferramenta importante para a criação e atualização de mapas e banco de dados geográficos, bem como na detecção de alterações e monitoramento urbano (SIRMACEK e UNSALAN, 2009; UNSALAN e BOYER, 2005; QUANG, THUY et al., 2015; SUN et al., 2016).

Assim, na figura 12 é apresentada a metodologia adotada para a detecção de bordas a partir da combinação entre as imagens brutas com as técnicas de processamento digital de imagem.

Figura 12 - Esquematização dos procedimentos realizados a partir das imagens originais do Google Earth e da Ortofoto e as técnicas de processamento digital para detecção de bordas.



Fonte: A autora, 2020.

### 3.3.5 Segmentação de imagem

As imagens resultantes dos processamentos usados pela Análise de Principal Componente, Índices de Vegetação e Filtro de Sobel, passaram pela etapa de segmentação visando o agrupamento dos pixels que apresentam as mesmas características espectrais. Assim com a segmentação são gerados agrupamentos de pixels que se aliam de acordo com as características espectrais e descrevem as dimensões dos objetos contidos numa cena.

A segmentação é uma das etapas mais importantes visto que servirá para continuação e detecção das bordas a partir da Classificação de Imagem e posterior elaboração dos produtos vetoriais. Por esse motivo melhorar a qualidade da segmentação é fundamental visto sua dependência pelas atividades subsequentes (JASSIM; ALTAANI; 2013).

Neste caso, durante a elaboração da pesquisa foram testados diferentes valores para a similaridade e a área. A similaridade influencia no processo de agregação dos pixels nas regiões, determinando o nível de detalhamento da cena. No SPRING esses valores são incrementados pelo usuário e parte do bom senso quanto ao agrupamento formado, assumindo valores diferentes para as imagens aéreas e orbitais.

### 3.3.6 Classificação de imagem

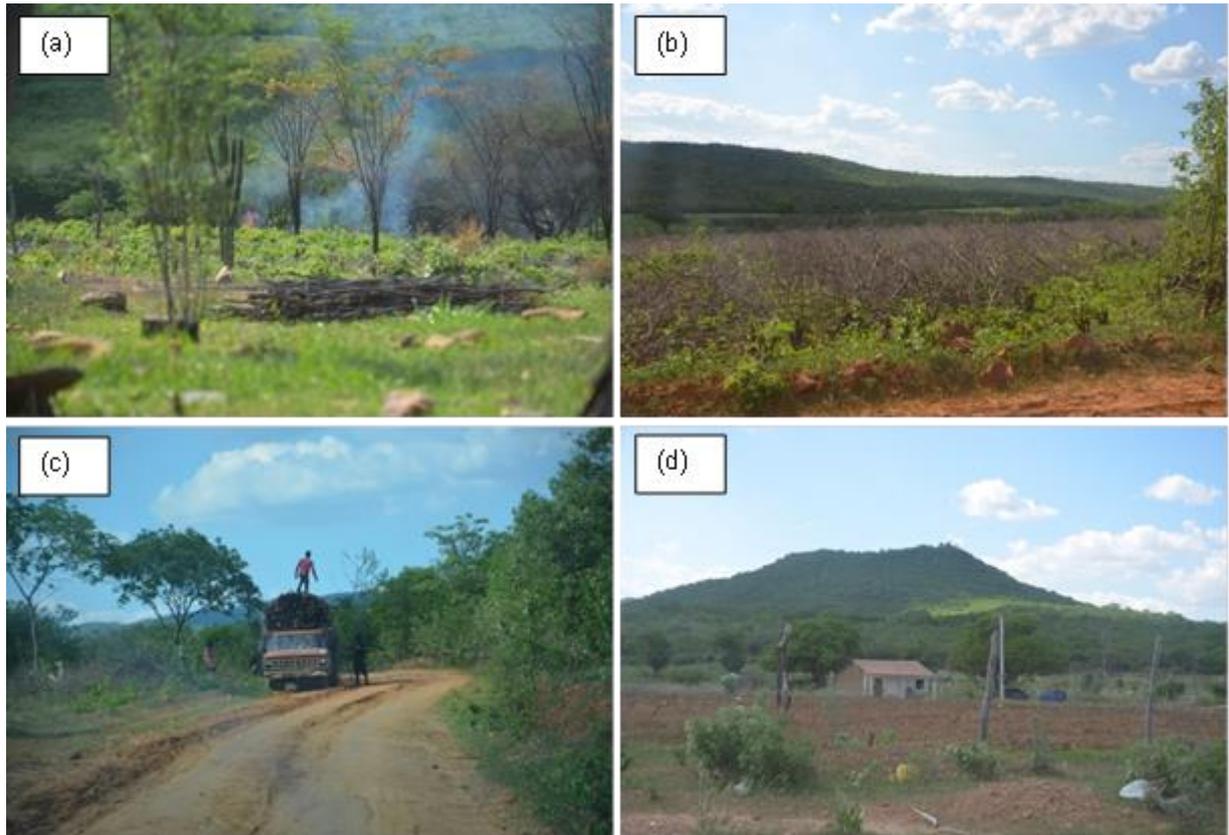
As imagens segmentadas resultantes de cada processamento foram classificadas. Nela, foram estabelecidos quatro classes definidas como: Açude, Solo, Estrada Vicinal e Construção. Com o resultado desta classificação foi adquirido arquivos vetoriais no formato shapefile (.shp) e a partir deles elaborados mapas temáticos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante visita *in loco* realizada no mês de dezembro de 2018, foi verificado que no entorno deste parque o uso do solo para plantação, criação de animais e outras atividades destinadas ao meio de subsistência é uma prática comum. Além desses usos foram observadas extensas áreas de desmatamentos, queimadas da

vegetação Caatinga para possíveis produções de carvão e outros exemplos que demonstram a forte pressão antrópica sobre o meio. As figuras 13a,b,c e d caracterizam o meio físico desta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.

Figura 13 – Em (a) e (b) extensas áreas que sofrem com a queima da vegetação nativa; (c) os vestígios da vegetação queimada sendo recolhido para exploração e (d) exemplos de moradias encontradas no entorno da UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.



Fonte: A autora, 2020.

As figuras 13a,b,c e d acima, ilustram exemplos das situações presenciadas em campo no mês de dezembro. As figuras 13a, b e c, representadas acima, destacam os procedimentos considerados até a etapa do transporte da madeira. Sendo observadas, áreas com vestígios de queimadas e processo de retirada e transporte que intensificam a degradação deste ambiente. Enquanto que na figura 13d, exemplifica as moradias frequentemente encontradas, com extensas regiões de pastagens.

Nas etapas do processamento digital de imagem através das técnicas de Análises de Componentes Principais, Índices de Vegetação e Filtro de Sobel, aplicado sobre as plataformas aérea e orbital, os resultados gerados são observados

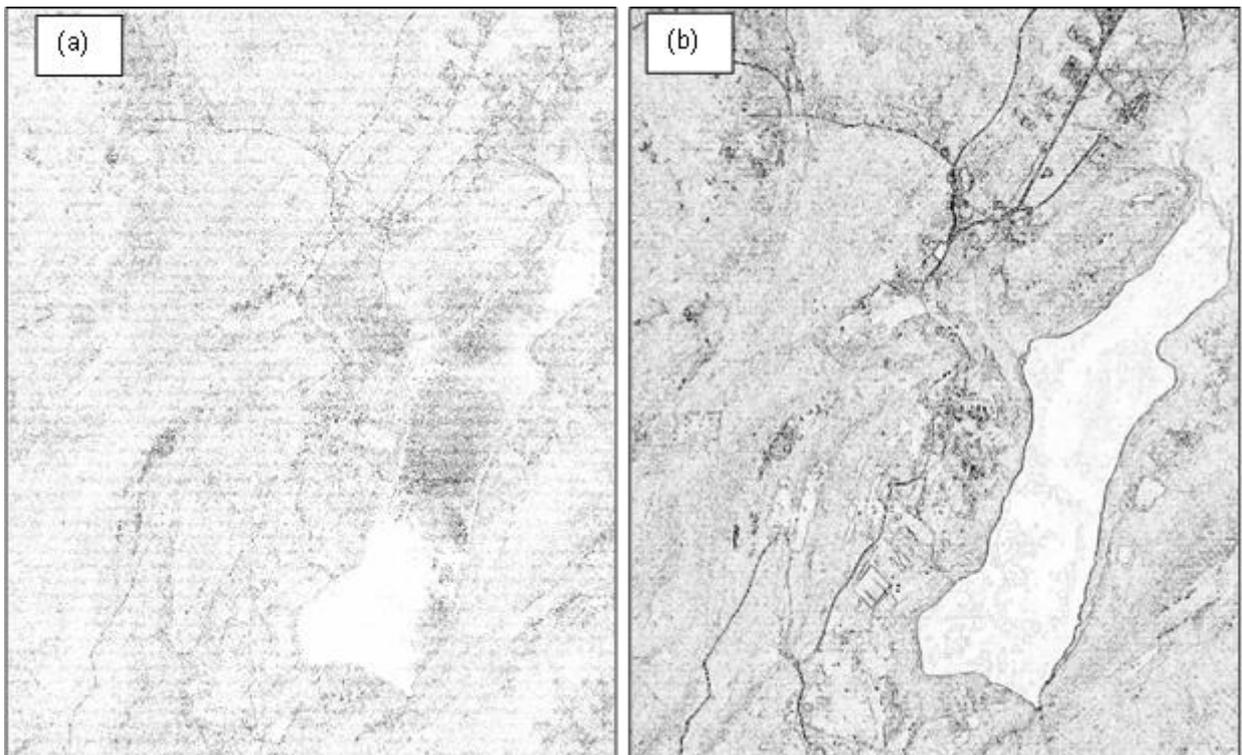
adiante.

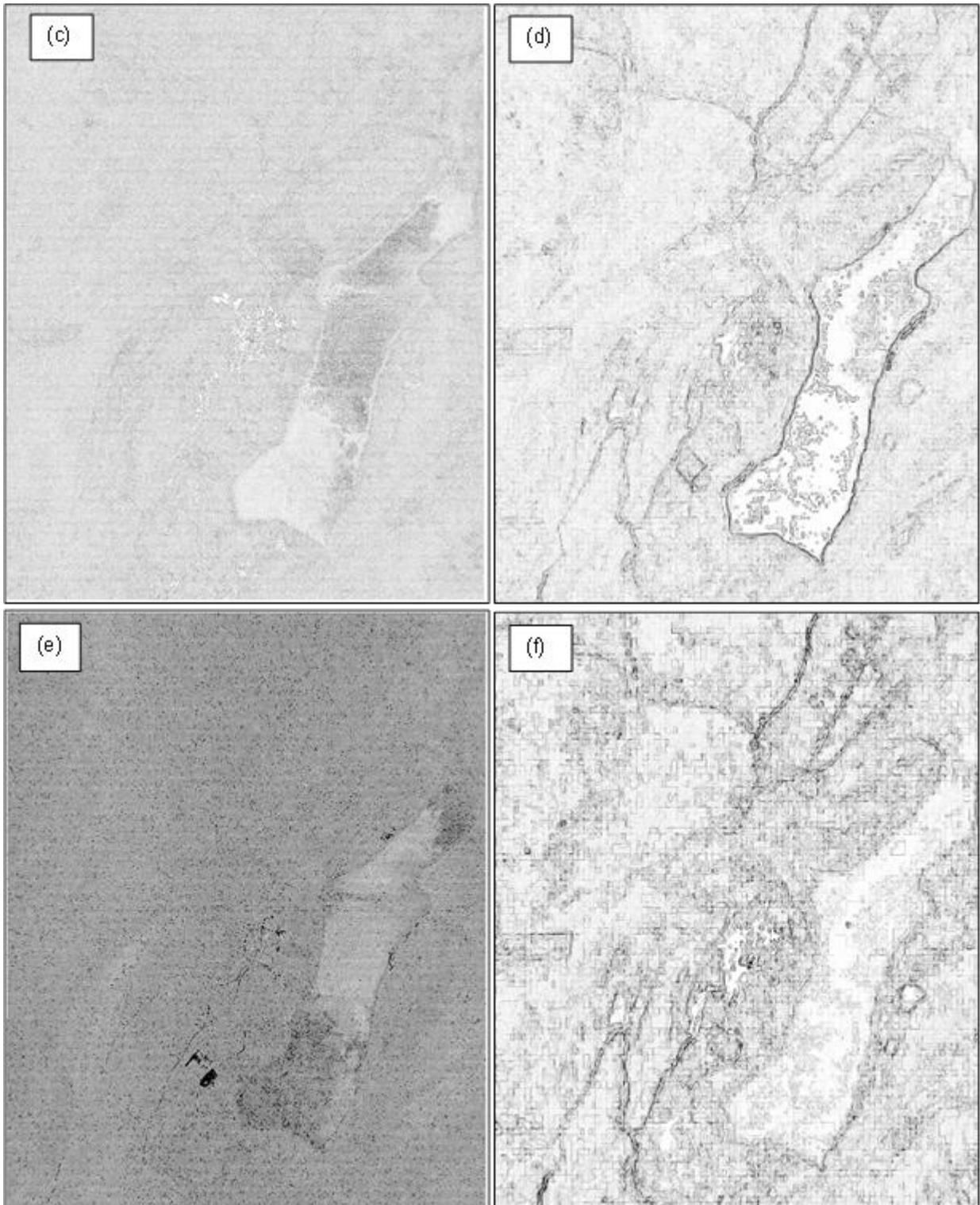
#### 4.1 ANÁLISES DE PRINCIPAIS COMPONENTES

A ACP foi uma técnica aplicada nas imagens área e orbital, no qual formou cenas de saída do tipo ACP1, ACP2 e ACP3, totalizando seis imagens monocromáticas, sendo três para cada plataforma. Cada banda espectral proveniente da técnica de ACP foi transformada em uma combinação linear com níveis de elementos variáveis, isto é, componentes com informações decrescentes e não correlacionáveis (BERNADINI et al., 2008).

A partir dessas imagens (ACP1, ACP2 e ACP3), o filtro de Sobel foi aplicado, para detectar as bordas. A detecção de bordas está baseada na função de intensidade da imagem em um determinado local de pixel, isto é, em áreas onde se tem uma alteração repentina nas bordas (MENDHURWAR et al., 2011). Na figura 14 são observadas as imagens resultantes pela técnica da ACP em conjunto com o Filtro de Sobel.

Figura 14 – Imagens de saída da ACP com o filtro de Sobel. Em (a) e (b), imagens ACP1; (c) e (d), ACP2 e (e) e (f), ACP3, todas representando as cenas resultantes da Ortofoto e a do Google Earth, respectivamente.





Fonte: A autora, 2020.

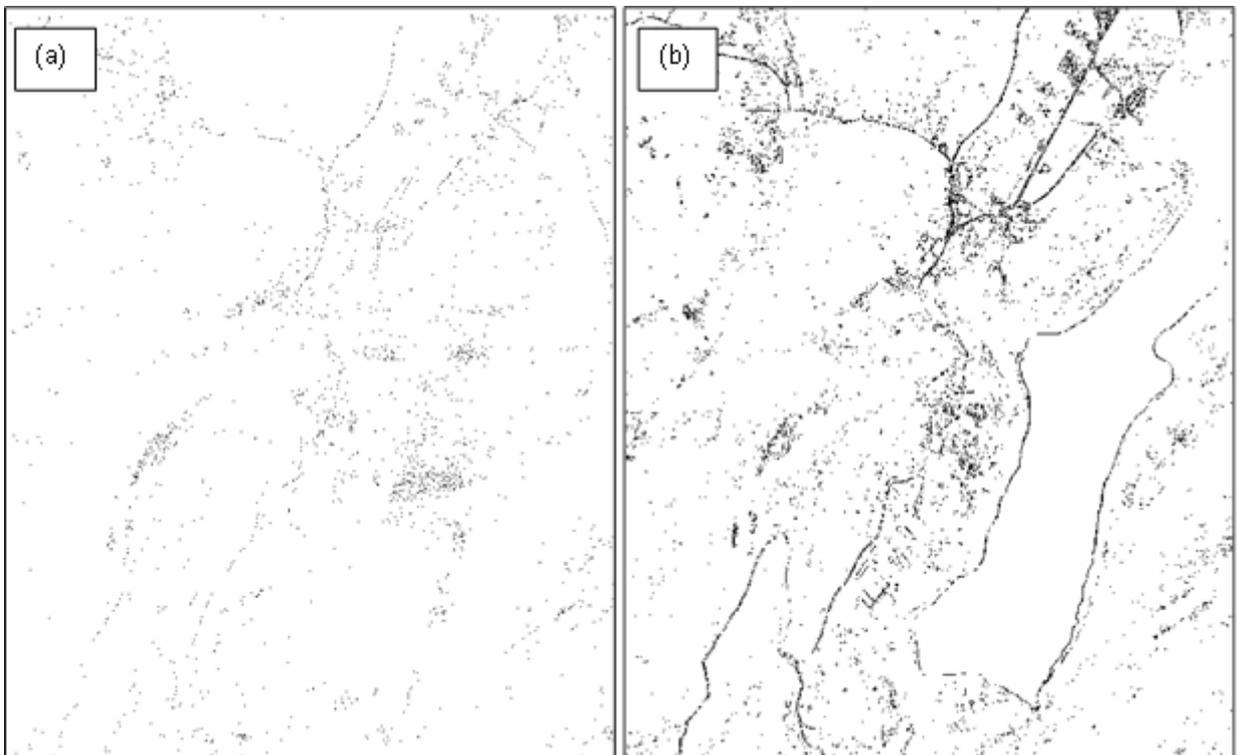
As imagens 14a, c e e acima, são resultantes do processo de ACP e do Filtro de Sobel na Ortofoto. Quando comparadas com as do Google Earth, 14b, d e f, ficam observados que os alvos não conseguem ser bem realçados. Nas imagens

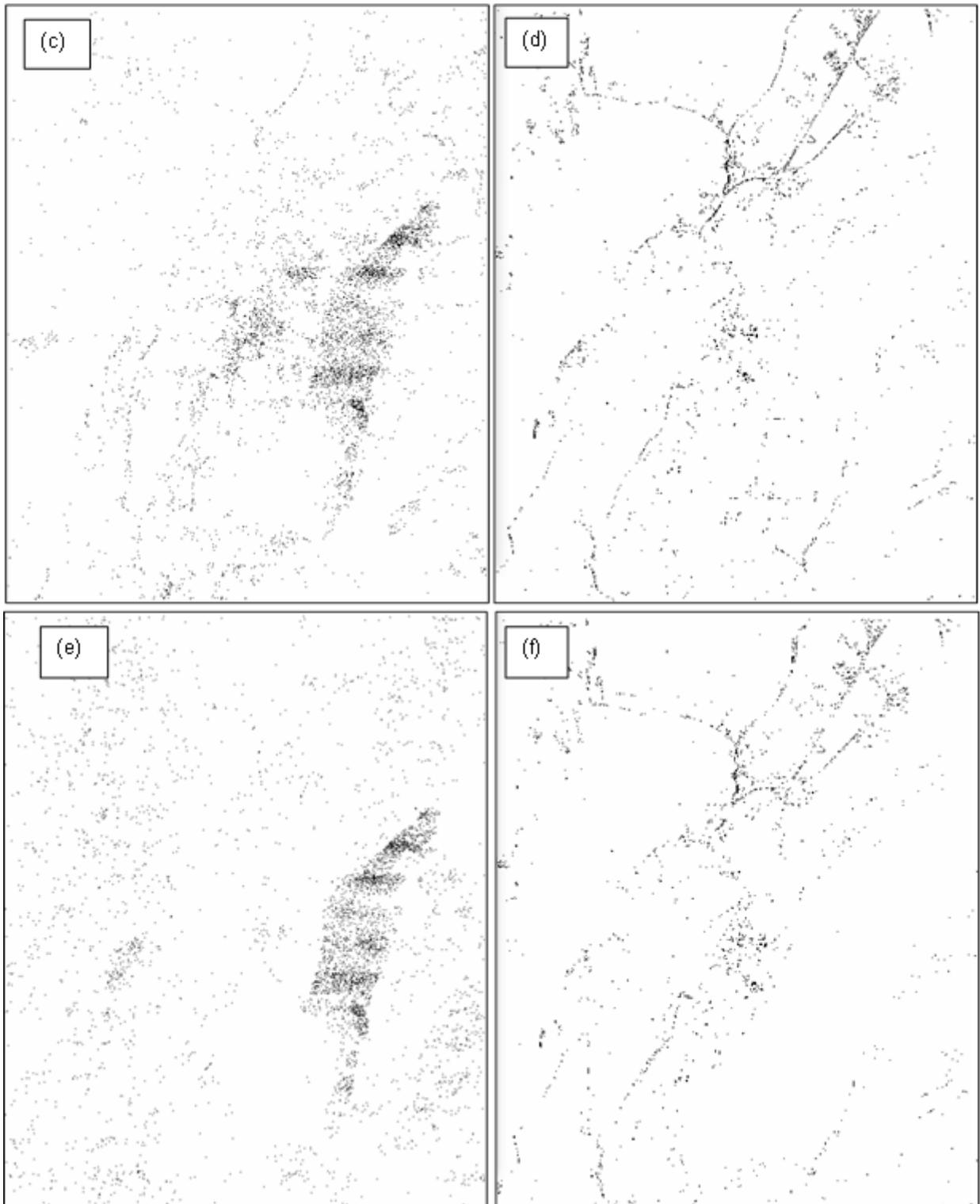
14b, d e f, respectivamente, as bordas que mais se destacam correspondem à estrada vicinal e a bacia hidrográfica. Estas feições conseguem mantêm conforme o decaimento da componente principal, ACP1, ACP2 e ACP3.

A ACP é uma técnica que visa tornar as imagens independentes e sem correlação, com níveis de dados variantes conforme a componente originada. Quando o filtro de Sobel é aplicado sobre a imagem resultante (ACP1, ACP2 e ACP3) de alta resolução (figuras 14a, c e d), os efeitos ruidosos que deveriam ser minimizados, consequência da atuação do filtro morfológico, são atenuados.

Para SUN (2013), essa situação contrária de atenuação dos ruídos nas imagens de alta resolução, são consequências do seu nível de informação ser detalhado e com alta variação espectral. Este efeito pode ser observado na figura 15 que representam as imagens provenientes das técnicas de ACP e do operador de Sobel com manuseio do histograma nas plataformas aérea e orbital.

Figura 15 – Em (a) e (b) apresentam a imagem ACP1, em (c) e (d) a ACP2 e em (e) e (f) a ACP3, todas representando a imagem monocromática resultante do manuseio do histograma da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.





Fonte: A autora, 2020.

As figuras 15a, c e e representam o processamento da ACP e do operador de Sobel na Ortofoto. A imagem 15a corresponde a ACP1 da Ortofoto, as bordas da estrada vicinal são detectadas em maior destaque que as demais classes. Por sua vez, as demais componentes resultantes, ACP2 e ACP3, não fica observado

agrupamento entre os níveis de cinza que permitam a formação das feições.

Para as imagens 15b,d e f, relacionadas a plataforma do Google Earth, os alvos como estrada vicinal e o reservatório conseguem ter suas bordas delimitadas. Katiyar e Arun (2014), descrevem que devido à geometria da imagem do Google Earth, o operador de Sobel consegue detectar melhor as bordas bem como as características dos objetos contidos na cena.

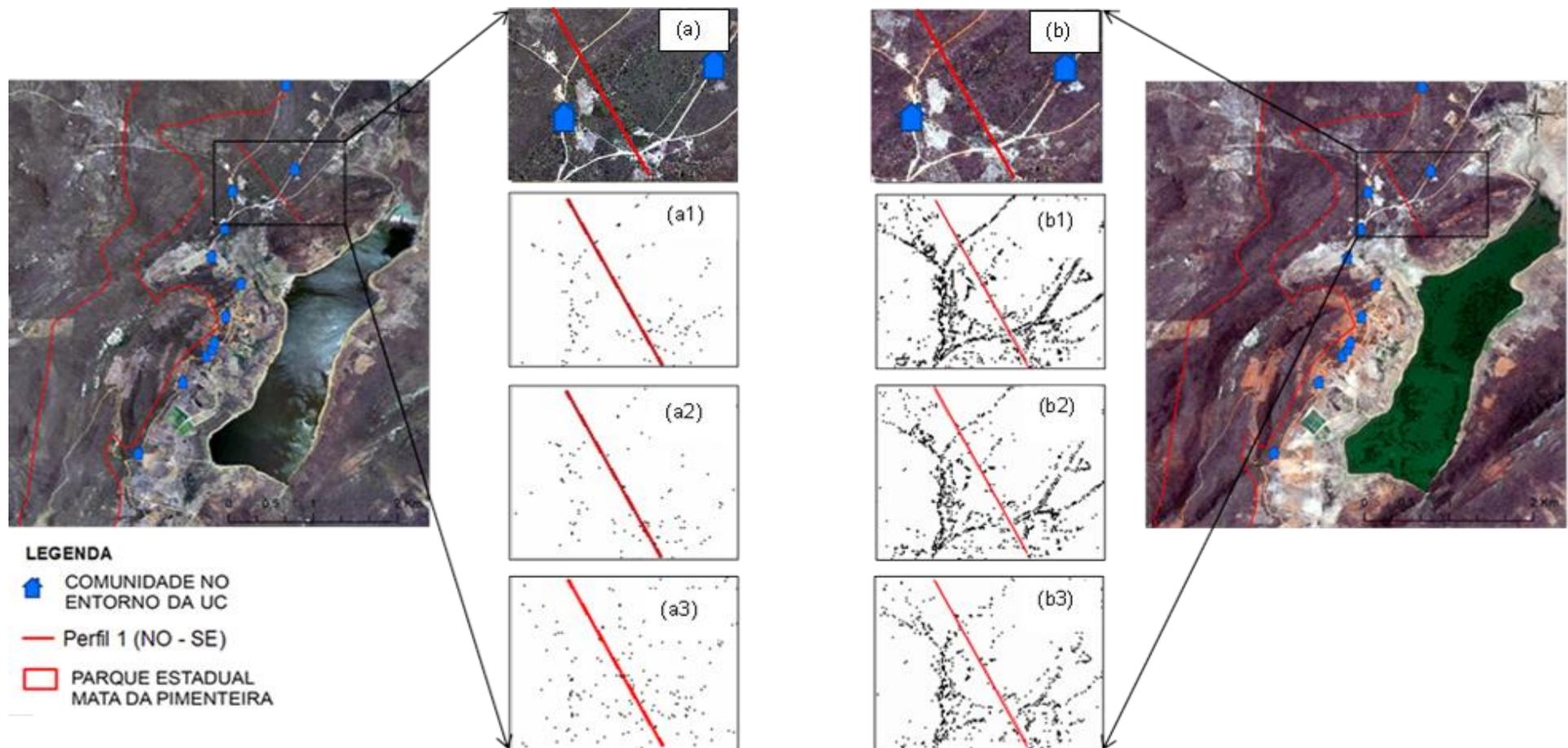
Deste modo, a ACP e o filtro de Sobel nas imagens do Google Earth desempenham melhores detecções de bordas, em destaque para a feição da Estrada Vicinal. As estradas representam um papel relevante, pois indicam potencial nível de urbanização inserida nesta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira. Que podem ser agravado devido à presença dos assentamentos e das comunidades que estão ao redor do Parque.

Com as imagens resultantes do processamento por ACP e do operador de Sobel, buscou-se analisar o comportamento espectral dos alvos nas imagens de alta e média resolução. Deste modo, foi selecionado um recorte no qual compreende uma região com presença de Estrada Vicinal e Solo, estando localizada na zona de amortecimento desta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira. A escolha desta localidade se deu devido às respostas espectrais favorecidas pelos métodos propostos.

Deste modo, foi traçado um perfil espectral que consiste em um segmento de reta, que neste caso, partiu da orientação nordeste em direção ao sudeste (NO – SE) e compreende as feições de Estrada Vicinal e do Solo. O comportamento espectral de um alvo é uma ferramenta importante para a detecção da intensidade de radiação que é refletida. E é um parâmetro no qual pode se obter informações sobre as propriedades dos alvos (MENESES, 2012). Apresentando diferentes variações espectrais conforme as condições da cena, resolução espacial, espectral e radiométrica (GUPTA et al., 2013).

A figura 16 ilustra abaixo o perfil espectral traçado em um recorte sobre as imagens resultantes dos procedimentos de ACP e operador de Sobel nas plataformas aérea e orbital.

Figura 16 – Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (a2) perfil espectral da ACP1 com o filtro de Sobel; (a2) e (b2) perfil espectral da ACP2 com o filtro de Sobel e em (c1) e (c2) perfil espectral da ACP3 com o filtro de Sobel.



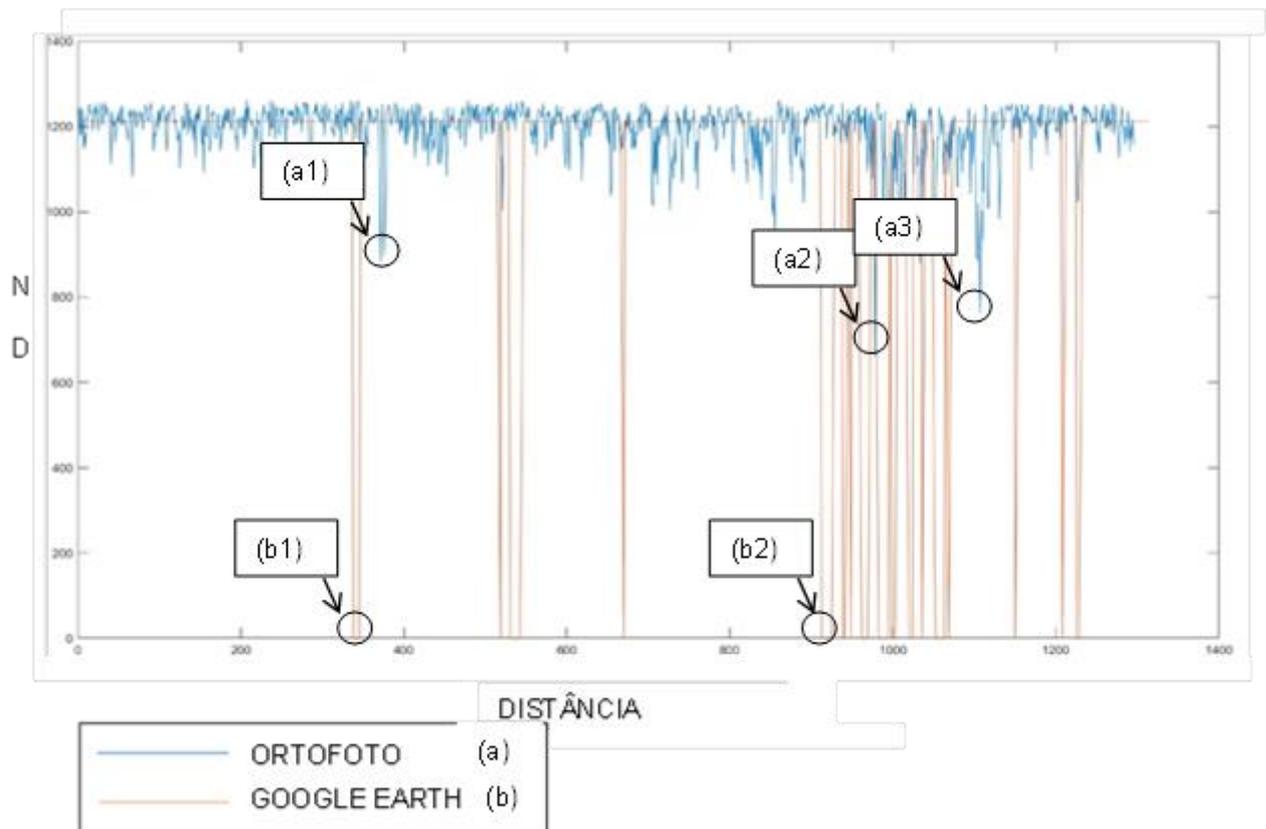
Fonte: A autora, 2020.

As figuras 16a1, a2 e a3 apresentadas acima, destacam o perfil espectral traçado nas imagens de alta resolução. E as figuras 16b1, b2 e b3 ilustram as imagens de média resolução submetidas às mesmas técnicas, todas resultantes do processamento da ACP com o filtro de Sobel.

Cada perfil espectral traçado nas imagens resultantes (ACP1, ACP2 e ACP3) das plataformas aérea e orbital, respectivamente, forneceu valores espectrais baseados na relação entre o número digital (ND) do pixel e sua distância espectral correspondente. A partir desses dados, foram elaborados gráficos comparando a assinatura espectral de cada perfil traçado nas imagens raster resultantes em cada plataforma aérea e orbital.

O gráfico 1 a 3 abaixo ilustram os dados comparativos entre os perfis traçados nas imagens resultantes da Ortofoto e do Google Earth.

Gráfico 1 – Perfil espectral da ACP1 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a1 e b1. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.



Fonte: A autora, 2020.

O Gráfico 1 ilustrado acima, destaca o comportamento espectral das bordas

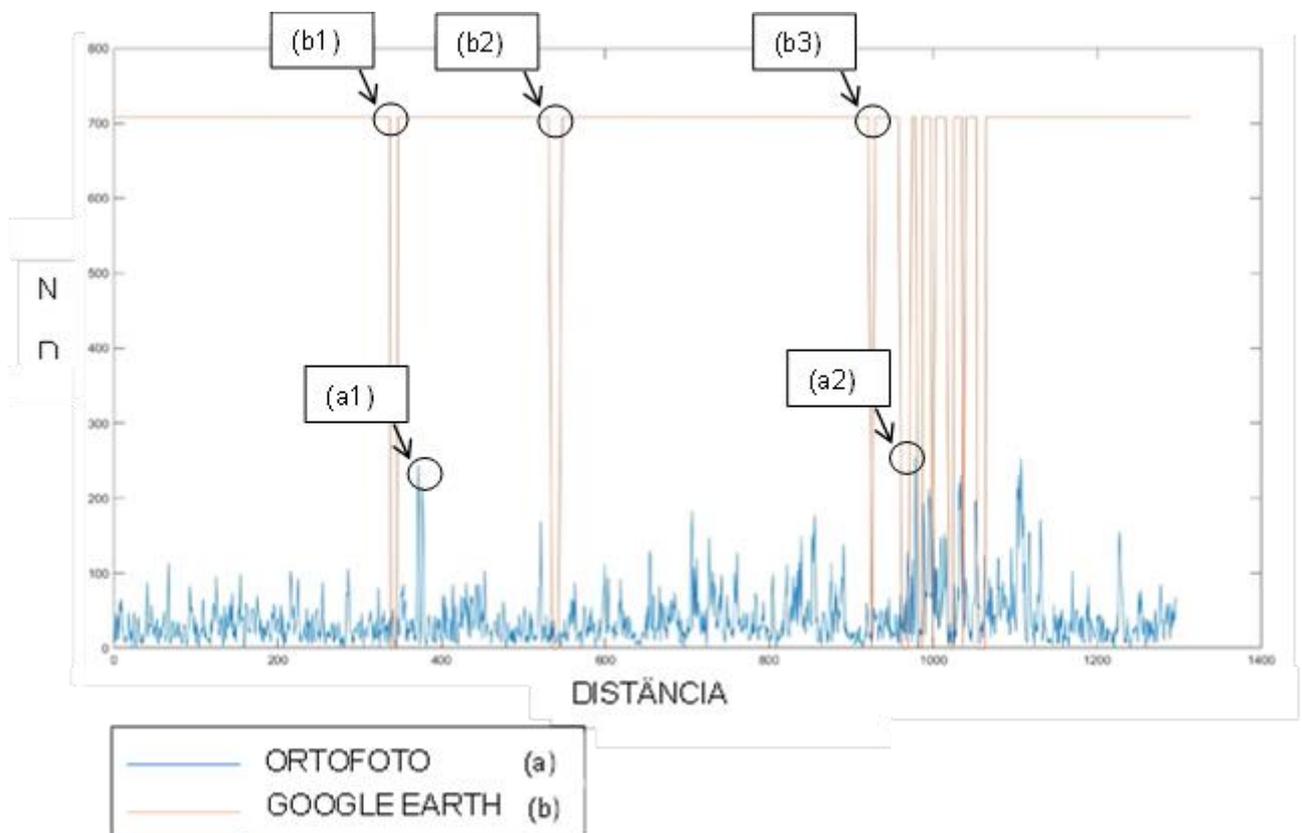
geradas pelas feições da estrada vicinal e do solo para cada plataforma aérea e orbital. Em relação à variabilidade espectral das imagens da ACP1 do Google Earth, destacada pela linha rosa, identifica-se que: o comportamento espectral dos atributos apresenta uma variabilidade em que é possível visualizar e distinguir as transições entre os alvos.

Dessa forma, em (b1) observa-se à passagem de uma área sem identificação de bordas para o início da estrada vicinal, no sentido NO - SE. E em (b2) o começo da borda de estrada vicinal na região SE, com mudanças para regiões espectrais que identificam o solo.

Para a ACP1 da Ortofoto, indicado pela linha azul, em (a1) tem-se o início da borda da estrada vicinal que foi detectado pela etapa do processamento, no sentido NO – SE. Em (a2) a borda da estrada vicinal no sentido SE e em (a3) a transição para a região de solo e outras bordas detectadas.

Na análise da ACP2, o gráfico 2 ilustra abaixo o comportamento espectral do perfil traçado sobre as imagens resultantes por cada plataforma aérea e orbital.

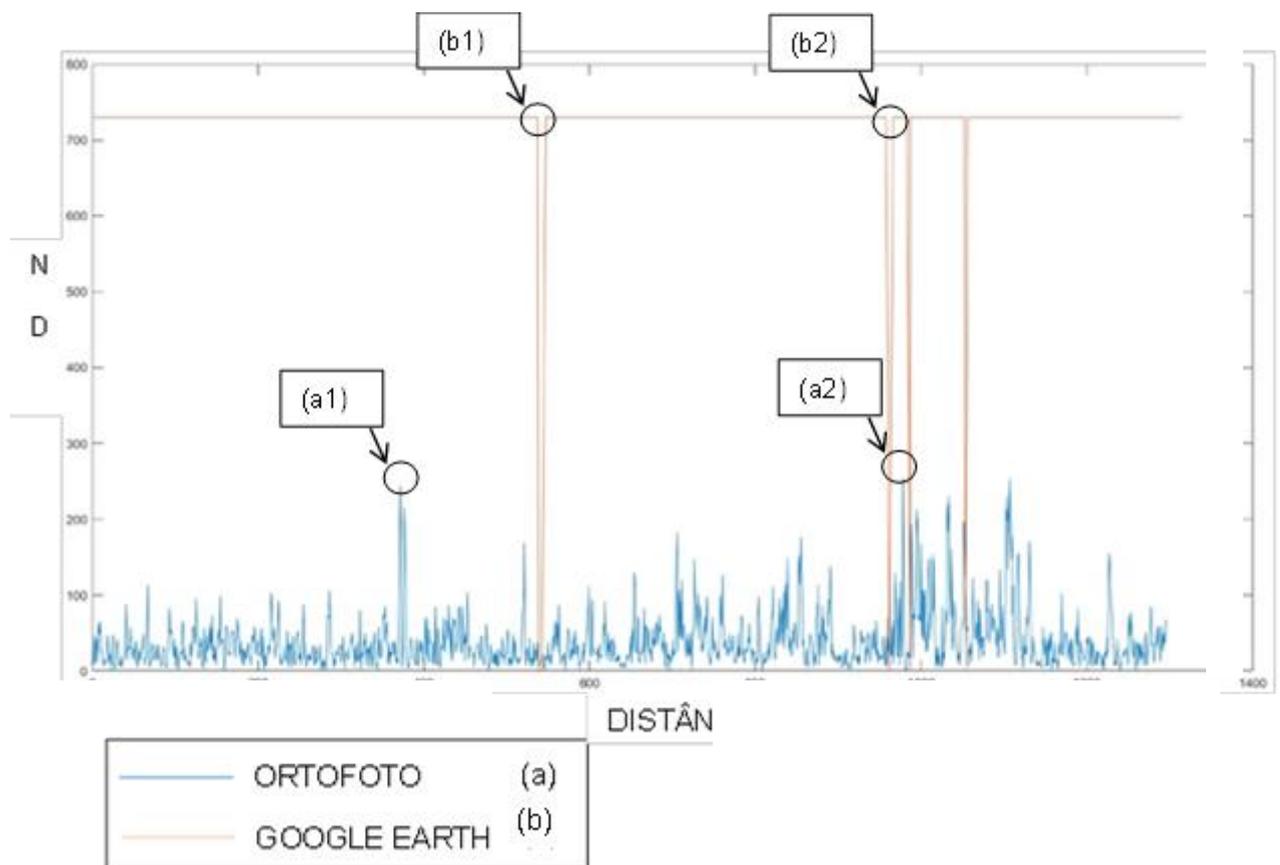
Gráfico 2 – Perfil espectral da ACP2 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.



O gráfico 2 apresentado acima, destaca as transições entre os atributos de acordo a distância espectral. Para a ACP2 do Google Earth, indicado pela linha rosa, tem-se em (b1) o começo da borda da estrada vicinal, direção NO – SE. Em (b2) início da borda de vegetação e em (b3) o começo da borda da estrada vicinal, na direção SE, e sua passagem para a borda de solo.

Nas imagens da ACP2 da Ortofoto representado pela linha azul, as áreas de transições entre as feições são ilustradas pelas regiões de maiores picos. Assim, em (a1) corresponde à detecção da borda da estrada vicinal na orientação NO – SE e em (a2) o começo da estrada vicinal no sentido SE, com mudanças para regiões de solo. Por sua vez, o comportamento espectral dos alvos pelo perfil traçado nas imagens da ACP3 resultantes de cada plataforma aérea e orbital, está representado no gráfico 3 abaixo.

Gráfico 3 – Perfil espectral da ACP3 com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 16a3 e b3. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.



Fonte: A autora, 2020.

No gráfico 3, fica observado que na ACP3 o início da detecção de bordas da

estrada vicinal (a1) na imagem da Ortofoto se inicia mais rápido do que a identificação da estrada vicinal na ACP3 da imagem do Google Earth (b1), considerando a direção NO – SE. Posteriormente, ocorre uma transição e em (b2) é detectado a borda da vegetação. E em (b3) e (a2) o começo da estrada vicinal, sentido SE, e posterior passagem para região de solo.

#### 4.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação contemplados para a pesquisa foram o MPRI e o VARI que usaram combinações de bandas espectrais na faixa do visível (R – G – B). A partir destes arranjos foram formadas imagens monocromáticas relacionadas a cada IV.

Como as imagens monocromáticas resultantes do IV MPRI e do VARI de cada plataforma aérea e orbital, apresentaram uma matriz de dados com valores pequenos, provenientes dos arranjos entre as bandas espectrais, para representar e processar os alvos foi necessário à adoção de valores para o Ganho e o Offset.

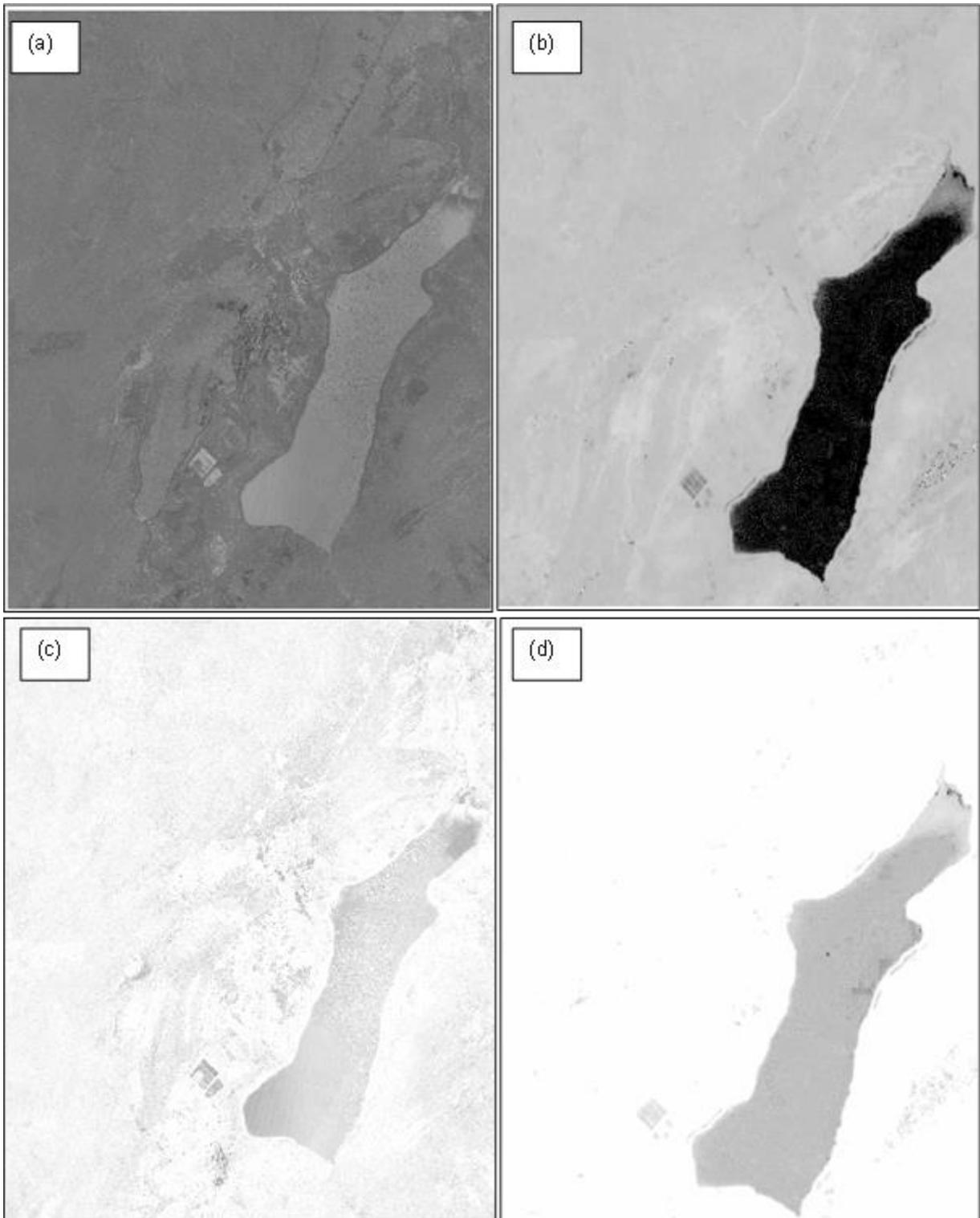
Assim, para o IV MPRI, constituído pela composição algébrica entre as bandas espectrais do verde e vermelho, foi considerado o valor de 100 para o Ganho e o Offset, respectivamente, da imagem da Ortofoto e 20 para os respectivos parâmetros, no entanto, para o IV resultante da imagem do Google Earth.

Para o índice físico VARI, formado a partir dos arranjos entre as bandas espectrais do verde, vermelho e azul, os valores considerados para o Ganho e o Offset foram de 50, respectivamente, para a Ortofoto. E nas imagens do Google Earth foram de 20 para o Ganho e o Offset, respectivamente.

A adoção desses valores para os parâmetros de Ganho e Offset destacam que as imagens de alta resolução requerem valores mais elevados para conseguirem destacar a matriz de dados de uma imagem. Estando relacionado a sua característica de resolução espacial.

Na figura 17 encontram-se representados as imagens resultantes pelos arranjos aqui mencionados e a posterior formação dos índices físicos MPRI e VARI de cada plataforma aérea e orbital.

Figura 17 – Em (a) índice físico MPRI representando a imagem da Ortofoto e em (b) MPRI resultante do Google Earth. E em (c) e (d) IV VARI destacando a Ortofoto e o Google Earth, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.

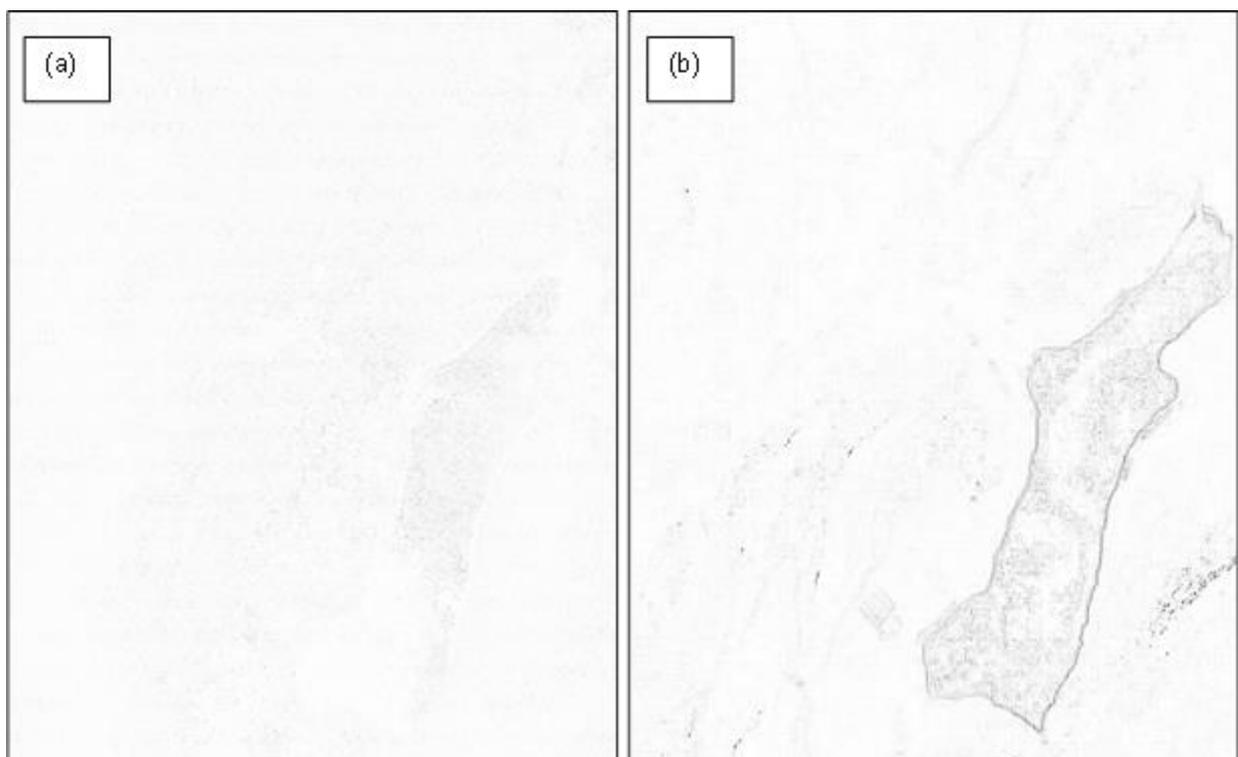
As figuras 17a e b ilustradas acima destacam o IV MPRI proveniente das

imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Como o IV MPRI é um índice físico comumente aplicado para realçar a vegetação fotossinteticamente ativa e usado no monitoramento da vegetação e cobertura do solo (LINHARES, 2016). Numa imagem, a representação das feições como estradas vicinais apresentam um realce mais escuro, enquanto que as áreas de solo exposto são representadas de forma mais clara. Dessa forma, na figura 17a as áreas de solo e construções são destacadas por estarem em regiões mais claras, enquanto que na figura 17b a borda do reservatório é mais bem identificada.

Para o IV VARI, figuras 17c e d, na Ortofoto as feições como estrada vicinal e solo são destacadas por regiões mais claras (figuras 17c), enquanto que no Google Earth, o reservatório é o que mais consegue ser destacado (figura 17d). O IV VARI, ao contrário do MPRI, tem seu uso para situações onde se deseja realizar uma autocorreção do efeito atmosférico sobre uma imagem, com apenas as bandas espectrais na faixa do visível (MOKARRAM et al., 2016).

A partir destes índices físicos resultantes (figuras 17a, b, c e d), o filtro de Sobel foi aplicado com o objetivo de minimizar os efeitos ruidosos e detectar as bordas das feições. Assim, na figura 18 são apresentadas as resultantes deste procedimento aplicado nos IV MPRI e VARI.

Figura 18 – Em (a) e (b) IV MPRI sobre aplicação do filtro de Sobel, e em (c) e (d) índice físico VARI sobre efeito do filtro de Sobel nas imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.





Fonte: A autora, 2020.

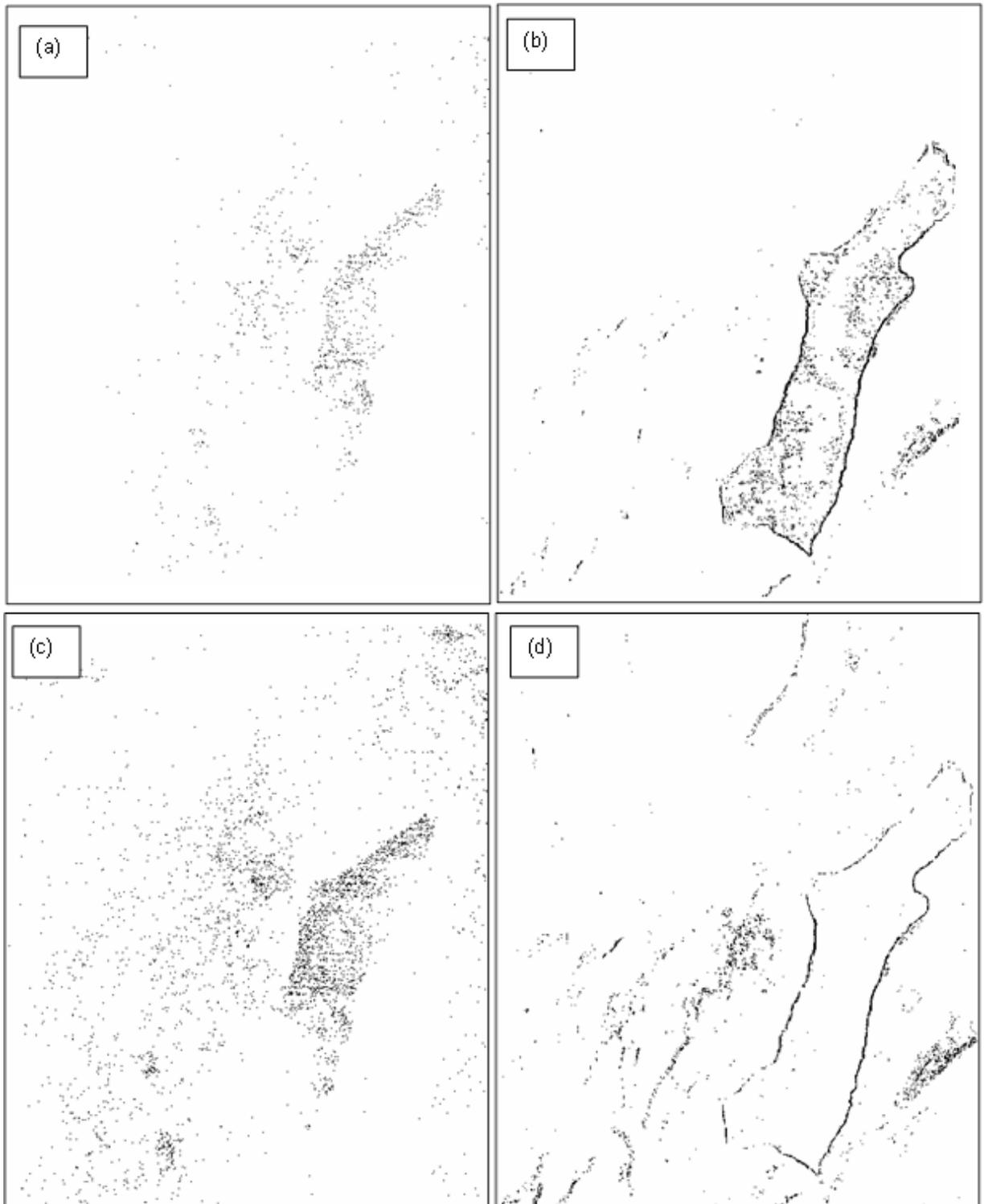
As imagens das figuras 18a e b estão representando o IV MPRI e as figuras 19c e d, resultam do IV VARI da plataforma aérea e orbital, respectivamente. Todas são resultados da aplicação do operador de Sobel. Para as figuras 18a e 18c, o filtro de Sobel minimiza a detecção das bordas dos alvos contidos na cena. Isso se dá porque as imagens de alta resolução apresentam informações espectrais com altos níveis de detalhamentos, dessa forma quando o operador de Sobel é aplicado os objetos sofrem uma variação espectral que favorecem o aparecimento de ruídos que tendem a ocultar as verdadeiras características espectrais dos objetos (ZHANG et al., 2019).

Por sua vez, quando este filtro é aplicado sobre as imagens de média resolução, figuras 18b e 18d, as bordas do reservatório são detectadas. Sendo possível devido à média resolução espacial e espectral das imagens do Google Earth, no qual favorece uma menor variação espectral dos alvos e contribui para o destaque das bordas.

De posse dessas imagens (18a, b, c e d) foi realizado uma manipulação no histograma das cenas. No qual, a partir da identificação e localização das mudanças de intensidade do pixel, os limites dos objetos que estão contidos na imagem foram caracterizados e suas bordas identificadas (MANJULA, 2017). A figura 19

apresentada abaixo ilustram os resultados obtidos a partir da manipulação do histograma dos índices físicos MPRI e VARI resultante de cada plataforma orbital e aérea.

Figura 19 – Em (a) e (b) IV MPRI sobre aplicação do filtro de Sobel e contraste negativo, e em (c) e (d) índice físico VARI sobre efeito do filtro de Sobel e contraste negativo nas imagens da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.

As figuras 19a, b, c e d, ilustram as bordas geradas a partir dos índices de vegetação em associação com o filtro de Sobel. Nas figuras 19a e b estão representadas as imagens do IV MPRI para a Ortofoto e o Google Earth, respectivamente. A figura 19b destaca a detecção da borda do reservatório que fica no entorno desta UC Parque Estadual Mata da Pimenteira.

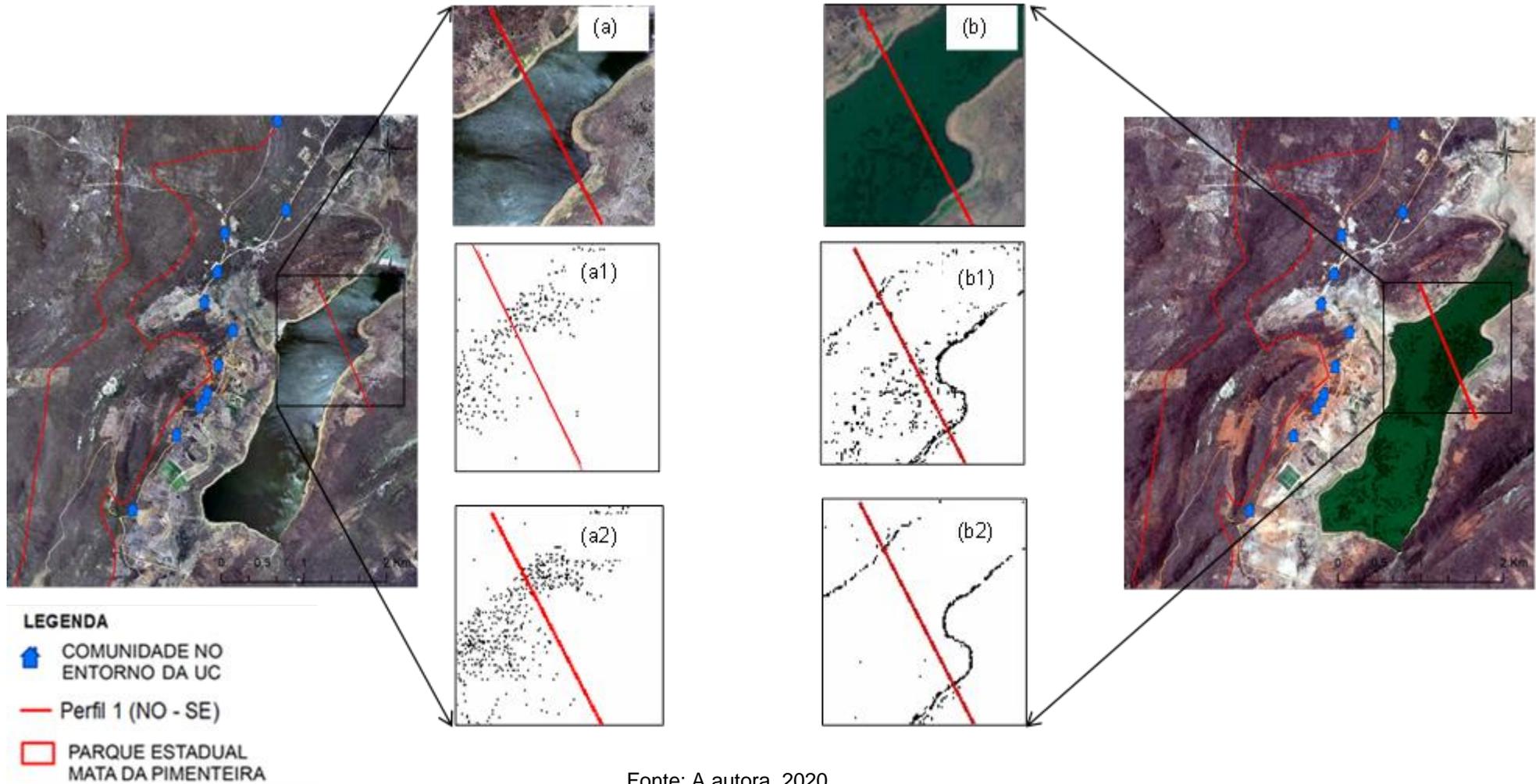
Nas figuras 19c e d, destacam o IV VARI resultante das imagens aérea e orbital, respectivamente. Conforme observado, a figura 19d as feições de estrada vicinal e do reservatório são melhores detectadas. Os resultados obtidos destacam que as imagens resultantes do processamento dos índices físicos MPRI e VARI nas imagens de média resolução, figuras 19b e d, ofertam melhores respostas. Isso se dá porque elas conseguem caracterizar as bordas do reservatório que ficam no entorno desta UC.

Os corpos de água são caracterizados por apresentarem baixa reflectância quando comparados com outros alvos como o solo, por exemplo. Assim, com o uso de métodos simples, isto é, que fazem uso de um limiar de bandas espectrais individuais ou por meio da combinação entre duas bandas espectrais na faixa do visível, essas regiões conseguem ser identificadas devido a está baixa reflectância (NAMIKAWA et al., 2016).

Em relação aos resultados gerados pelas figuras 19a e c em termos de detecção de bordas, fica observado que o uso do filtro de Sobel sobre os índices físicos promovem interferências espectrais, isto é, dificultam a caracterização da geometria dos alvos para a formação de bordas.

Para analisar o comportamento espectral dos alvos foi traçado um perfil sobre cada imagem resultante do processamento feito entre o índice físico e o operador de Sobel. Assim, o segmento de reta traçada em um recorte compreende a área envolta por estrada vicinal e solo e parte do sentido NO – SE. A figura 20 ilustra o perfil espectral traçado sobre as imagens dos IV MPRI e do VARI quando aplicado o operador de Sobel.

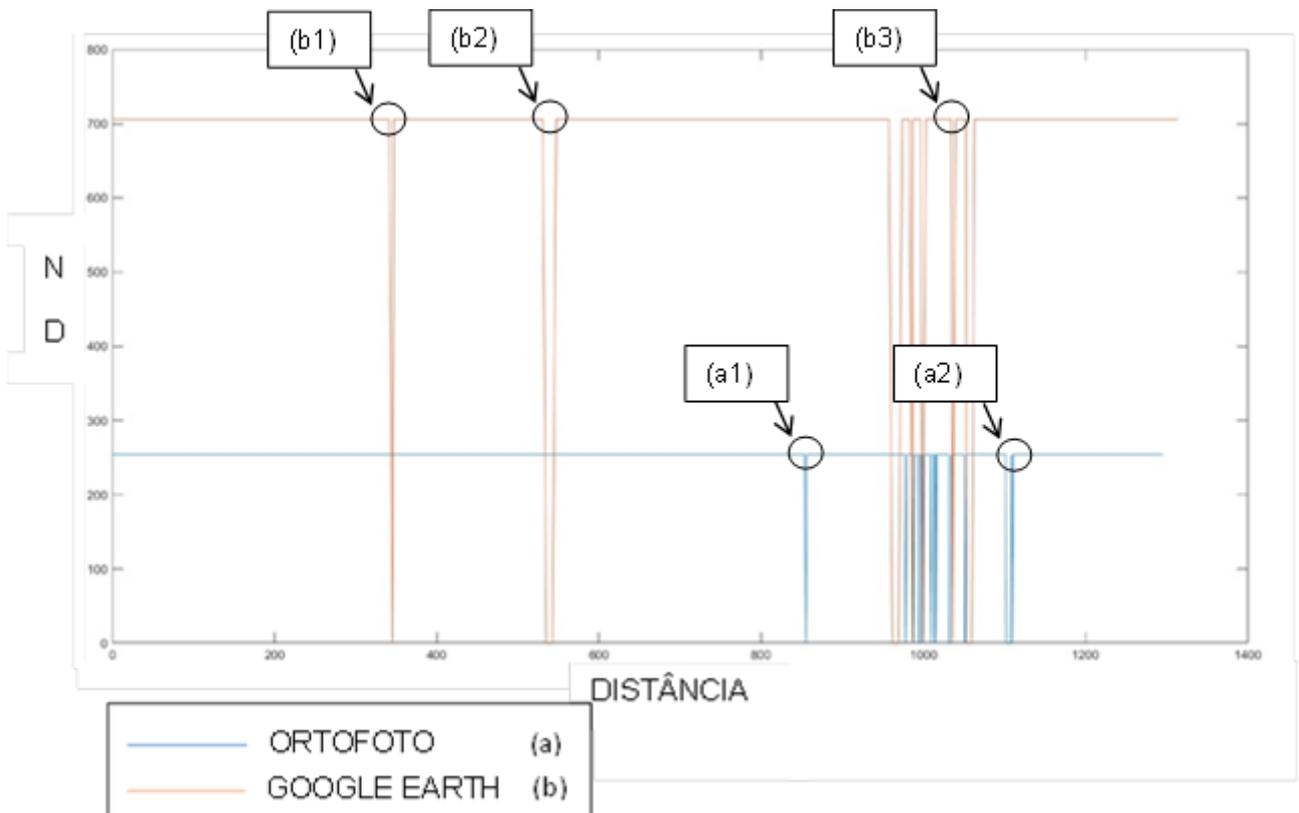
Figura 20 – Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (a2) perfil espectral do MPRI; (a2) e (b2) perfil espectral do VARI.



Fonte: A autora, 2020.

Com os perfis espectrais traçados, foram elaborados gráficos para caracterizar os comportamentos das feições e identificar os seus pontos de transições entre os alvos. Dessa forma, os gráficos 4 e 5 ilustram os perfis para o IV MPRI e o VARI, respectivamente, submetidos ao filtro de Sobel para cada plataforma aérea e orbital.

Gráfico 4 – Perfil espectral do IV MPRI com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 20a1 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo



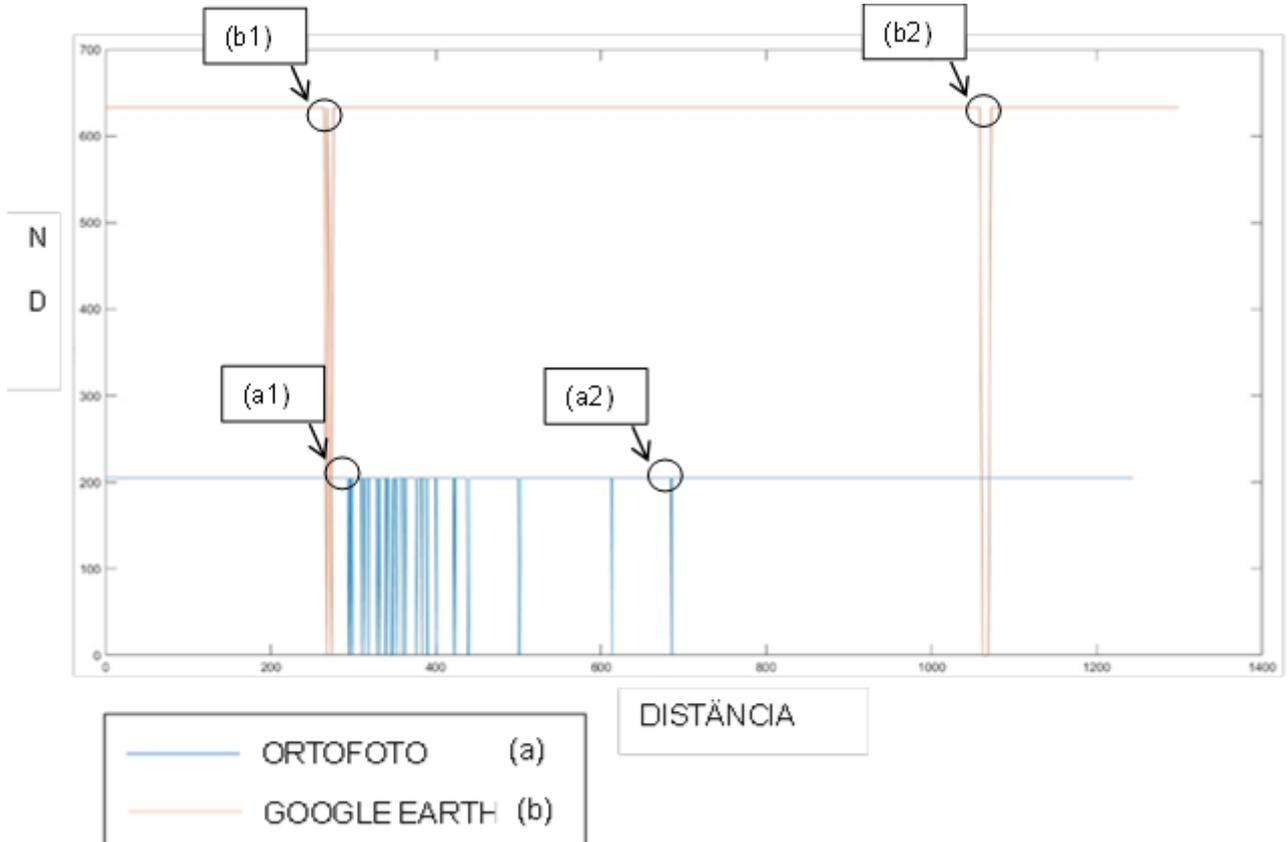
Fonte: A autora, 2020.

O gráfico 4 apresentado acima, destaca o comportamento espectral do IV MPRI com o filtro de Sobel aplicado sobre cada plataforma aérea e orbital. Conforme se observa, partindo da direção NO – SE, a borda do reservatório é identificada no ponto (b1). Em (b2), tem-se um ponto de transição entre a borda do reservatório e as partículas de água inseridas neste reservatório. E (b3) seria o começo da borda do reservatório no sentido SE.

Enquanto que no ponto (a1) até chegar em (a2), sentido NO – SE, corresponde às partículas de água que estão dentro deste reservatório.

O IV VARI está representado no gráfico 5 abaixo, no qual apresenta a dispersão entre os alvos formados por cada plataforma aérea e orbital.

Gráfico 5 – Perfil espectral do IV VARI com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 20a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo



Fonte: A autora, 2020.

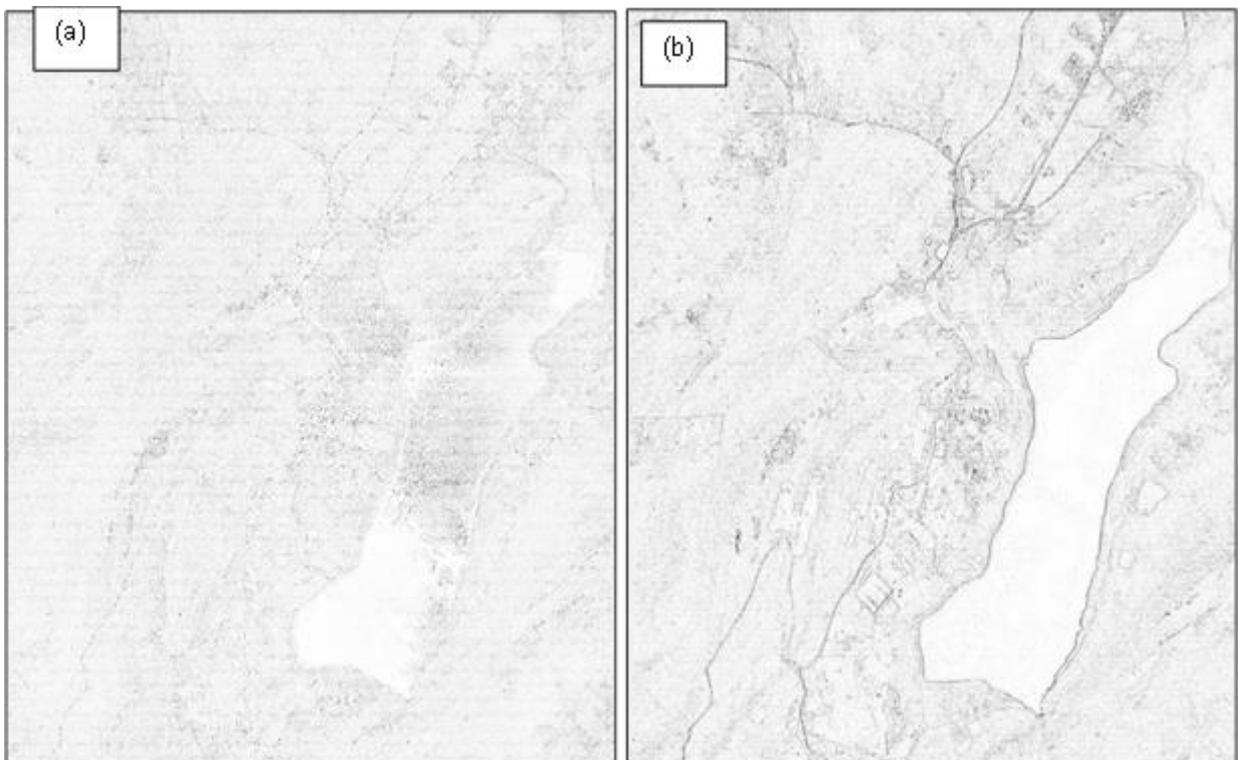
Para o IV MPRI com aplicação do filtro de Sobel nas imagens do Google Earth, tem que: em (b1) o começo das bordas do reservatório, no sentido NO – SE e em (b2) o início da borda do reservatório do sentido SE. Enquanto que para as imagens do IV da imagem de alta resolução, os pontos (a1) e (a2) seriam as partículas de água que estão inseridos dentro deste reservatório.

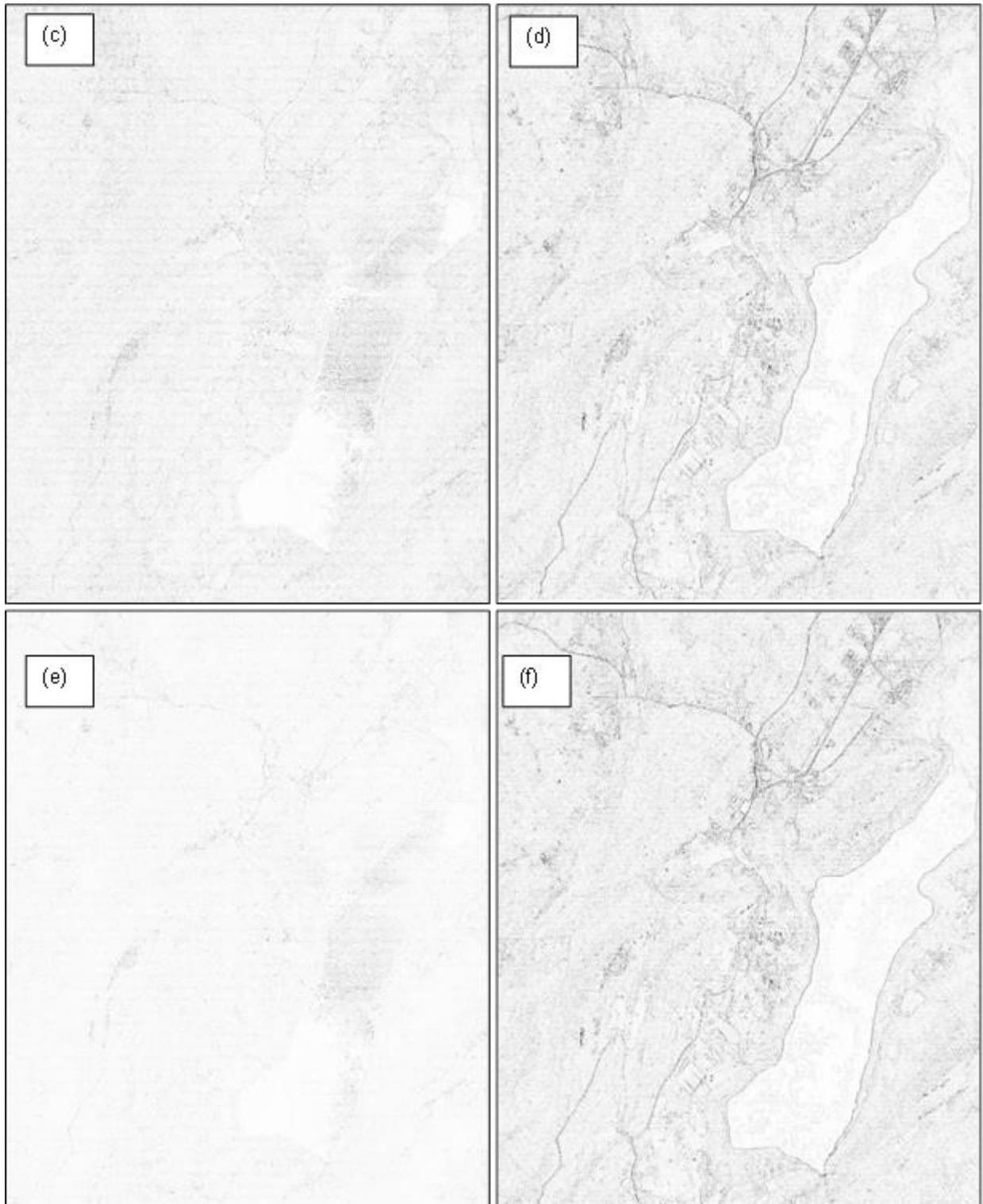
#### 4.3 DETECÇÃO DE BORDAS NAS BANDAS ESPECTRAIS INDIVIDUAIS DA ORTOFOTO E DO GOOGLE EARTH

Uma alternativa para detecção de bordas considerada nesta pesquisa foi à obtenção das delimitações dos objetos através da aplicação do filtro de Sobel sobre cada banda espectral (R – G – B) nas plataformas aérea e orbital.

Esta metodologia foi usada para analisar as bordas geradas pelas imagens de alta resolução por meio de técnicas que consideram a aplicação do operador de Sobel sobre cada banda individual. E, assim poder comparar com suas respostas entre as resultantes da plataforma orbital. Desta forma, na figura 21 são apresentadas as imagens resultantes pelo operador de Sobel sobre cada banda espectral (R – G – B) das imagens da plataforma aérea e orbital.

Figura 21 – Em (a), (c) e (e) bandas espectrais R – G - B da Ortofoto, respectivamente. E em (b), (d) e (f) bandas espectrais R – G - B das imagens do Google Earth.





Fonte: A autora, 2020.

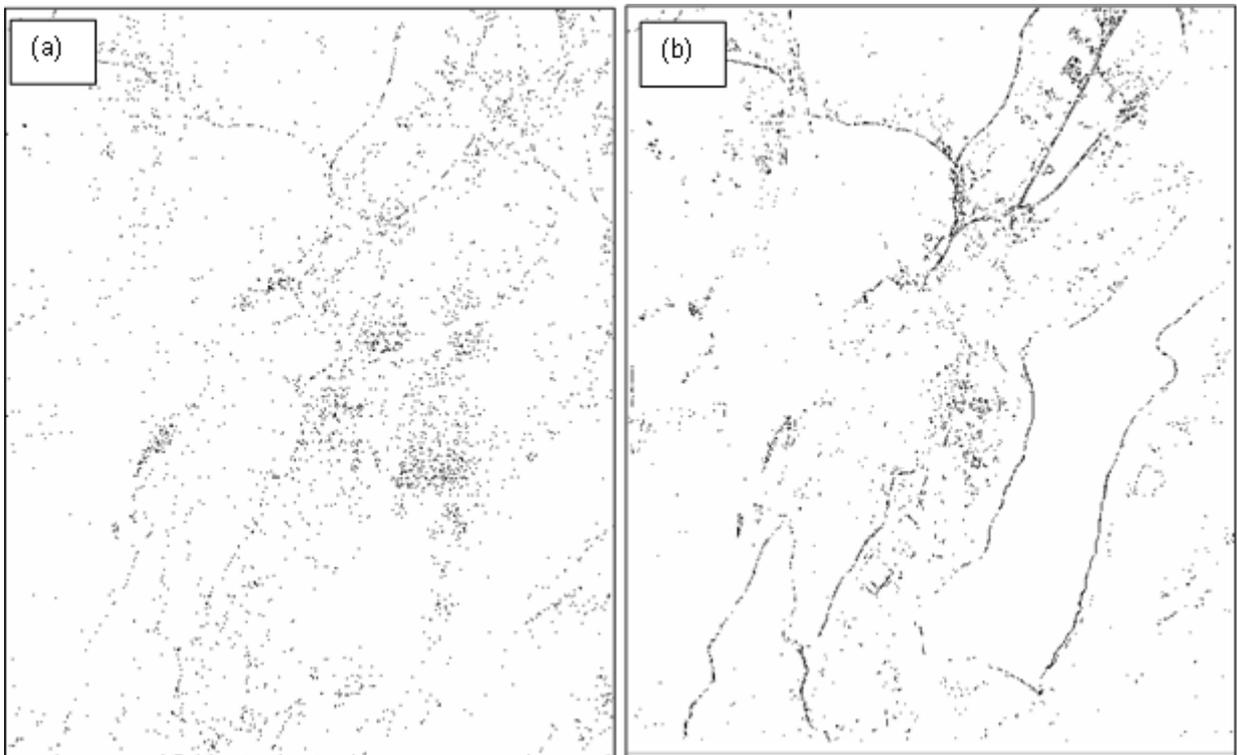
Cada imagem original da plataforma aérea (figuras 21a, c e e) e orbital (figuras 21b, d e f), foram submetidas a aplicação do filtro de Sobel. Com essas imagens resultantes, ocorreu uma manipulação no histograma e posterior aplicação do contraste. O contraste de uma imagem é definido por um limiar que considera a

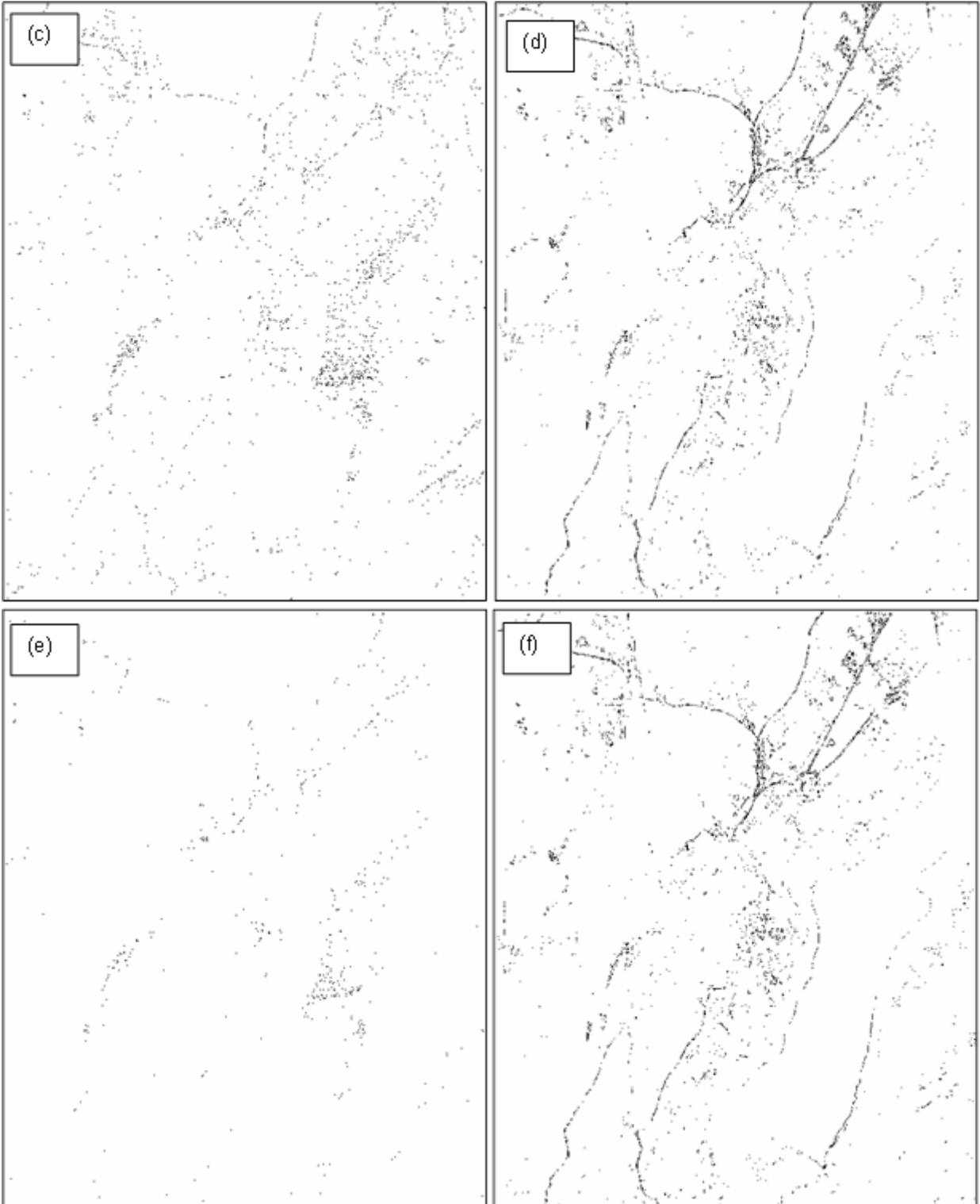
proporção entre o ponto mais brilhante e o mais escuro mediante a intensidade do pixel (PARK et al., 2008).

Como forma de aprimorar a qualidade do contraste foi aplicada a transformação negativa. No qual consiste em atribuir um determinado valor de nível de cinza para cada pixel, de forma simétrica. Desta forma, as áreas mais claras se tornam escuras e as mais escuras se tornam claras (MARQUES et al., 2007).

A figura 22 ilustra as imagens resultantes da aplicação do filtro de Sobel e manuseio do histograma sobre cada banda R – G – B da plataforma aérea e orbital.

Figura 22 – Em (a), (c) e (e) Contraste negativo aplicado sobre as bandas espectrais resultantes do Filtro de Sobel na Ortofoto. E em (b), (d) e (f) Contraste negativo usado sobre as resultantes do operador de Sobel nas bandas espectrais R-G-B do Google Earth.





Fonte: A autora, 2020.

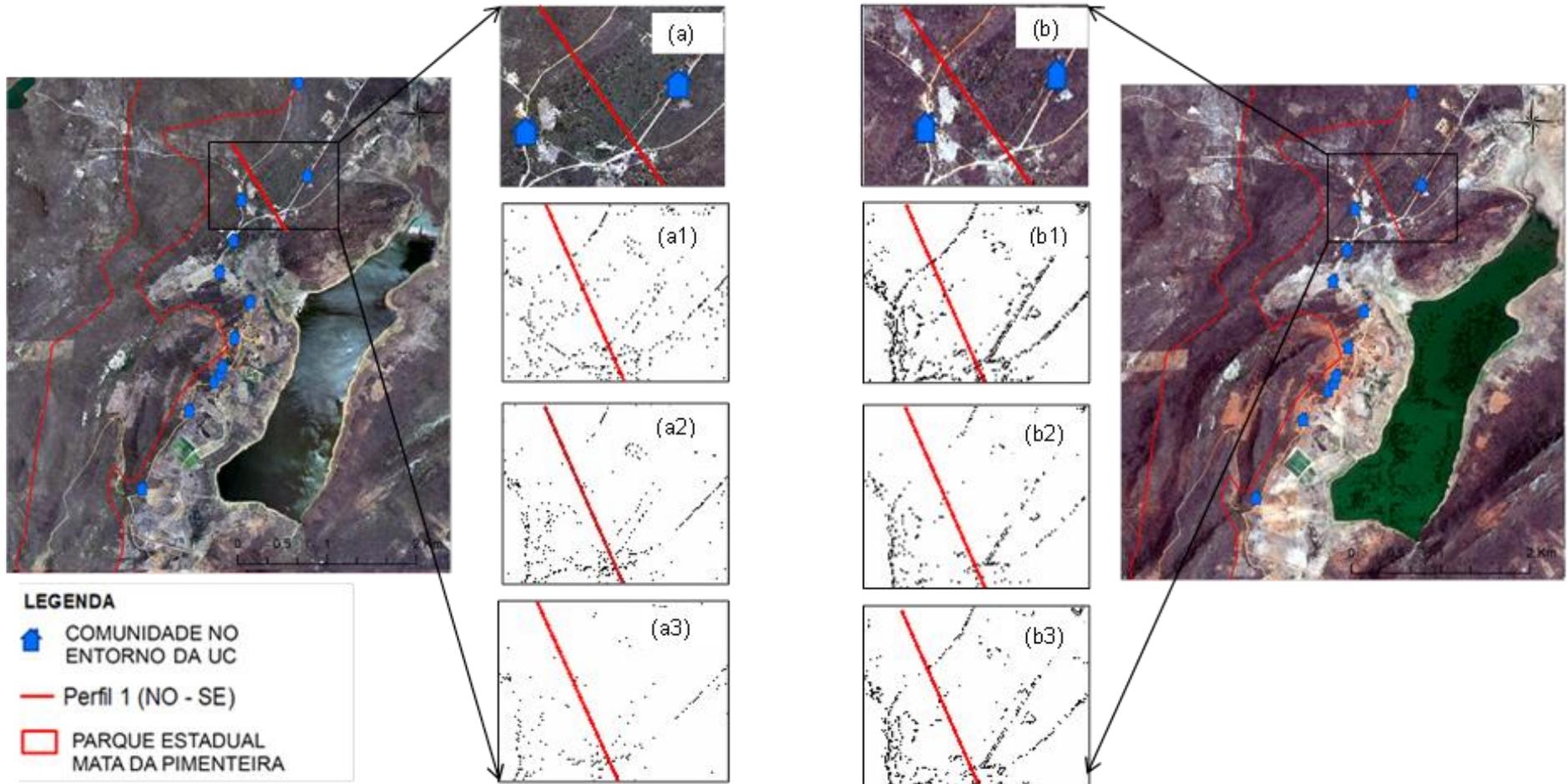
As figuras 22a, b, c, d, e, e f ilustradas acima, destacam as respostas fornecidas pelo processamento das bandas espectrais quando submetidas a atuação do filtro de Sobel e posterior manipulação do histograma.

As figuras 22a,c e e, representam as imagens de alta resolução, conforme observado acima, o operador de Sobel quando aplicado realiza um agrupamento no qual é possível identificar a borda da estrada vicinal. No entanto, deixa em evidência a formação de outros agrupamentos indesejados que não caracterizam a formação de uma feição. Isso ocorre devido à atuação do filtro de Sobel no qual depende das condições de iluminação da cena para fornecer um bom desempenho na detecção de bordas. Desta forma, quando as imagens apresentam baixa iluminação ocorre um favorecimento dos realces de ruídos (GAMAL et al., 2005).

Enquanto que para as figuras 22b, d e f, que representam as imagens resultantes da plataforma do Google Earth, as bordas detectadas são: estrada vicinal, construção e o reservatório. O nível de informação detalhadas decaem conforme a banda espectral em análise.

Para estudar o comportamento espectral destas imagens, foi traçado o perfil espectral, na região de sentido NO – SE que compreende as feições de estrada vicinal e solo. A figura 23 representa o segmento considerado.

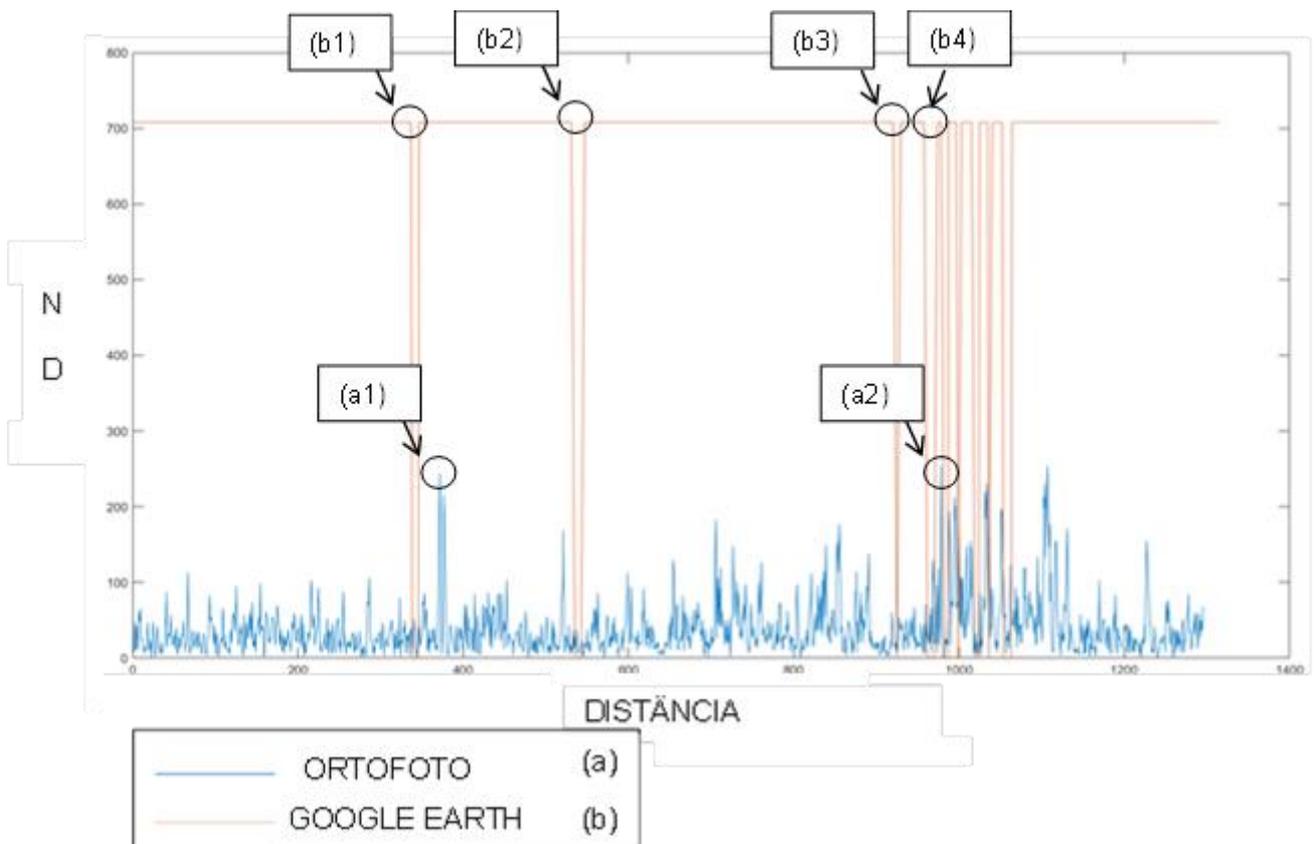
Figura 23 – Em (a) e (b) área de recorte para o perfil espectral da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente; (a1) e (b1) perfil espectral da banda R com Filtro de Sobel; (a2) e (b2) perfil espectral da banda G com Filtro de Sobel e em (a3) e (b3) perfil espectral da banda B com Filtro de Sobel.



Fonte: A autora, 2020.

Com esses perfis espectrais foram gerados os gráficos 6 a 8 e neles observados o comportamento espectral das feições. O gráfico 6 abaixo, ilustra o comportamento espectral da banda R quando submetido ao efeito do operador de Sobel em cada plataforma aérea e orbital.

Gráfico 6 – Perfil espectral da banda espectral R com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a1 e b1. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo

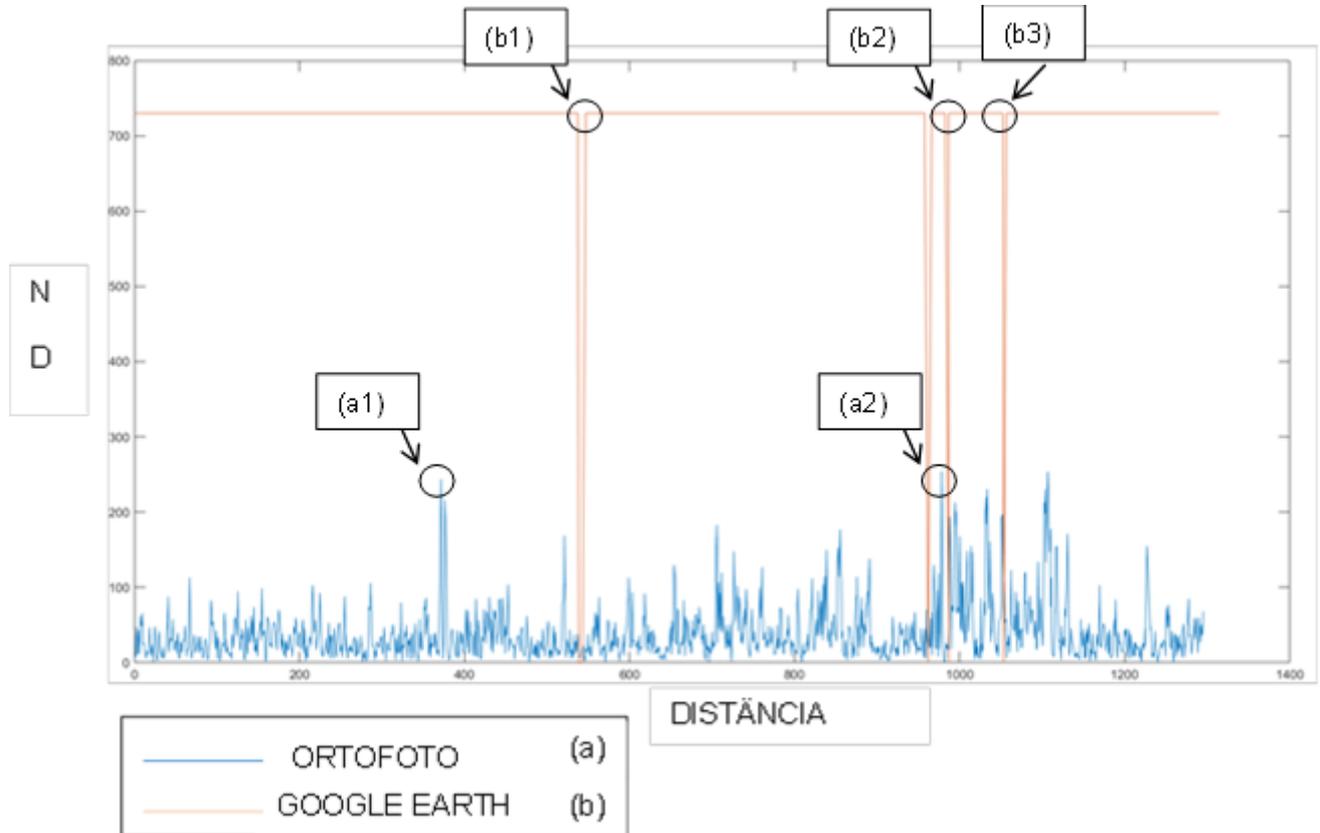


Fonte: A autora, 2020.

O gráfico 6 apresentado acima, observa-se a representação da estrada vicinal, sentido NO – SE, nos itens (a1) e (b1). Em (b2) tem-se a borda da área de vegetação e em (b3) e (a2) o detecção da borda da estrada vicinal no sentido SE. A partir de (b4) percebe-se variações espectrais que sinalizam as regiões de solo e outras feições traçadas pelo perfil.

Para a banda G com atuação do filtro de Sobel, o gráfico 7 abaixo ilustra o comportamento espectral das feições, bem como suas áreas de transições.

Gráfico 7 – Perfil espectral da banda espectral G com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo



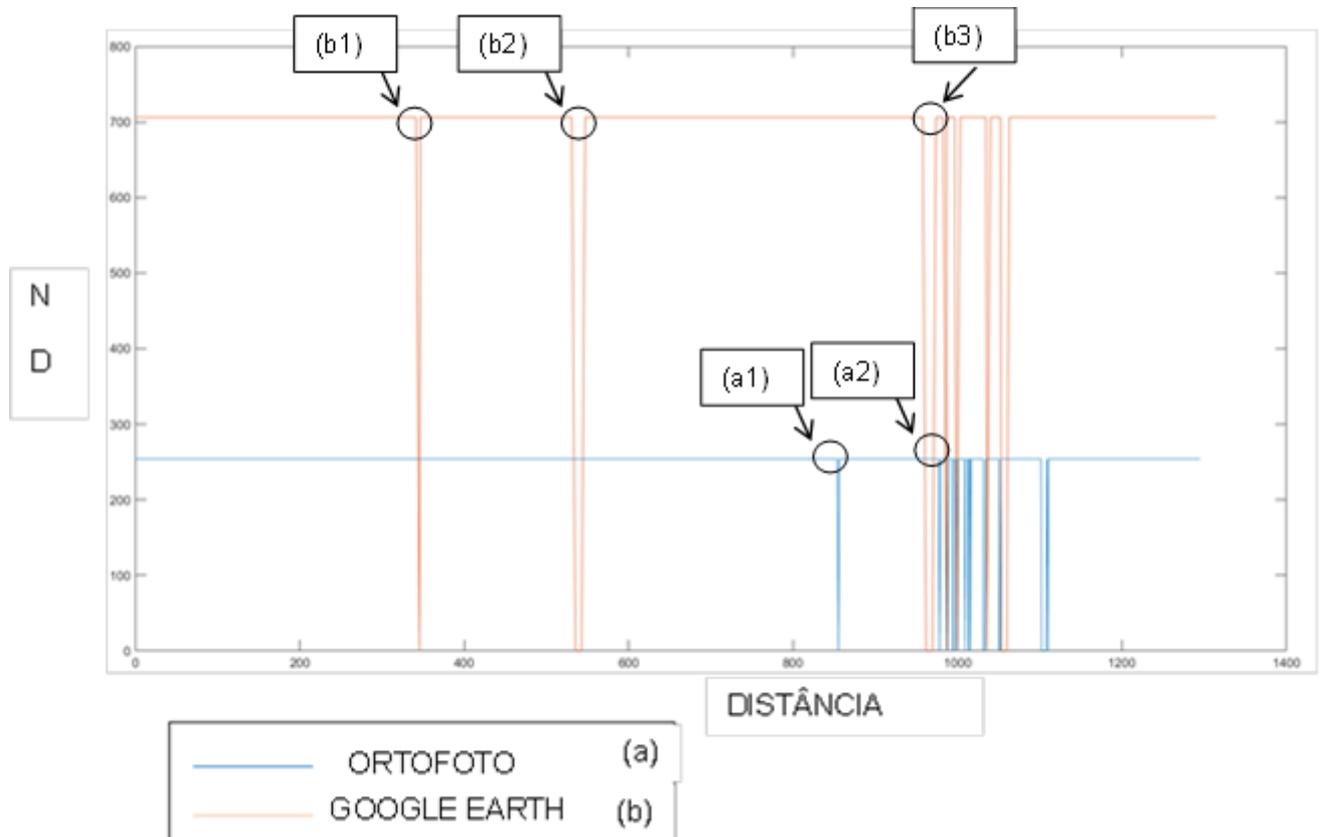
Fonte: A autora, 2020.

No gráfico 7 acima está representado o comportamento espectral da banda G com a atuação do filtro de Sobel. Em (a1) e (b1) a borda detectada pelo perfil corresponde a estrada vicinal, considerando o sentido NO – SE. Em (a2) e (b2), é a estrada vicinal do sentido SE. E (b3) seria a área de solo.

Conforme observado no gráfico 7 acima, o comportamento espectral da banda G resultante do filtro de Sobel nas imagens de média resolução, tem uma variação contínua em relação ao ND, representando bem as áreas de detecção de bordas. Por sua vez, nas imagens de alta resolução o comportamento espectral dos alvos varia em termos de ND e da distância, mas, são identificados os picos de transições entre os alvos.

Para a banda B, resultante da atuação do operador de Sobel nas plataformas aérea e orbital, o gráfico 8 abaixo ilustra o comportamento espectral dos alvos.

Gráfico 8 – Perfil espectral da banda espectral B com operador de Sobel das imagens da Ortofoto e do Google Earth, figuras 23a2 e b2. Representando as feições da borda da estrada vicinal e solo.



Fonte: A autora, 2020.

Analisando o gráfico 8 acima, observa-se que em (a1) e (b1) tem a detecção da borda da estrada vicinal no sentido (NO – SE). Em (b2) detecção da área de vegetação. E em (a2) e (b3) a transição entre a região de vegetação e borda da estrada no sentido SE.

#### 4.4 SEGMENTAÇÃO

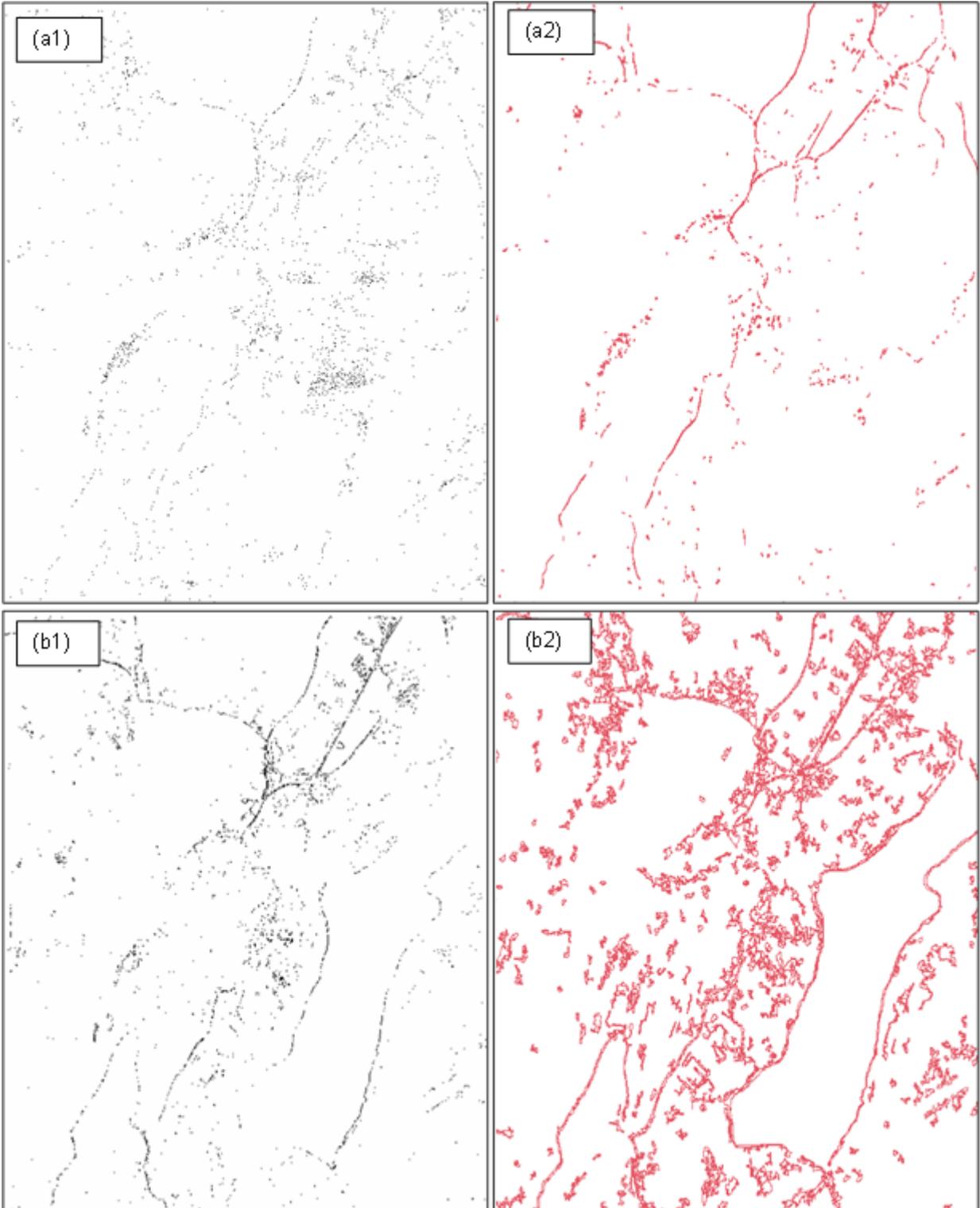
Desta forma ao utilizar o *software* SPRING para processar a segmentação sobre as imagens resultantes das técnicas de processamento por ACP, Índices Físicos (MPRI e VARI) e análise de cada banda espectral (R – G – B) a partir do operador de Sobel, foi adotado o método de segmentação por região. A partir da escolha deste método foram estabelecidos os valores de limiar para a similaridade e a área. A similaridade e a área são valores que atuam no processo de agregação dos pixels, agrupando em regiões que são definidas de acordo com a distância

euclidiana entre um pixel ou polígono que foi selecionado.

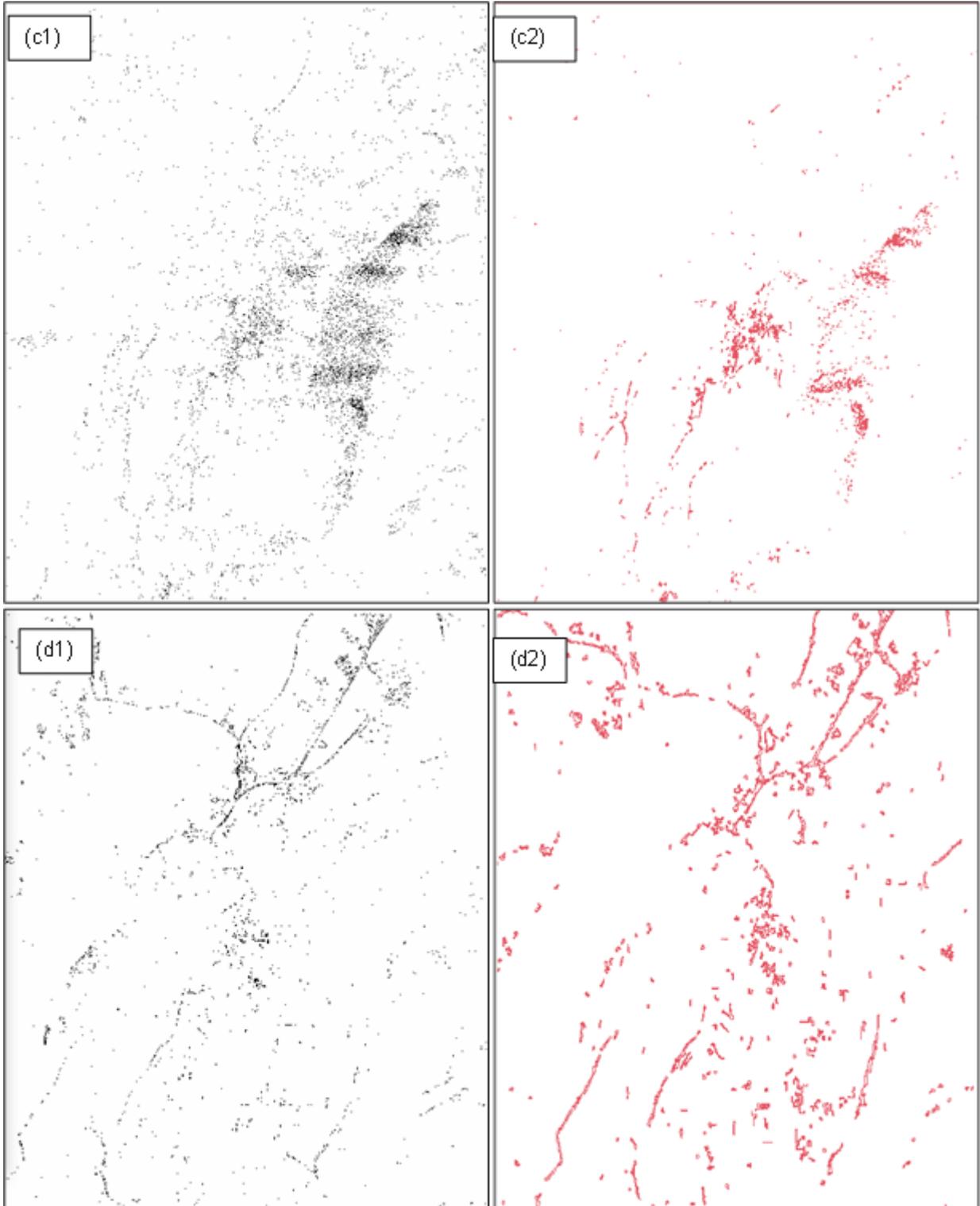
Para a ACP os valores considerados para a similaridade e a área foram diferentes devido ao nível de informação contidas em cada cena. Assim, na ACP1 da imagem de alta resolução, foi considerado o valor para os parâmetros de similaridade e área de 150 e 150, para a ACP2, 50 e 50 e ACP3, 40 e 40, respectivamente. Por sua vez, para as imagens orbitais foi considerado para a ACP1, ACP2 e ACP3 valores para similaridade e área de 70 e 70; 20 e 20 e 20 e 20, respectivamente.

Esses dados destacam que para o agrupamento dos níveis de cinzas e posterior formação de polígonos e classes nas imagens para detecção das bordas, a resolução espacial e espectral das imagens são fatores importantes e influenciadores da segmentação. Desta forma, quanto mais alto a resolução espacial, maiores serão os valores considerados para a similaridade e a área, assim como o tempo de processamento. A figura 24 ilustra as respostas fornecidas pela técnica de segmentação aplicada nas imagens resultantes do processamento da ACP nas plataformas aéreas e orbitais.

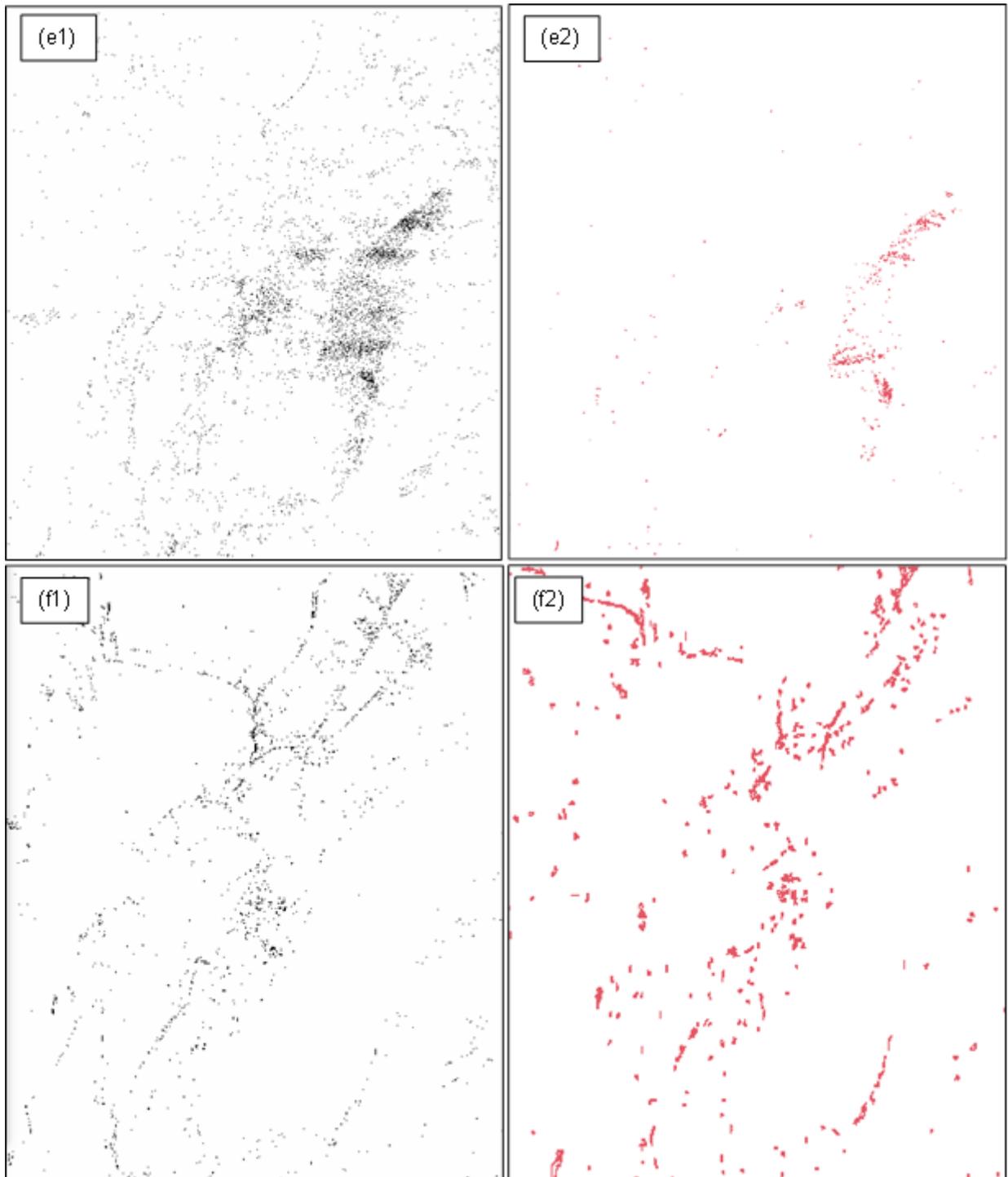
Figura 24 – Em (a1) e (b1) ACP1 da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (a2) e (b2) Imagens segmentadas da ACP1 com parâmetros 150 e 150 e 70 e 70, respectivamente. Em (c1) e (d1) ACP2 da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (c2) e (d2) com valores do parâmetro de 50 e 50 e 20 e 20, respectivamente. E em (e1) e (f1) ACP3 da Ortofoto e do Google Earth, com respectivas imagens segmentadas. E (e2) e (f2) os valores para a similaridade e área de 40 e 40 e 20 e 20, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.



Fonte: A autora, 2020.



Fonte: A autora, 2020.

As imagens de média resolução (figuras 24b1, d1 e f1), apresentaram um processo de segmentação que conseguiu delinear na imagem os polígonos e assim relacionar os objetos, ocorrendo um decrescente nível de agrupamento mediante as mudanças de componentes principais, ou seja, ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente.

Para a ACP1 (figura 24b1) houve uma maior discriminação dos objetos, sendo detectadas as bordas das estradas vicinais, construções e o lago ou reservatório. Na ACP2 (figura 24d1) houve uma diminuição no detalhamento das feições, mas a detecção de bordas destacou a estrada vicinal, enquanto que na ACP3 (figura 24f1) o agrupamento formado não constitui a geometria dos alvos.

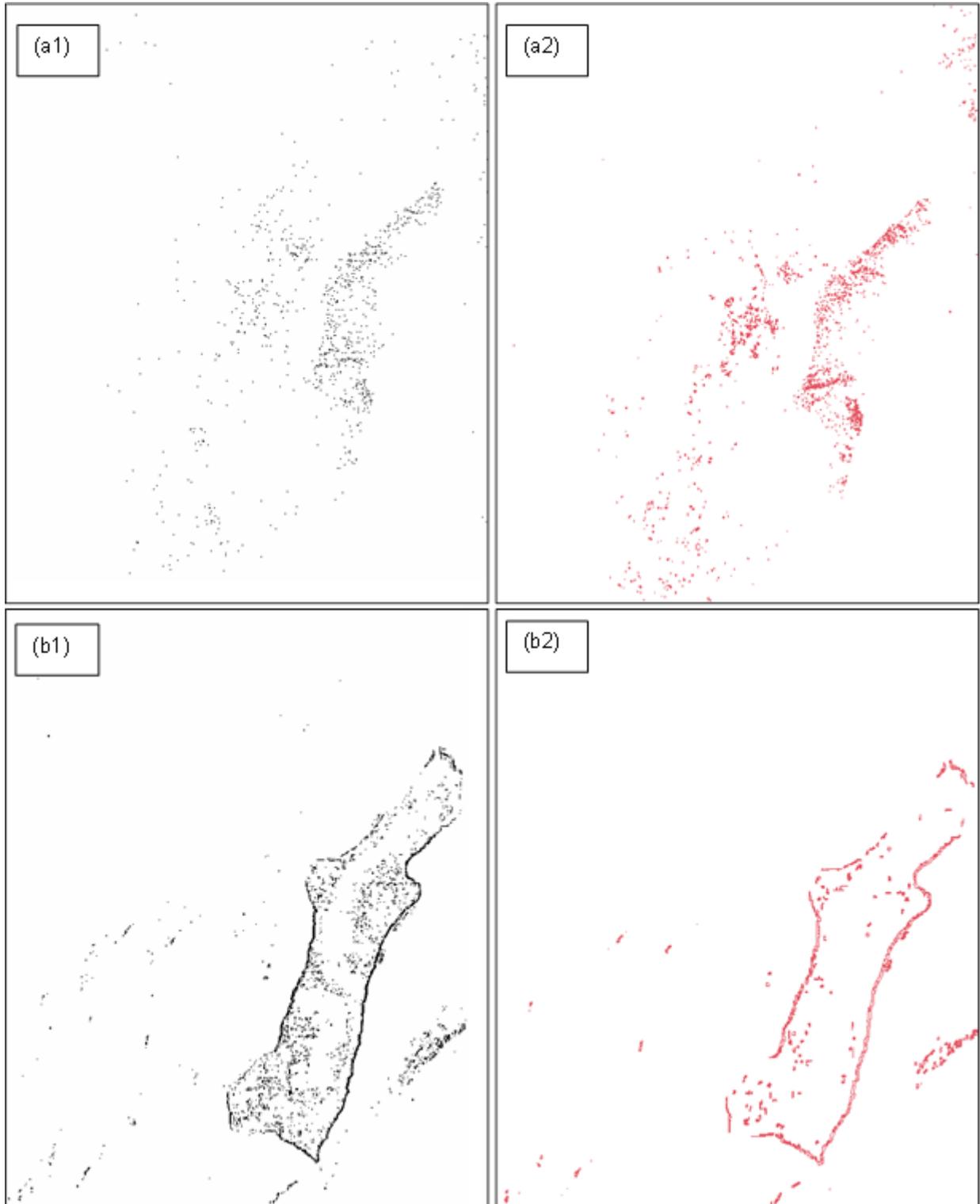
Nas imagens de alta resolução (figuras 24a1, c1 e e1), a técnica de segmentação não conseguiu discriminar as feições contidas nas imagens ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente, realçando a presença de ruídos e localização de arestas onde não há. Para Voorons (2008), as imagens de alta resolução apresentam uma grande variabilidade no nível de cinza dos objetos que estão contidos numa cena. Deste modo o padrão espectral não é suficiente para a segmentação devido à variedade de informações espectrais e estruturais (TRUJILLO et al., 2012). Sendo, portanto, observado a dificuldade em caracterizar a geometria dessas feições.

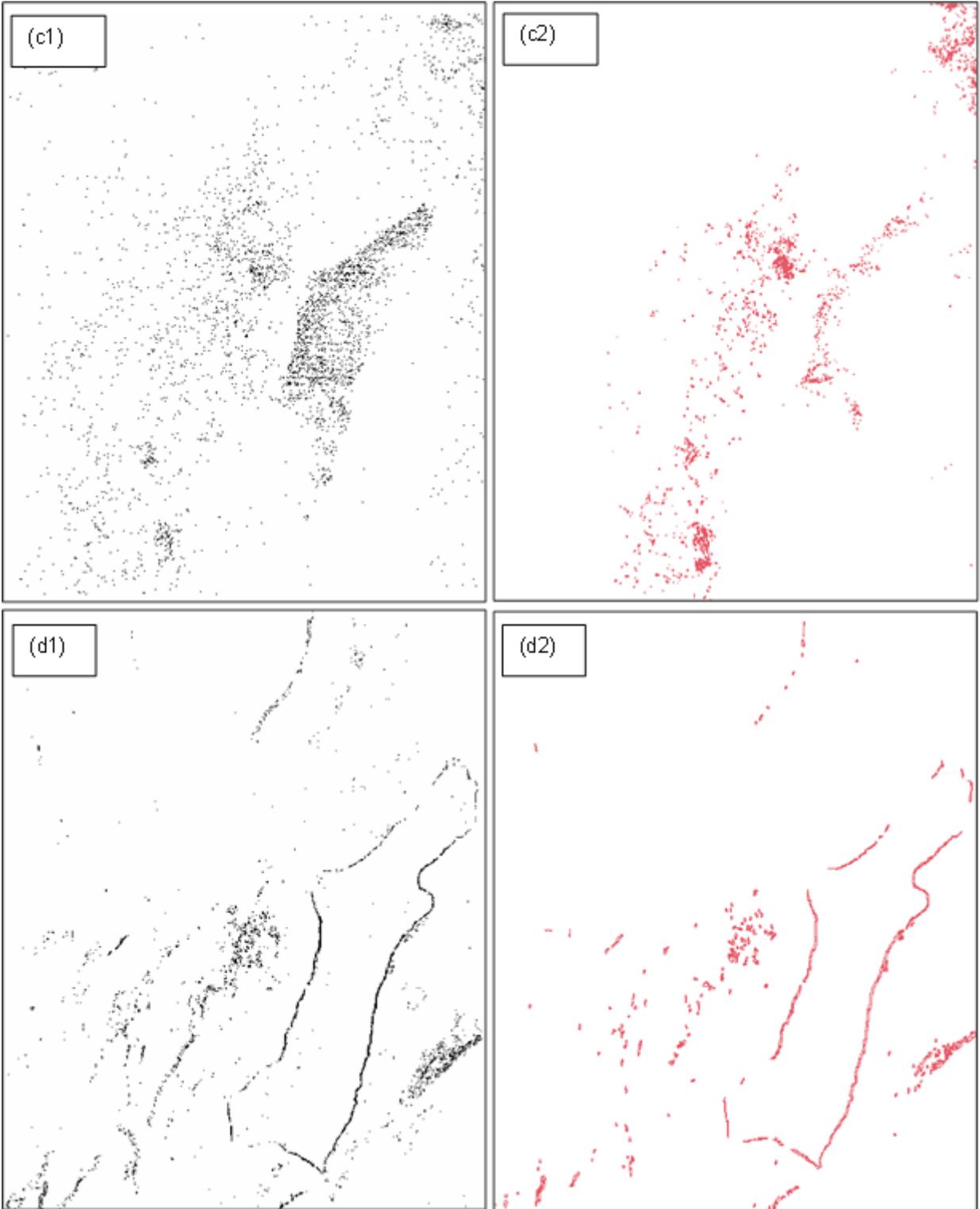
Assim, nos índices de vegetação resultantes de combinações de bandas espectrais na faixa do visível, as respostas fornecidas ainda são pouco difundidas, com resultados nem sempre satisfatórios. Desta forma, na segmentação do IV MPRI foram adotados os valores para a similaridade e área de 40 e 40, respectivamente, para a imagem aérea. Enquanto que para a orbital assumiu o valor de 20 e 20 para ambos os parâmetros da imagem orbital.

Para o IV VARI em ambas as plataformas (Ortofoto e Google Earth) foram adotadas os valores de 20 e 20 para a similaridade e a área, respectivamente. A escolha desses valores é um dos passos mais importantes da etapa de processamento da segmentação, pois definem o limiar de homogeneidade e determinam o agrupamento entre os pixels vizinhos para formar um objeto que está contido numa cena (MUI et al., 2015).

A figura 25 apresenta o resultado gerado pela etapa de Segmentação sobre os IV MPRI e VARI das cenas aéreas e orbitais.

Figura 25 – Em (a1) e (b1) IV MPRI da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E em (a2) e (b2) suas respectivas imagens segmentadas do IV MPRI com parâmetros de similaridade e área de 40 e 40 e 20 e 20, respectivamente. Em (c1) e (d1) IV VARI da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (c2) e (d2) suas respectivas segmentações com valores de 20 e 20 e 20 e 20, para a similaridade e a área.





Fonte: A autora, 2020.

As imagens segmentadas de alta resolução (figuras 25a2 e c2), resultantes dos índices físicos MPRI e VARI, respectivamente, não conseguiram detectar as bordas dos alvos, sendo destacado a formação de sinais ruidosos sobre a cena. Para Feng et al (2016), uma das problemáticas da combinação entre as técnicas de processamento de índices físicos e filtro morfológico, está na sensibilidade ao ruído no qual promove nas etapas posteriores a criação de pseudo- borda nas imagens.

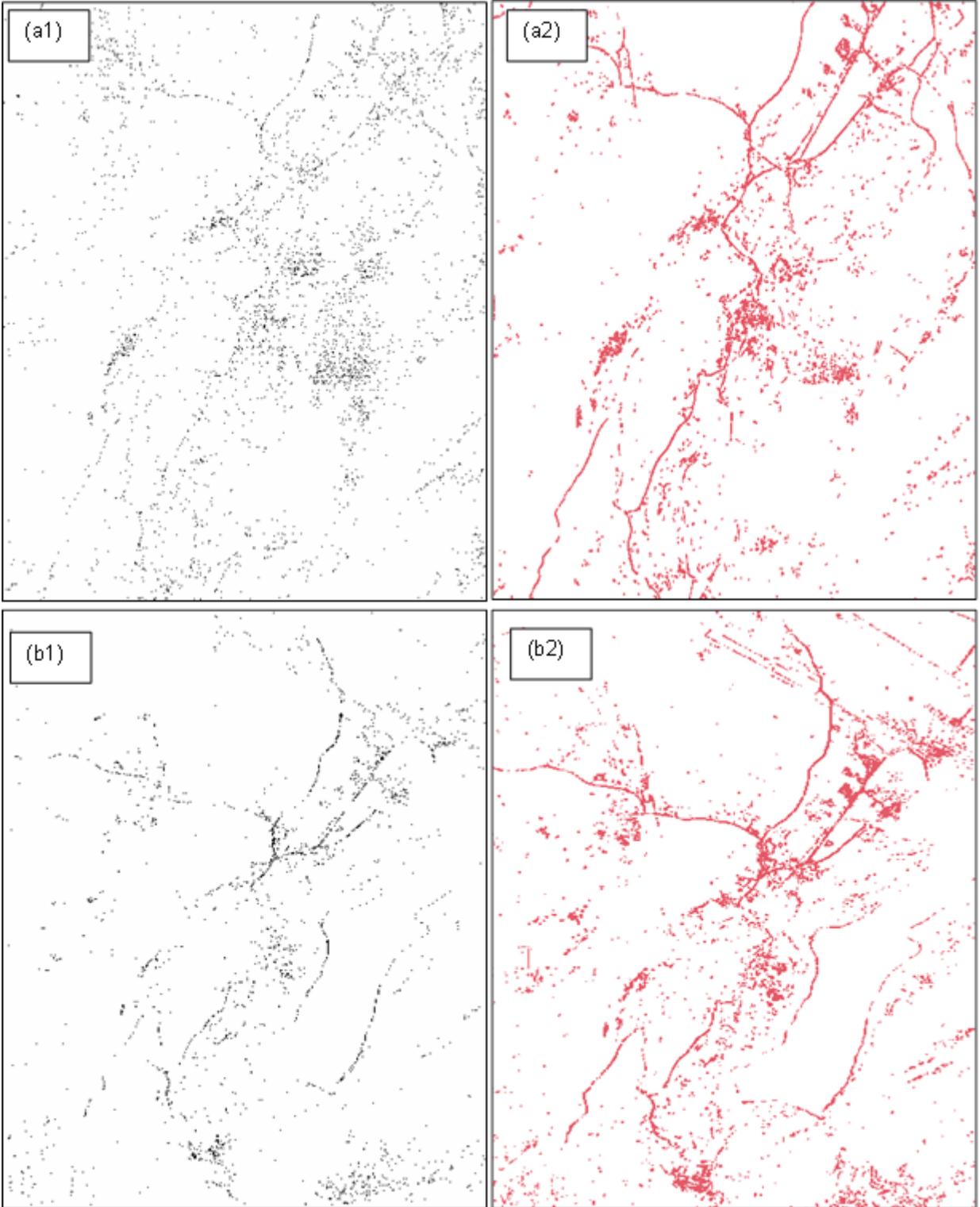
Para as imagens segmentadas do Google Earth (Figuras 25b2 e d2), a segmentação conseguiu delinear as bordas do lago ou reservatório, para os dois índices físicos (MPRI e VARI), porém não detectou outras feições significativas como a estrada vicinal. Isso ocorre devido à intensidade de variação da reflectância espectral entre a cobertura do solo e as áreas com presenças de corpos hídricos (JIANG et al., 2014). Para Chen et al (2014), as imagens de média resolução são ideais para a detecção da dinâmica das massas de água superficiais.

Para analisar o comportamento espectral de cada banda quando submetida ao procedimento de segmentação, as bandas espectrais (R – G – B) da plataforma aérea e orbital foram submetidas ao processamento da segmentação. Na imagem de alta resolução o valor da similaridade e da área sofreu variações conforme a banda considerada.

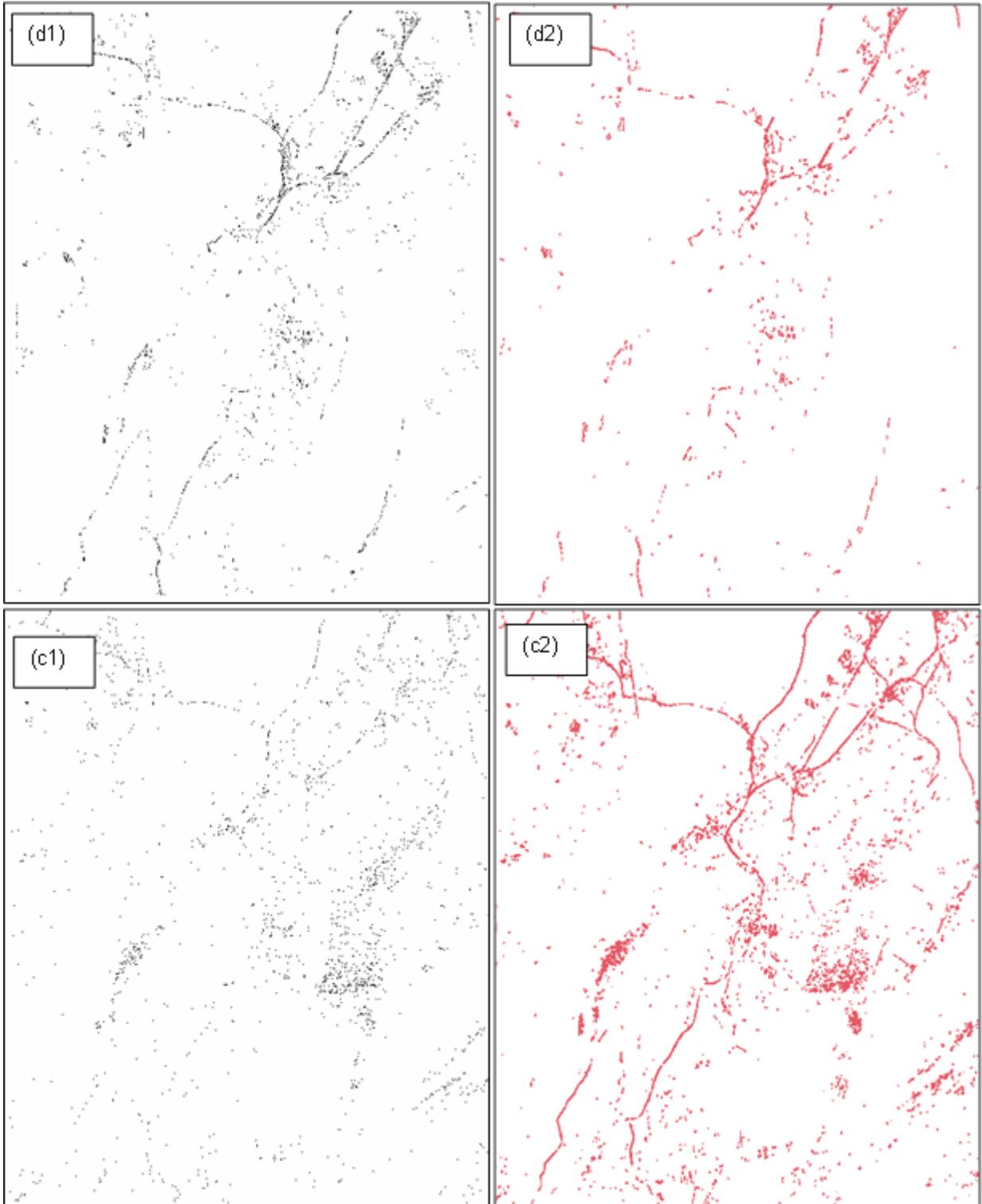
Assim, para a banda espectral da imagem de alta resolução do vermelho (R) adotou-se o valor de 90 e 90 para a similaridade e a área, para o verde (G) foi de 70 e 70 e o azul (B) foi 50 e 50, respectivamente. As imagens de média resolução (GE) fez uso de valores mais baixo para os parâmetros de similaridade e área como: 40 e 40, 5 e 5 e 5 e 5, das respectivas bandas espectrais do vermelho (R), verde (G) e azul (B), respectivamente.

A figura 26 abaixo destaca as imagens resultantes pelo processamento da segmentação aplicado sobre cada banda espectral da plataforma aérea e orbital.

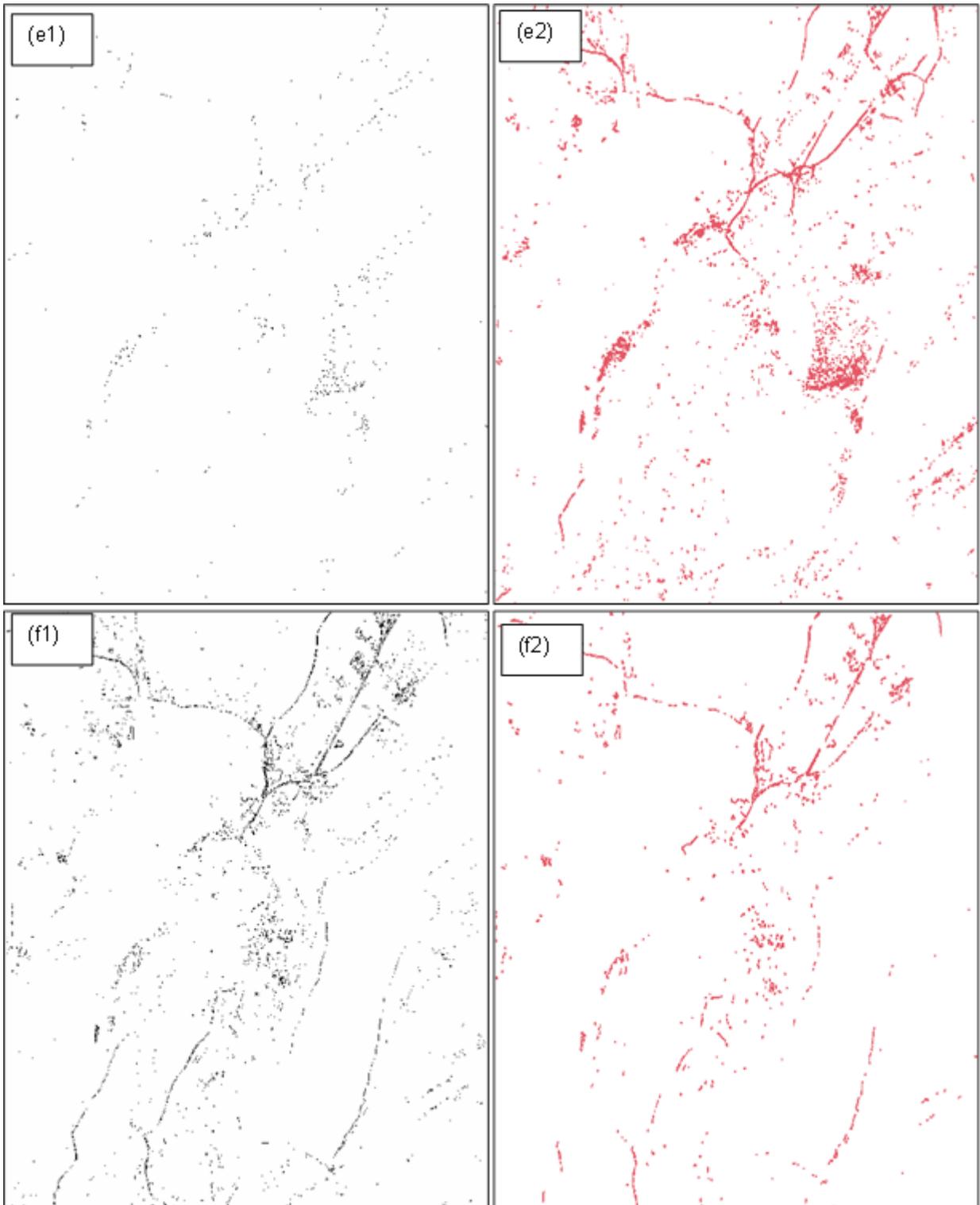
Figura 26 – Em (a1) e (b1) Filtro de Sobel aplicado na banda R da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (a2) e (b2) suas respectivas imagens segmentadas com parâmetros de similaridade e área de 90 e 90 e 40 e 40, respectivamente. Em (c1) e (d1) Filtro de Sobel aplicado na banda G da imagem aérea e orbital. E (c2) e (d2) suas respectivas imagens segmentadas com 70 e 70 e 5 e 5, respectivamente, para cada plataforma. Em (e1) e (f1) Filtro de Sobel aplicado na banda B da imagem da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. E (e2) e (f2) imagem segmentada de cada plataforma com valores de 50 e 50 e 5 e 5, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.



Fonte: A autora, 2020.



Fonte: A autora, 2020.

As imagens segmentadas de alta resolução (figuras 26a2, c2 e e2) conseguiram realizar um agrupamento dos níveis de cinza e formar polígonos capazes de detectar as bordas dos alvos como estrada vicinal e construções que estão contidas nas cenas. As respostas fornecidas sofreram variações conforme a

banda espectral, sendo mais bem representado na faixa do vermelho (R) e diminuindo conforme cada faixa. Este resultado satisfatório é resultado de uma redução individual do nível de informação de cada banda espectral das imagens de alta resolução, a partir do operador de Sobel.

Para as imagens segmentadas de média resolução (figuras 26b2, d2 e f2), o agrupamento entre os níveis de cinza e a formação de polígonos conseguiram caracterizar as feições dos alvos. Na imagem segmentada da banda espectral do vermelho (figura 26b2) houve maior discriminação das feições, como estradas vicinais, construções e o lago ou reservatório. Diminuindo o nível de detalhamento conforme a mudança de banda espectral, ou seja, verde (figura 26d2) e azul (figura 26f2).

Como a segmentação é uma etapa importante para a detecção de borda e resultado satisfatórios dos processamentos seguintes. A partir dos resultados gerados pela segmentação aplicada sobre as técnicas de ACP, Índices de Vegetação e na detecção de cada banda espectral das plataformas aérea e orbital, serão apresentados, adiante, as resultantes da técnica de Classificação de Imagem.

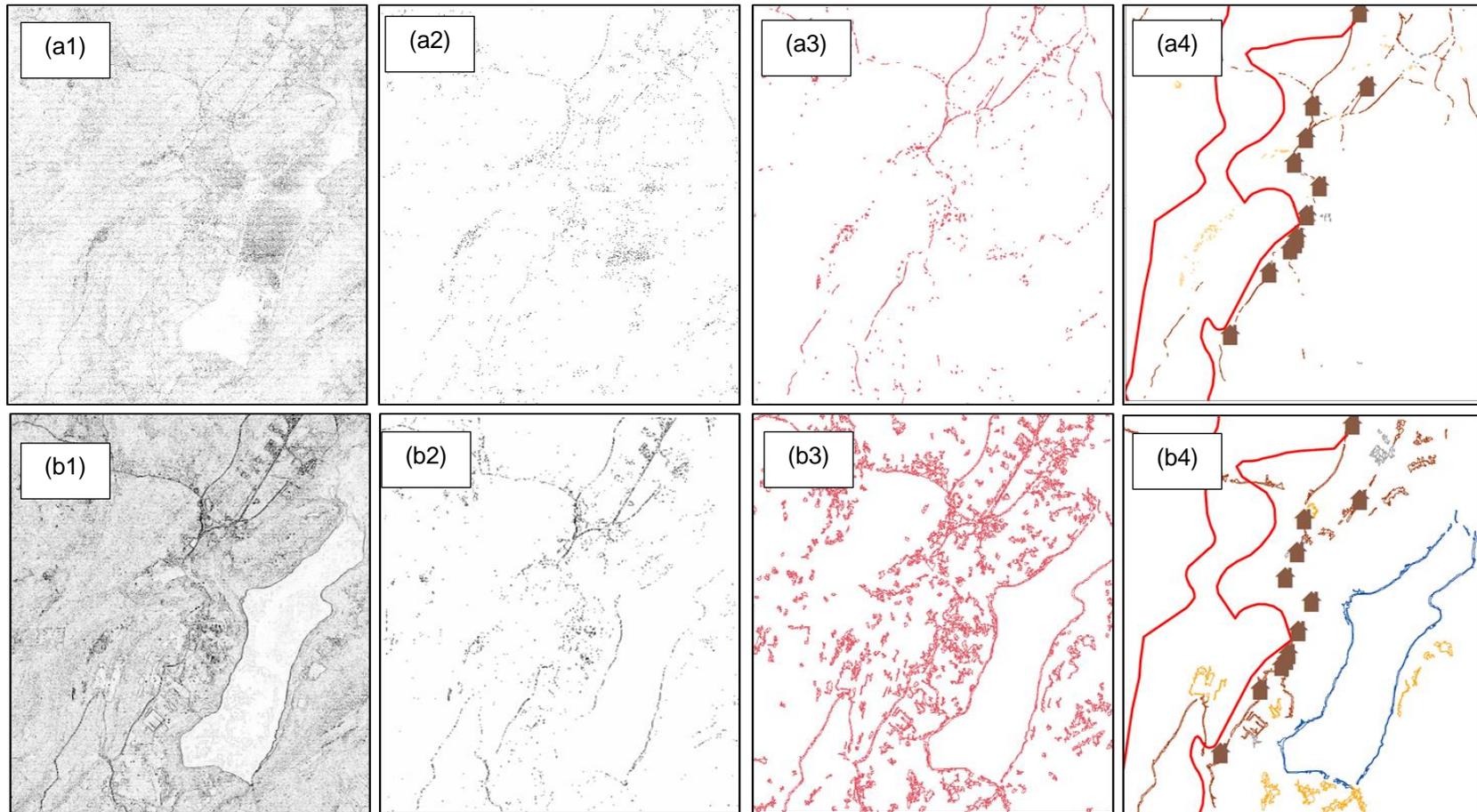
#### 4.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

Esta etapa foi um procedimento adotado para extrair e destacar as feições contidas na imagem. A classificação visa atribuir uma semântica de classe, isto é, estradas, solo, construções e outras formas geométricas que possam estar inseridas numa cena e ao qual são definidas mediante o reconhecimento de padrões (GUO et al., 2018).

Desta forma, com as imagens resultantes do processo de segmentação aplicado sobre as técnicas de ACP, Índices de Vegetação e Detecção de Bordas nas bandas espectrais de cada plataforma aérea e orbital, as classes foram extraídas e representadas. Para isso, foram definidas quatro classes denominadas como: corpos de água, estrada vicinal, construção e solo, identificadas conforme sua classificação em cada imagem.

As figuras 27 a 29 ilustram os resultados fornecidos por esta etapa de classificação aplicada sobre as imagens segmentadas e pelas técnicas de processamento abordadas.

Figura 27 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP1, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.

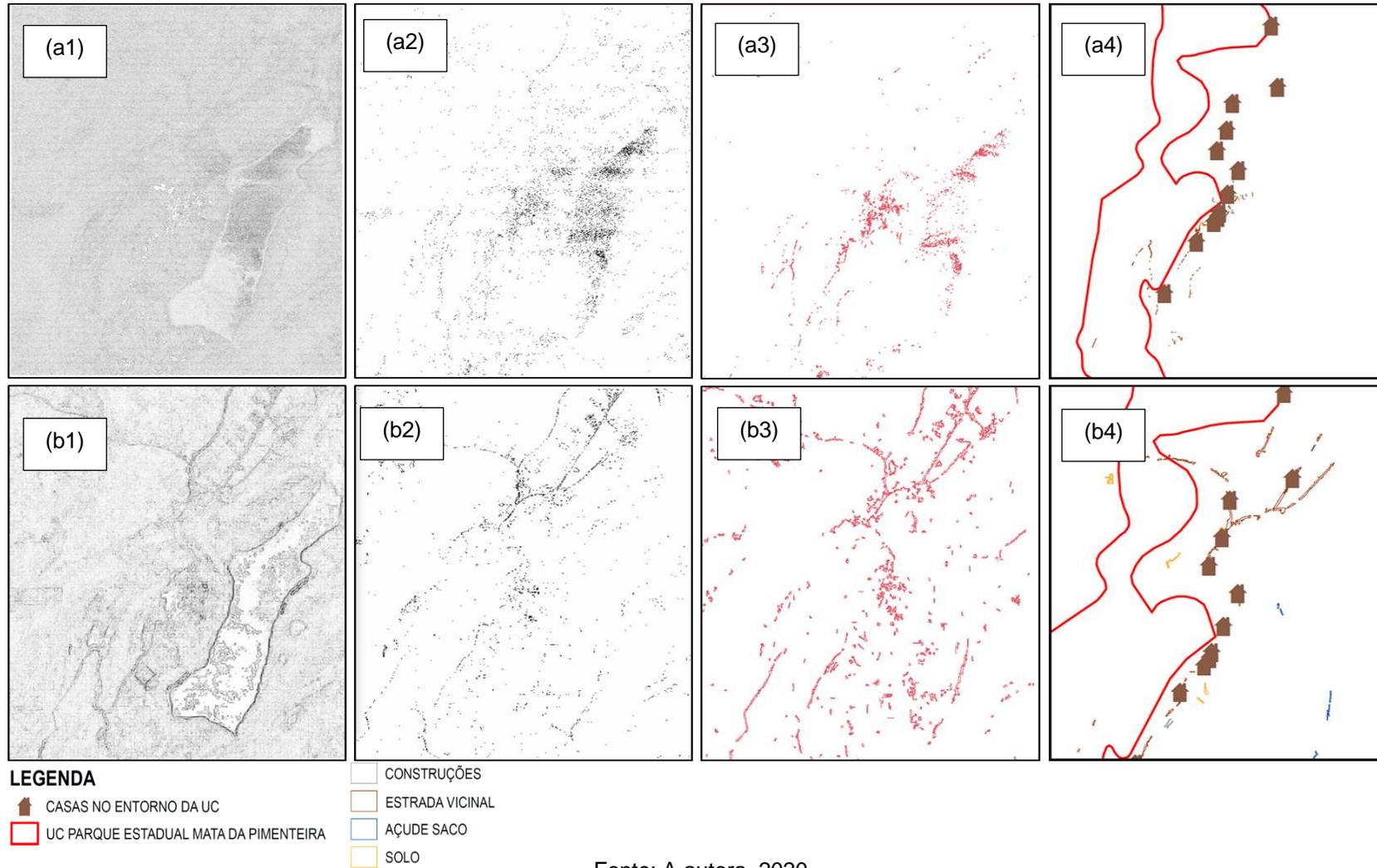


**LEGENDA**

- |   |   |
|---|---|
|  CASAS NO ENTORNO DA UC                |  CONSTRUÇÕES     |
|  UC PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA |  ESTRADA VICINAL |
|   |  AÇUDE SACO      |
|   |  SOLO            |

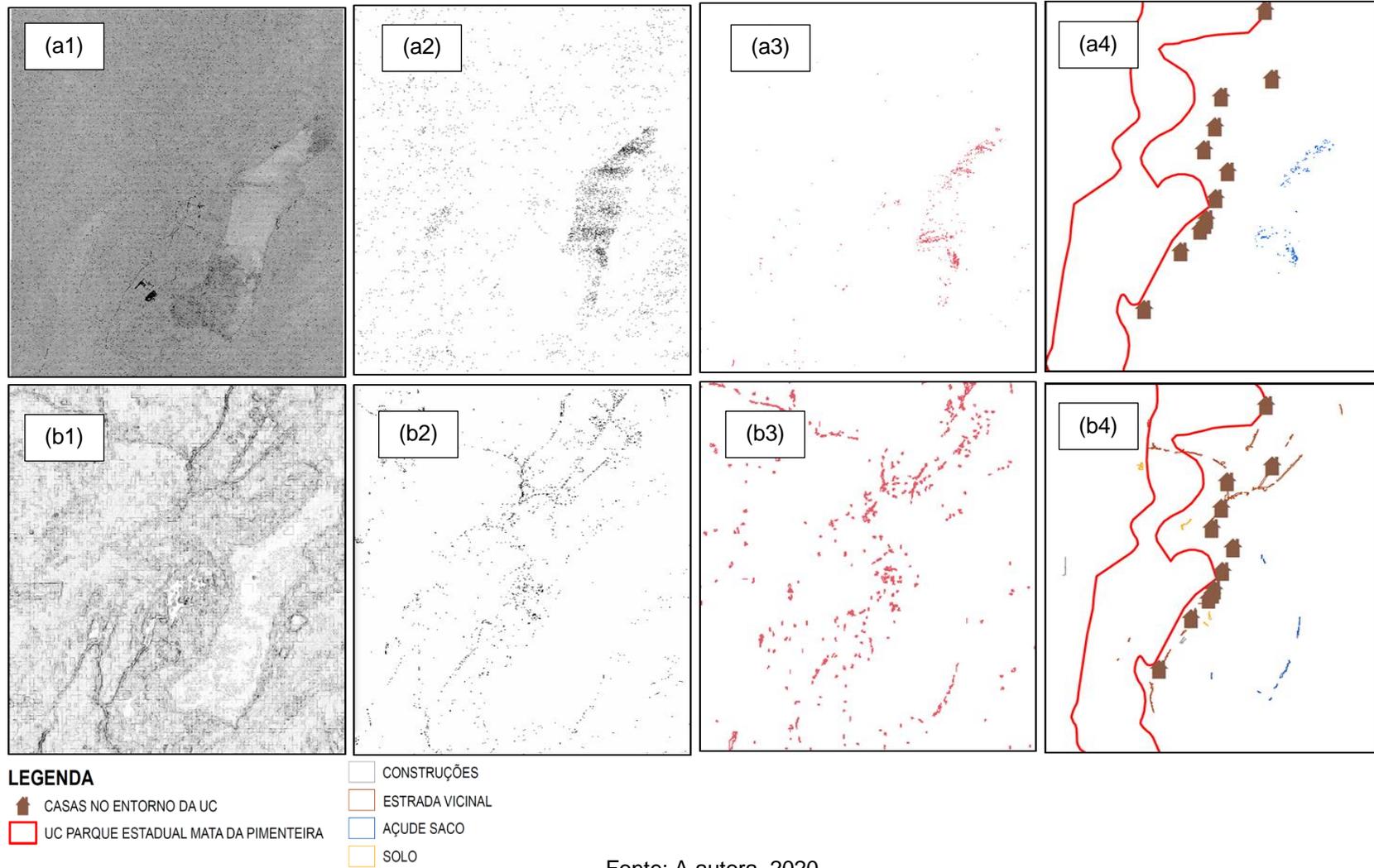
Fonte: A autora, 2020.

Figura 28 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP2, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.

Figura 29 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) ACP3, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.



Fonte: A autora, 2020.

As figuras 27 a 29 apresentadas acima, ilustram as etapas do processamento digital das imagens até a extração e posterior detecção de bordas. Nelas são observadas as bordas geradas a partir da Classificação nas imagens segmentadas resultante da técnica de Análise de Principais Componentes (ACP).

Conforme analisado, as imagens resultantes da Classificação passaram por processos de suavização visando minimizar o nível de detalhamento detectado. Assim, os atributos são classificados e separados, considerando o nível de relevância (GOOBAR, 2013).

Nas imagens da ACP1 (figura 27), a detecção de bordas compreendeu quatro classes denominada como: açude saco, construção, estradas vicinais e solo. Sendo identificadas nas plataformas aérea e orbital, conforme se observa nas figuras 27a4 e b4 que representam as resultantes da classificação das imagens ACP1. A figura 27a4 corresponde a imagem classificada de alta resolução, nela fica observado que a estrada vicinal é o alvo que mais se destaca. Enquanto que, na figura 27b4 as imagens de média resolução, detectam as bordas do açude saco e outras feições como solo e construções.

Para as figuras 28a4 e b4 que correspondem as resultantes da ACP2, na figura 30b4 os elementos como: estrada vicinal, açude saco, solo e as construções mantém suas bordas delimitadas, enquanto que na figura 28a4 fica observada uma diminuição quanto ao nível de informações representada na cena.

O ACP3 está representado pelas figuras 29a4 e b4, conforme se observa a imagem classificada de média resolução (figura 29b4), apresenta uma diminuição quanto ao nível de informação representada, no entanto, ainda identificam-se as classes de estrada vicinal e alguns segmentos de bordas de construções.

Em relação aos índices físicos, MPRI e o VARI, as imagens resultantes da segmentação foram tratadas e posteriores classificadas. Assim, as figuras 30 e 31, ilustram os produtos cartográficos formados a partir deste procedimento.

Figura 30 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) IV MPRI, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.

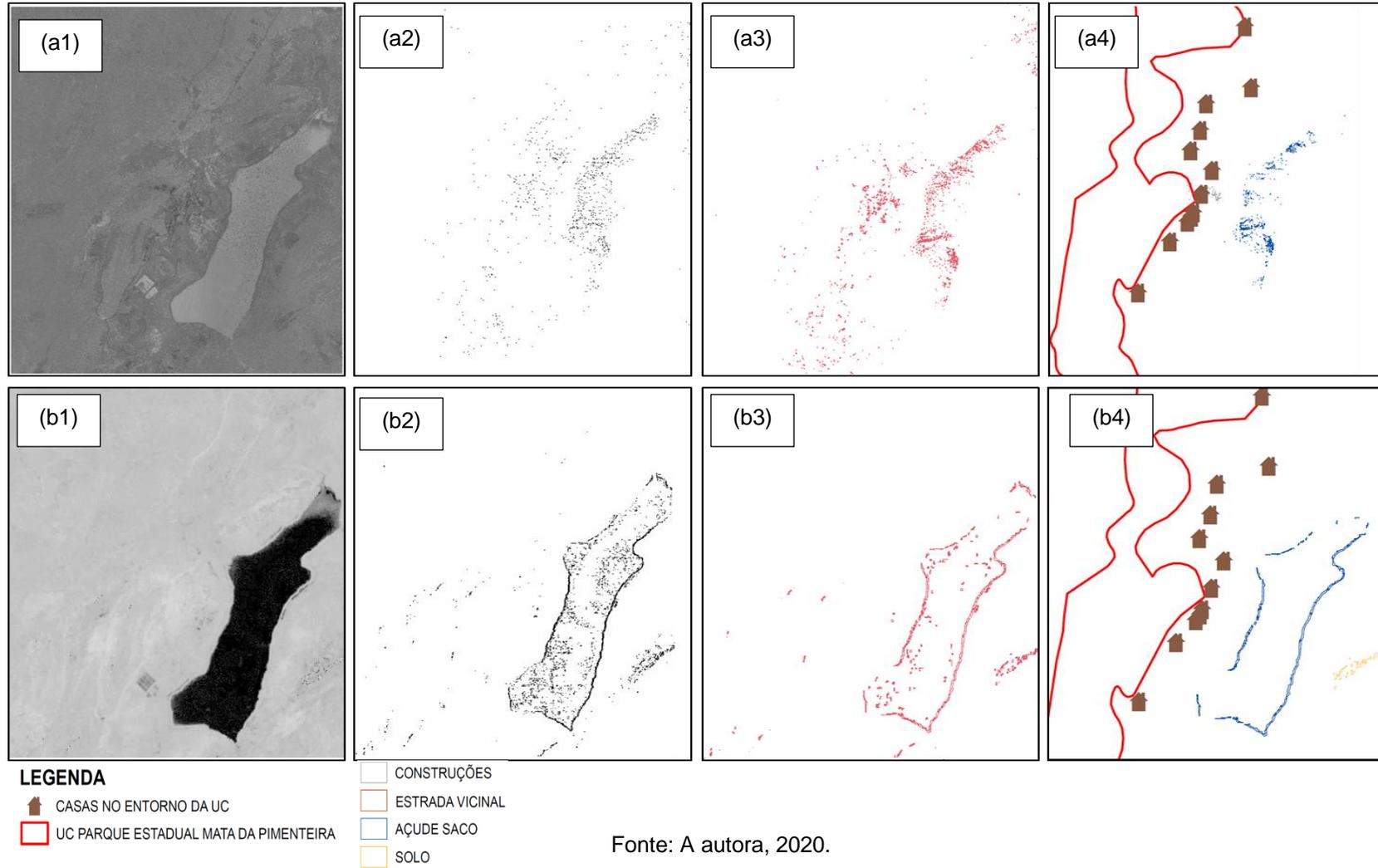
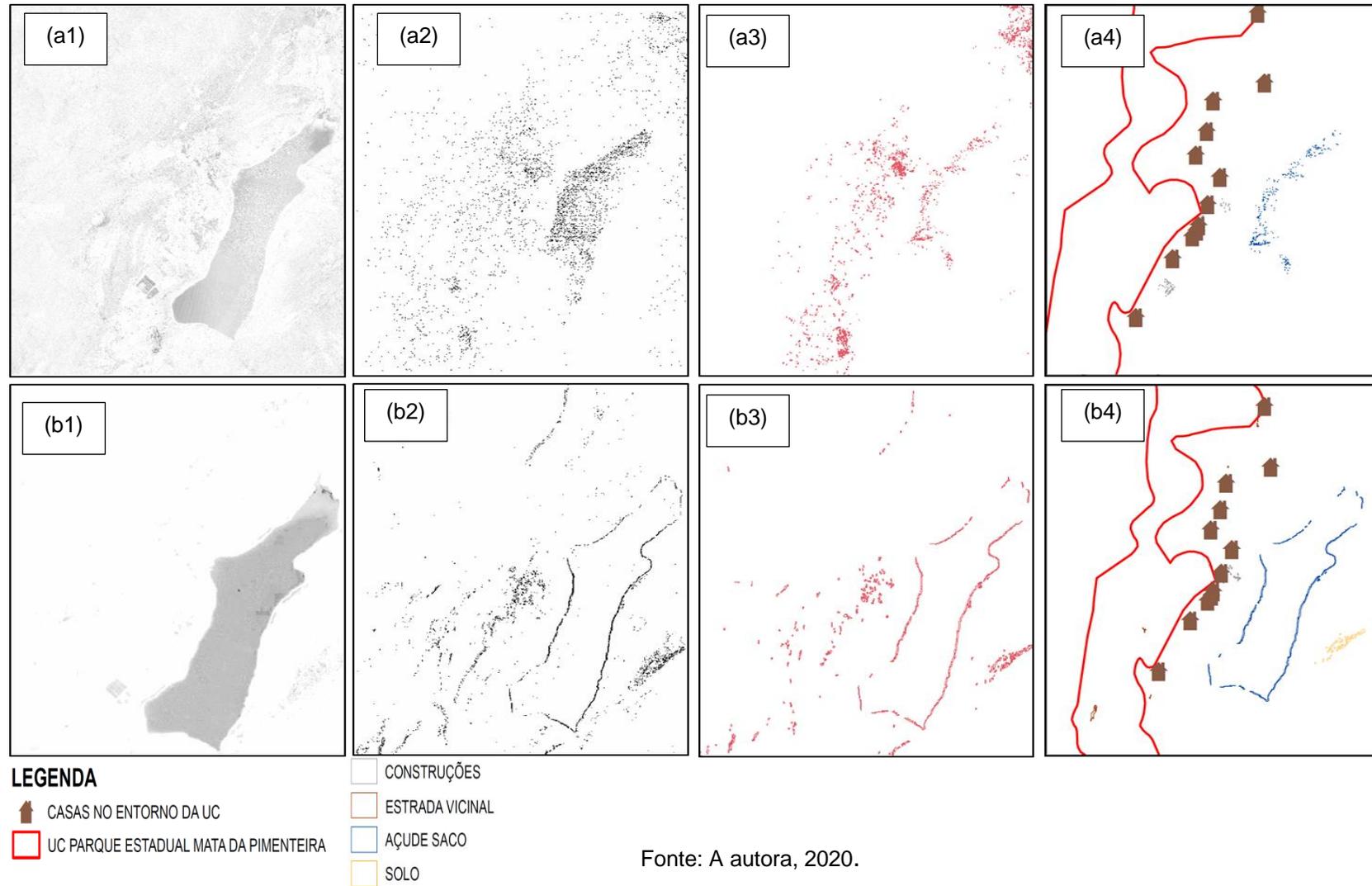


Figura 31 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) IV VARI, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente.



As figuras 30 e 31 acima apresentam os resultados obtidos a partir das imagens classificadas dos índices físicos MPRI e o VARI, respectivamente, considerando as duas plataformas aérea e orbital.

Como a classificação é resultado das etapas anteriores, em maior destaque para a segmentação, verifica-se que as imagens de alta resolução apresentam dificuldade quanto à detecção de bordas e consequente classificação dos atributos, conforme se observa nas figuras 30a4 e 31a4.

Por sua vez, nas imagens de média resolução figuras 30b4 e 31b4, os IV MPRI e VARI conseguem representar as bordas do açude saco e com presença de pouco ou nenhum agrupamento e formação de bordas de diferentes feições, como exemplo, estrada vicinal, solo e construções.

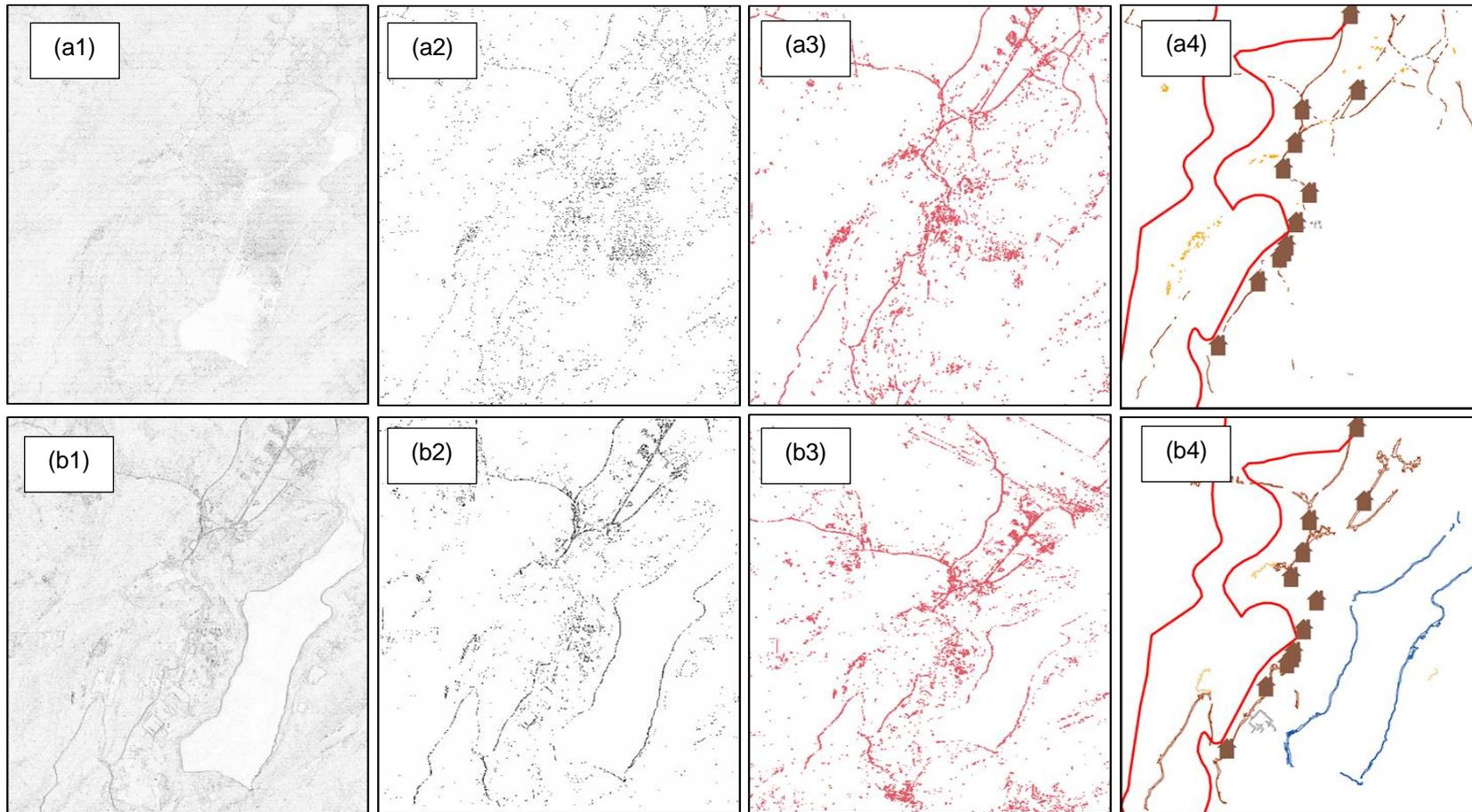
Isso ocorre porque os IVs foram desenvolvidos para serem aplicados sobre imagens de média resolução e em plataformas multispectrais. Dessa forma, as feições não conseguem ser bem definidas nas bandas R – G – B devido à menor reflectância dos alvos, além da baixa intensidade de luz contidas nas imagens de alta resolução (EL-MEZOUAR et al., 2010).

As imagens do GE apresentam uma relevante vantagem em estudos voltados para o mapeamento de uso e cobertura do solo, pois suas propriedades espaciais permitem o destaque das feições em termos geométricos, forma e contexto. Assim, atributos como estradas e rios, conseguem ser mais bem representados do que feições que requerem alta assinatura espectral (HU et al, 2013).

Cada banda espectral apresenta uma resposta diferenciada conforme os métodos empregados e a partir delas podem ser obtidos distintos atributos com maiores ou menores níveis de informação. Desta forma, com o processo de classificação, foram detectadas as bordas de cada banda espectral (R – G – B) para cada plataforma (aérea e orbital) e sobre elas analisados as feições obtidas.

As figuras 32 a 34 adiante ilustram os atributos obtidos pelo procedimento de classificação e destaca as etapas executadas anteriormente.

Figura 32 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) Banda Espectral R, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente



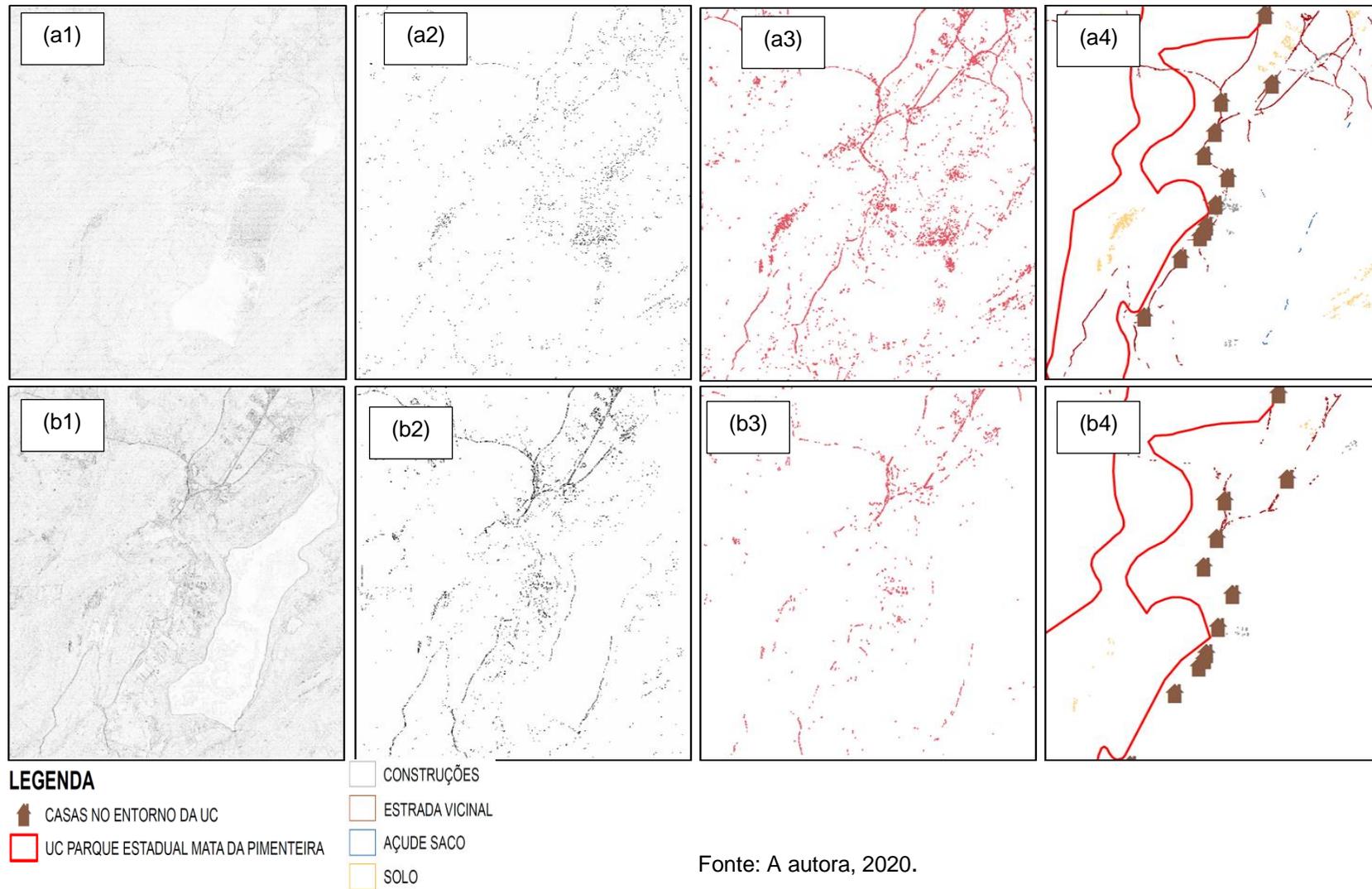
#### LEGENDA

-  CASAS NO ENTORNO DA UC
-  UC PARQUE ESTADUAL MATA DA PIMENTEIRA

-  CONSTRUÇÕES
-  ESTRADA VICINAL
-  AÇUDE SACO
-  SOLO

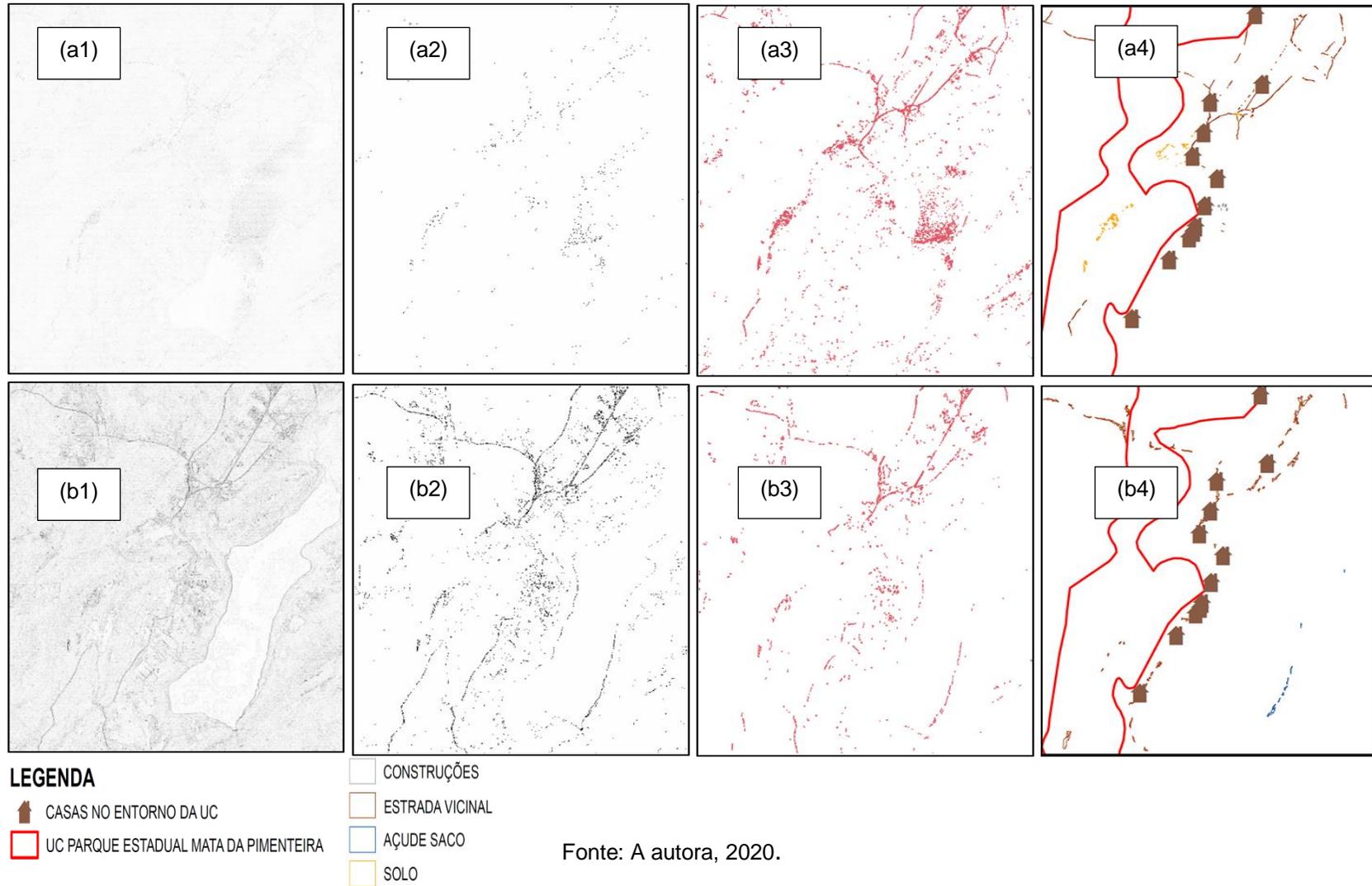
Fonte: A autora, 2020.

Figura 33 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) Banda Espectral G, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente



Fonte: A autora, 2020.

Figura 34 – Etapas processadas até a classificação da Ortofoto e do Google Earth, respectivamente. Em (a1) e (b1) Banda Espectral B, (a2) e (b2) filtro de Sobel e binarização, (a3) e (b3) Segmentação e (a4) e (b4) Classificação de Imagens, todas para a Ortofoto e Google Earth, respectivamente



As figuras 32 a 34 representadas acima ilustram as imagens classificadas resultantes dos processos metodológicos executado sobre cada banda espectral, R – G – B, considerando as duas plataformas aérea e orbital. Observa-se que as bordas detectadas refletem o comportamento espectral dos atributos na faixa do visível, destacando um desempenho semelhante para as figuras 32a4,33a4 e 34a4.

Nas figuras 32a4, 33a4 e 34a4, a estrada vicinal é a feição que tem sua borda mais bem representada e em menor proporção o solo e as áreas de construções. Em imagens de alta resolução, a separação entre as classes se dá mediante os valores da reflectância, uso de medidas de textura e os métodos estatísticos que quando em conjunto conseguem detectar as bordas considerando a diferenciação entre as superfícies de maior e menor rugosidade (FENG ET AL., 2016).

Para as figuras 32b4, 33b4 e 34b4, a borda da estrada vicinal consegue ser bem delimitada em todas as imagens classificadas, sofrendo variações conforme o nível de detalhamento de cada banda espectral. De todas as imagens classificadas resultantes, a figura 32b4 consegue detectar as bordas dos corpos de água que está localizada no entorno da área de estudo, bem como das áreas de construções e solos.

Os resultados gerados a partir da análise de cada banda espectral podem ser considerados satisfatórios, em especial para as imagens de alta resolução (figuras 32a4,33a4 e 34a4), pois detectaram as bordas das feições em melhores condições e sobre as mesmas metodologias do que quando comparado com as demais etapa de processamento considerados neste estudo.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia elaborada a partir das técnicas de processamento consideradas nesta pesquisa como: filtro de Sobel, Componentes Principais, Índices de Vegetação e Análise de cada Banda Espectral, aplicado sobre as plataformas aérea e orbital, Ortofoto e Google Earth, respectivamente, destacaram que nas imagens de alta resolução os arranjos consolidados nas etapas de Componentes Principais e Índices de Vegetação, resultaram em imagens com perdas de informações e pouca ou nenhuma detecção de bordas dos atributos considerados.

Ao analisar de forma independente cada banda espectral da plataforma aérea, observa-se que as imagens processadas apenas com o filtro de Sobel, resultaram em bordas com melhor delimitação e com níveis de detalhamento semelhante em cada banda R – G – B. Sendo detectadas as bordas dos atributos como: estrada vicinal, construções e solo.

Para as imagens do Google Earth, as respostas fornecidas em grande maioria foram satisfatórias, pois as bordas foram detectadas em grande quantidade nos arranjos considerados, isto é, Componentes Principais, Índices de Vegetação e na Análise de cada banda espectral, conseguindo preservar a geometria das feições. A estrada vicinal e os corpos de água, por exemplo, foram os atributos com maiores representações das bordas em praticamente todos os processamentos.

As imagens de alta resolução resultantes das técnicas de processamento apresentaram pouco nível de detalhamento e detecção das feições quando aplicado o filtro de Sobel. Assim, na segmentação foi necessário o uso de valores altos para a similaridade e a área objetivando formar agrupamentos entre os pixels.

Devido à alta qualidade da resolução espacial e das suas propriedades espectrais a segmentação foi um processo que demandou um tempo considerável para formar o agrupamento. Para as Componentes Principais os dados usados para os parâmetros de similaridade e área foram de: 150 e 150; 50 e 50; e 40 e 40, para a ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente. Nos índices de vegetação foram: 40 e 40 para o MPRI e 20 e 20 para o VARI. Sobre cada banda espectral 90 e 90; 70 e 70; e 50 e 50, para a composição R – G – B, respectivamente.

Nas imagens de média resolução, a etapa da segmentação foi um processo que requisitou um tempo mais baixo para a detecção de bordas, assim como para os valores de similaridade e área. Para a Análise de Componente Principal os dados de

similaridade e área foram: 70 e 70; 20 e 20; e 20 e 20, para a ACP1, ACP2 e ACP3, respectivamente. Para o índice de vegetação adotou-se 20 e 20; e 20 e 20 para o MPRI e o VARI, respectivamente. E, para a composição R – G – B, 40 e 40; 5 e 5; e 5 e 5, respectivamente.

A Classificação Supervisionada foi uma etapa que considerou o método por regiões, sendo definidas quatro classes denominadas como: açude saco, construções, estradas vicinais e o solo, visando à representação dos atributos. Para Classificar as imagens as bordas ou pseudo-bordas agrupadas durante a etapa da segmentação foram retiradas, de forma a permanecer as informações relevantes para o trabalho. Assim, ficou observado a variação quanto ao nível de detalhamento alcançado por cada plataforma aérea e orbital quando submetida aos diferentes processamentos.

A pesquisa apresentada avalia que em estudos para detecção de bordas, imagens que apresentam alta resolução espacial, espectral e radiométrica, como é o caso da Ortofoto, possibilita uma cobertura espacial mais ampla, uma facilidade e uma precisão quanto à localização e extração de feições. Mas, também requerem análises mais complexas em relação ao uso de filtros morfológicos que apresentem bom desempenho quando processado com outras técnicas.

As imagens do Google Earth apresentaram um bom desempenho na detecção das bordas dos alvos em destaque para o açude saco. Por ser formado por um mosaico de imagens com diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas, suas respostas não são diretamente afetadas pelos processamentos considerados.

Isso se dá, porque para compor um mosaico de imagens é necessário que se tenha um equilíbrio quanto aos padrões de cada cena, isto é, textura, cor, brilho além de outros fatores existente que podem interferir na qualidade da imagem. Assim, ao ser aplicado as técnicas de processamento digital observa-se que o equilíbrio entre os parâmetros contribui na detecção das bordas dos atributos e destacam respostas satisfatórias.

A proposta apresentada para a detecção de bordas em plataformas aérea e orbital é considerada relevante, pois destaca metodologias para a detecção de bordas na faixa do visível (R – G – B) que podem ser facilmente reproduzida por diferentes instituições. Com imagens de fácil aquisição, ampla cobertura e do advento de novas tecnologias, refletindo um ponto positivo principalmente para

regiões de difícil acesso que precisam de monitoramento e atualização de bases cadastrais, temáticas e espaciais, a partir de arquivos vetoriais como o shapefile, e que dispõem de poucos recursos tecnológicos, técnicos e operacionais.

Estudos mais aprofundados precisam ser elaborados com outros métodos e metodologias que permitam obter respostas de melhor qualidade e satisfatórias para as imagens de alta resolução. Podendo, ser uma contribuição para estudos posteriores.

## REFERÊNCIAS

- ABDI, H; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, vol. 2, no. 4, pp. 433–459, 2010. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wics.101>>. Acesso em: 15/12/2019
- ACHARY, J; GADHIYA,S;RAVIYA,K. **Segmentation techniques for image analysis: A review**. Remote Sensing of Environment, VOL.3, 10-15, 2013.
- AMARAL LR, MOLIN JP, SCHEPERS JS. Algorithm for Variable-Rate Nitrogen Application in Sugarcane Based on Active Crop Canopy Sensor. **Agronomy Journal** 107(4) :1513-1523, (2015b).
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Plano de Manejo do Parque Estadual Mata da Pimenteira. Serra Talhada, 2013. Disponível em: <[http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/PE%20Mata%20da%20Pimenteira%2022%2011%202013.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/PE%20Mata%20da%20Pimenteira%2022%2011%202013.pdf)>. Acesso em: 20/08/2019.
- BALABANOVA, B.; STAFILOV, T.; BACEVA,K. Application of principal component analysis in the Assessment of essential and toxic metals in vegetable and Soil from polluted and referent areas. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, 21 (No 3) 2015, 552-560 Agricultural Academy. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/275017117\\_Application\\_of\\_principal\\_component\\_analysis\\_in\\_the\\_assessment\\_of\\_essential\\_and\\_toxic\\_metals\\_in\\_vegetable\\_and\\_soil\\_from\\_polluted\\_and\\_referent\\_areas](https://www.researchgate.net/publication/275017117_Application_of_principal_component_analysis_in_the_assessment_of_essential_and_toxic_metals_in_vegetable_and_soil_from_polluted_and_referent_areas)> Acesso em 03/03/2019.
- BALLESTEROS-CANOVAS, J.A; MÁRQUEZ-PEÑARANDA, J.F; SANCHEZ-SILVA,M;DÍEZ-HERRERO,A;RUIZ-VILLANUEVA,V;BODOQUE,J.M;EGUIBAR,M.A; STOFFEL,M. Can tree tilting be used for paleoflood discharge estimations. **Journal of Hydrology**, Vol.01,150-170,2014. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/268731892\\_Ballesteros\\_et\\_al\\_2014/link/547445c50cf29afed60f7038/download](https://www.researchgate.net/publication/268731892_Ballesteros_et_al_2014/link/547445c50cf29afed60f7038/download)> Acesso em: 28/12/2019.
- BARBOSA, B. D. S;FERRAZ, G. A. S;GONÇALVES, L. M;MARIN, D. B;MACIEL, D. T; FERRAS,P. F. P;ROSSI, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. **Agronomy Research** 17(2), 349–357, 2019. <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>. Disponível em:<[http://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4846/Vol17No2\\_Barbosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4846/Vol17No2_Barbosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y)> Acesso em: 02/01/2020.
- BROWN, P.G. Overview of SciDB: Large scale array storage, processing and analysis. In **Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD international conference on management of data** (pp. 963–968). ACM, New York, NY.
- BUEREN,S.K.V;BURKART,A;HUENI,A;RASCHER,U;TUOHY,M.P;YULE,I.J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, 12, 163–175, 2015. <https://doi.org/10.5194/bg-12-163-2015>. Disponível em: <<https://www.biogeosciences.net/12/163/2015/>> Acesso em: 03/01/2020.

CÂMARA, G., ASSIS, L.F., RIBEIRO, G., FERREIRA, K.R., LLAPA, E., & VINHAS, L. Big earth observation data analytics: Matching requirements to system architectures. **In Proceedings of the 5th ACM SIGSPATIAL international workshop on analytics for big geospatial data** (pp. 1–6). ACM, New York, NY, 2016.

CHANG, J.; SHOSHANY, M. Red-edge ratio Normalized Vegetation Index for remote estimation of green biomass. **IEE International Geoscient.** vol. 11, no. 1, pp. 41-76, 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7729340/references>> Acesso em: <20/12/2019).

CONSÓRCIO DE ÁGUAS DE PERNAMBUCO. Relatório de Atividades Executadas no bloco III, 2017.

DEFINIENS. **Image Analysis Software for Earth Sciences.** Earth Sciences, volume 1, Issue 5, 2008.

DIAS, F. G.; SOARES, H. C.; FONSECA, L. M. G. **Estudo da aplicação de filtros de detecção de bordas na identificação da frente termal da Corrente do Brasil.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba.

DRAY, S; JOSSE, J. Principal component analysis with missing values: a comparative survey of methods. **Plant Ecol** 216, 657–667 (2015) doi:10.1007/s11258-014-0406-z. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-014-0406-z#citeas>> Acesso em: 01/01/2020.

EL-MEZOUAR M.C; TALEB, N; KPALMA, K; RONSIN, J.A High-resolution index for vegetation extraction in IKONOS images. **Remote Sensing**, Toulouse : France, 2010. DOI : 10.1117/12.866187. Disponível em:<[researchgate.net/publication/50950002\\_A\\_high-resolution\\_index\\_for\\_vegetation\\_extraction\\_in\\_IKONOS\\_images](https://researchgate.net/publication/50950002_A_high-resolution_index_for_vegetation_extraction_in_IKONOS_images)>

EGELS, Y., & KASSER, M. (2002). Digital Photogrammetry. Londres e Nova York: Taylor & Francis.

FENG, Q., LIU, J., & GONG, J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. **Remote Sensing**, 7(1), 1074–1094, 2016. <https://doi.org/10.3390/rs70101074>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/7/1/1074> > Acesso em: 04/01/2020.

FERREIRA, M. P; ZORTEA, M; ZANOTTA, D. C; SHIMABUKURO, Y. E; SOUZA FILHO, C.R. Mapping tree species in tropical seasonal semi-deciduous forests with hyperspectral and multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, Volume 179, 66-78, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425716301134>> Acesso em: 04/01/2020.

FILHO, L. E. Extração semi-automática de feições lineares e a calibração dos parâmetros intrínsecos de câmeras. 2007.

GAMAL, A. E; ELTOUKHY, H. CMOS Image Sensors. **IEEE Circuit & Devices Magazine**, May/June 2005, pp. 6-20.

GITELSON, A.A; KAUFMAN, Y.J; STARK, R; RUNDQUIST, D. **Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction**. University of Nebraska – Lincoln, 2002. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1151&context=natrespapers> Acesso em: 30/12/2019.

GITELSON, A.A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal Plant Physiology**, v.161, p.165-173, 2008.

GONZALEZ & WOODS. Digital Image Processing. Pearson Education, 2010

GONZALEZ, R.C; WINTZ, P. Digital Image Processing. Academic Press, 2010

GOOBAR, L. **Machine learning based image classification of electronic components**. Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2013. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:712392/FULLTEXT01.pdf> Acesso em: 20/11/2019.

GRIPP Jr.; SILVA, A. S.; VIEIRA, C. A. O. Cadastro Técnico Municipal de Cidades de Pequeno Porte. VIÇOSA: UFVGE, 2009.

GUPTA, S; MAZUMDAR, S.G; STUDENT, M.T. Sobel Edge Detection Algorithm. **International Journal of Computer Science and Management Research**, Vol 2 Issue 2 February 2013, ISSN 2278-733X.

GUO, R; LIU, J; LI, N; SHIBIN LIU, S; CHEN, F; CHENG, B; DUAN, J; LI, X; CAIHONG, M. Pixel-Wise Classification Method for High Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Neural Networks. **ISPRS Int. J. Geo-Information** 2018. DOI:10.3390/ijgi7030110. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Pixel-Wise-Classification-Method-for-High-Remote-Guo-Liu/f6adb782952ae5618e33497b94853c596439e8d0>> Acesso em: 19/11/2019.

HARRIS, A; OWN, S.M; SLEEP, D; PEREIRA, M.G.S.dos. Constitutive changes in pigment concentrations: implications for estimating isoprene emissions using the photochemical reflectance index. **Physiologia Plantarum** Volume 156, Issue 2, 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ppl.12361>> Acesso em: 03/01/2020.

HATFIELD, J.L; GITELSON, A.A; SCHEPERS, J.S; WALTHALL, C.L. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. **Agronomy Journal Abstract**, Vol.100, 117-131, 2008. Disponível em: <[https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/100/Supplement\\_3/S-117](https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/100/Supplement_3/S-117)>

Acesso em: 23/12/2019.€

HENRIQUE, R. E. da. **Utilização de DRONE em mapeamentos florestais para classificação do uso e ocupação do solo**. Pós-Graduação em Gestão Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2018. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/60786/R%20-%20E%20-%20HENRIQUE%20DA%20SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 04/01/2020.

HU, Y.; TAO, V.; CROITURU, A. Understanding the rational function model: methods and applications. **In: International archives of photogrammetry and remote sensing**, 20, 2004, Istanbul, Turquia.

HU.Q; WU.W; XIA.T; YU.Q; YANG.P; LI.Z; SONG.Q. Exploring the Use of Google Earth Imagery and Object-Based Methods in Land Use/Cover Mapping. **Remote Sens**. 2013, 5, 6026-6042. doi:10.3390/rs5116026. Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RMqanAWIVWwJ:https://www.mdpi.com/2072-4292/5/11/6026/pdf+&cd=5&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>> Acesso em: 20/11/2019.

HUNT, E. R. Jr; DORAISWAMY, P. C; MCMURTREY, J. E; DAUGHTRY, C. A visible band index for remote sensing leaf Chlorophyll content at the Canopy Scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 21(1):103–112 · April 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257129113\\_A\\_visible\\_band\\_index\\_for\\_remote\\_sensing\\_leaf\\_Chlorophyll\\_content\\_at\\_the\\_Canopy\\_Scale](https://www.researchgate.net/publication/257129113_A_visible_band_index_for_remote_sensing_leaf_Chlorophyll_content_at_the_Canopy_Scale)> Acesso em: 29/12/2019

JACOBSON, M. Z; ARCHER, C. L; KEMPTON, W. Taming hurricanes with arrays of offshore wind turbines. **Nature Climate Change** 4, 195–200, 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nclimate2120>> Acesso em: 10/11/2019

JASSIM, F. A; ALTAANI, F. H. Hybridization of Otsu Method and Median Filter for Color Image Segmentation. **International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)** ISSN: 2231-2307, Volume-3, Issue-2, 2013. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1305/1305.1052.pdf>>. Acesso em: 13/11/2019.

JIANG, T. X; HUANG, T.Z, ZHAO; X.L; PATCH, T.H. Based Principal Component Analysis for Face Recognition. **Computational Intelligence and Neuroscience**. Volume 2017, Article ID 5317850, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/5317850>. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/cin/2017/5317850/>>. Acesso em: 10/12/2019

JIANG, H; FENG, M; ZHU, Y; LU,N; JIANXI, H; XIAO,T. Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. **Remote Sens**. 5067-5089, 2014. doi:10.3390/rs6065067. Disponível: <<file:///C:/Users/ryan/Downloads/remotesensing-06-05067.pdf>> Acesso em: 04/01/2020.

JOSEPH, A.K; SUSHMITHA,S. Technical report on Edge detection using Sobel Operator in GDAL. **Research**, December 2015. DOI: 10.13140. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/286923225\\_Technical\\_report\\_on\\_Edge\\_detection\\_using\\_Sobel\\_Operator\\_in\\_GDAL](https://www.researchgate.net/publication/286923225_Technical_report_on_Edge_detection_using_Sobel_Operator_in_GDAL)> Acesso em: 02/12/2019.

KATIYAR, S.K; ARUN, P.V. Comparative analysis of common edge detection techniques in context of object extraction. **IEEE TGRS** Vol.50 no.11b,2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1405/1405.6132.pdf>> Acesso em: 10/12/2019.

KAVOOSI, Z; RAOUFAT, M.H; DEHGHANI, M; JAFARI, A. KAZEMEINI, A.S; NAZEMOSSADAT, M.J. Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Volume 19, Issue 1, January 2020, Pages 56-64. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X18301115>> Acesso em: 20/04/2019.

KAZMI, W., GARCIA-RUIZ, F.J., NIELSEN, J., RASMUSSEN, J. & ANDERSEN, H.J. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. **Computers and Electronics in Agriculture** 112, 10–19, 2015.

LINHARES, M.M.A;AMARAL,B.A.S;COSTA,A.P;ROCHA,N.C.C;CÂNDIDO,L.G. **Uso VANT'S aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2014. Disponível em: < <http://conbap.sbea.org.br/2014/trabalhos/R0062-2.PDF>> Acesso em: 04/01/2020.

LINHARES, M.M.A.de. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em nova mutum-mt**. Dissertação de Mestrado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/5956/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Mayklyns%20Marcos%20de%20Almeida%20Linhares%20-%202016.pdf>> Acesso em: 15/12/2019.

LOUHAICHI, M., BORMAN, M.M., JOHNSON, D.E., 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International** 16, 65–70

LU, D; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing** Volume 28, 2007 – Issue 5,823-870,2007. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>. Disponível em:<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160600746456>>

MAIMATIJIANG,M; GHULAM,A;SIDIKE,P;HARTLING,S;MAIMAITIYIMING,M; PETERSON,K;SHAVERS,E;FISHMAN,J;PETERSON,J;KADAM,S;BURKEN,J;FRITS CHI,F. Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 134, 43-58, 2017. Disponível em: <

<http://agri.ckcest.cn/ass/55c328a8-cddb-4063-8ceb-e4669b7559dc.pdf>> Acesso em: 03/01/2020.

MANJULA, D. V. S. Image Edge Detection and Segmentation by using Histogram Thresholding method. **Int. Journal of Engineering Research and Application**.

ISSN: 2248-9622, Vol. 7, Issue 8, ( Part -I) August 2017, pp.10-16

Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/3b64/79bc02d8b47a93cae2e28ffaed98e1ccdf22.pdf>  
Acesso em: 14/11/2019.

MARQUES, R. S; BATISTA, L.L; SOUZA, L. B; ESCARPINATI, M.C; ANGELO, M.F. Implementação e Utilização de Técnicas de Processamento Digital de Imagens para Auxílio na Detecção de Pontos Cefalométricos. **IEE Remote Sensing**, vol.6, 116-120 , 2007. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/profile/Michele\\_Angelo/publication/266091538\\_Implementacao\\_e\\_Utilizacao\\_de\\_Tecnicas\\_de\\_Processamento\\_Digital\\_de\\_Imagens\\_para\\_Auxilio\\_na\\_Deteccao\\_de\\_Pontos\\_Cefalometricos/links/54b9153a0cf28faced626bf2/Implementacao-e-Utilizacao-de-Tecnicas-de-Processamento-Digital-de-Imagens-para-Auxilio-na-Deteccao-de-Pontos-Cefalometricos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michele_Angelo/publication/266091538_Implementacao_e_Utilizacao_de_Tecnicas_de_Processamento_Digital_de_Imagens_para_Auxilio_na_Deteccao_de_Pontos_Cefalometricos/links/54b9153a0cf28faced626bf2/Implementacao-e-Utilizacao-de-Tecnicas-de-Processamento-Digital-de-Imagens-para-Auxilio-na-Deteccao-de-Pontos-Cefalometricos.pdf)> Acesso em: 04/01/2020

MEDEIROS, L; LAUER, T.R; PSALTIS, D; OZEL,F. Principal Component Analysis as a Tool for Characterizing Black Hole Images and Variability. **The Astrophysical Journal**, Volume 864, Number 1. Disponível em: <

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/aad37a/meta>> Acesso em: 15/11/2019.

MEINEL, G; NEUBERT, M. A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol 3, 115-120, 2011.**

MENDHURWAR, K; PATIL,S; SUNDANI, H; AGGARWAL, P; DEVABHAKTUNI,V. Edge-Detection in Noisy Images Using Independent Component Analysis. **ISRN Signal Processing**. Article ID 672353, 9 pages,2011.

<http://dx.doi.org/10.5402/2011/672353>. Disponível em:

<<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/672353/>> Acesso em:29/12/2019

MENESES, P.R; ALMEIDA, T.de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. **Viçosa: Ed. UFV**, 2005. 320p.

MOKARRAM, M ;Ali D.B; HOJATI, M. Relationship between land cover and vegetation indices. Case study: eghlid plain, fars province, iran. **European Journal of Geography**, Volume 7, Number 2:48 - 60, June 2016. Disponível em:

<[http://eurogeographyjournal.eu/articles/03\\_RELATIONSHIP%20BETWEEN%20LAND%20COVER%20AND%20VEGETATION%20INDICES%20\(CASE%20STUDY%20EGHLID%20PLAIN%20FARS%20PROVINCE%20IRAN\).pdf](http://eurogeographyjournal.eu/articles/03_RELATIONSHIP%20BETWEEN%20LAND%20COVER%20AND%20VEGETATION%20INDICES%20(CASE%20STUDY%20EGHLID%20PLAIN%20FARS%20PROVINCE%20IRAN).pdf)> Acesso em: 13/12/2019.

MUI, A.; HE, Y.; WENG, Q. An object-based approach to delineate wetlands across landscapes of varied disturbance with high spatial resolution satellite imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 109:30-46, 2015.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosyst. Eng.** 114, 358–371, 2013. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.

NAMIKAWA, L.M, KÖRTING,S.T; CASTEJON, E.F. Water body extraction from Rapideye images: an automated methodology based on hue component of color transformation from RGB to HSV model. **Brazilian Journal of Cartography** N° 68/6, Special Issue GEOINFO 2015: 1097-1111, 2016.

NASCIMENTO, B.K.B; PARISE, M; PINHEIRO, E.S.da. **Imagens SAR-R99B aplicadas no mapeamento do desflorestamento**. Anais do I Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, 2010.

NETTO,A.F.A.A; MARTINS,R.N; SOUZA,G.S.A. de; ARAÚJO, G.M.de. Segmentation of RGB Imagens using different vegetation índices and thresholding methods. **Nativa, Sinop**, v. 6, n. 4, p. 389-394, jul./ago. 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5405>. ISSN: 2318-7670. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/327361823\\_SEGMENTATION\\_OF\\_RGB\\_IMAGES\\_USING\\_DIFFERENT\\_VEGETATION\\_INDICES\\_AND\\_THRESHOLDING\\_METHODS](https://www.researchgate.net/publication/327361823_SEGMENTATION_OF_RGB_IMAGES_USING_DIFFERENT_VEGETATION_INDICES_AND_THRESHOLDING_METHODS)> Acesso em: 15/12/2019.

NICHOL, C.J.; RASCHER, U.; MATSUBARA, S.; OSMOND, B. Assessing photosynthetic efficiency in an experimental mangrove canopy using remote sensing and chlorophyll fluorescence. **Trees** 2006, 20, 9–15.

OHRI, A; YADAV,P. Urban Sprawl Mapping and Land Use Change Detection Using Remote Sensing and GIS. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, Volume 1, Issue 1, 2012, 12-25. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/261903205\\_Urban\\_Sprawl\\_Mapping\\_and\\_Land\\_Use\\_Change\\_Detection\\_Using\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_GIS](https://www.researchgate.net/publication/261903205_Urban_Sprawl_Mapping_and_Land_Use_Change_Detection_Using_Remote_Sensing_and_GIS)> Acesso em: 29/11/2019.

OLIVEIRA, H. C. **Detecção de áreas de oclusão para geração de ortoimagens verdadeiras utilizando dados LASER**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente. Brasil. 2013.

PARK, G.H; CHO, H.H; CHOI, M.R. A Contrast Enhancement Method using Dynamic Range Separate Histogram Equalization. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, Vol. 54, No. 4, November 2008, pp.1981-1987.

PCI GEOMATICS Inc. Geomatica Software Solutions. OrthoEngine: User guide. Canada, 2010.

PERNAMBUCO. Lei nº 37.823, de 30 de janeiro de 2012. Cria o Parque Estadual

Mata da Pimenteira, localizado no Município de Serra Talhada, neste Estado. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=9628>. Acesso em 18/06/2019.

PEÑUELAS, J; GARBULSKY,M.F; FILELLA,I. Photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of plant CO<sub>2</sub> uptake. **New Phytologist**. Volume 191, Issue 3,2011. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03791.x>. Disponível em:< <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2011.03791.x>> Acesso em: 20/12/2019.

PONTI, M.P.JR. Segmentation of low-cost remote sensing images combining vegetation indices and mean-shift. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters** 10, 67-70, 2015. DOI: 10.1109/LGRS.2012.2193113 Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/258788786\\_Segmentation\\_of\\_Low-Cost\\_Remote\\_Sensing\\_Images\\_Combining\\_Vegetation\\_Indices\\_and\\_Mean\\_Shift](https://www.researchgate.net/publication/258788786_Segmentation_of_Low-Cost_Remote_Sensing_Images_Combining_Vegetation_Indices_and_Mean_Shift)> Acesso em: 04/01/2020.

POTERE, D. **Horizontal Positional Accuracy of Google Earth's High Resolution Imagery Archive**. *Sensors* 2008, 8, 7973-7981; DOI: 10.3390/s8127973. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/12/7973/pdf>> Acesso em: 20/10/2019.

PRINA, B.Z; SCHIO, L; MIRANDA, S.I.de; MONGUILHOT, M. **Análise ambiental urbana com o uso de imagens Google Earth**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.3805

QUANG, N. T., THUY, N. T., SANG, D. V., & BINH, H. T. T. An efficient framework for pixel-wise building segmentation from aerial images. **In Pro-ceedings of the sixth international symposium on information and communi-cation technology** (pp. 282–287). New York, NY, 2015, USA: ACM. Retrieved from <http://doi.acm.org/10.1145/2833258.2833272>

ROBERTS, A. L., SHARMA, M., SEFTON, I. M., & KHACHAN, J. Differences in two evaluations of answers to a conceptual physics question: A preliminary analysis. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education (formerly CAL-laborate International)**, 16(1), 28-38,2011.

ROMEO, J., PAJARES, G., MONTALVO, M., GUERRERO, J. M., GUIJARRO, M. & DE LA CRUZ, J.M. A new Expert System for greenness identification in agricultural images. **Expert Systems with Applications** 40(6), 2275–2286, 2013.

SAKAMOTO,T; HIBAYAMA,M;KIMURA,A;TAKADA,E. Assessment of digital camera-derived vegetation indices in quantitative monitoring of seasonal rice growth. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 66(6):872-882, 2011. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/232402610\\_Assessment\\_of\\_digital\\_camera-derived\\_vegetation\\_indices\\_in\\_quantitative\\_monitoring\\_of\\_seasonal\\_rice\\_growth](https://www.researchgate.net/publication/232402610_Assessment_of_digital_camera-derived_vegetation_indices_in_quantitative_monitoring_of_seasonal_rice_growth)> Acesso em: 02/01/2020

SANTOS, E.M. dos; MAURO, M. Jr; SILVA-CAVALCANTI, J.S; ALMEIDA, G.V.L.de. **Parque Estadual Mata da Pimenteira: Riqueza Natural e Conservação da Caatinga**. Recife: EDUFRPE, 2013, 257 p, ISBN: 978-85-7946-138-5. Disponível em: <

[http://www.semas.pe.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=10375002&folderId=10375093&name=DLFE-83603.pdf](http://www.semas.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=10375002&folderId=10375093&name=DLFE-83603.pdf)> Acesso em: 12/03/2019.

SENTHILKUMARAN, K.; PANDEY, P. M; RAO, P.V.M. **Influence of building strategies on the accuracy of parts in selective laser sintering**. *Materials and Design*, v.30, n.8, p.2946-2954, 2009.

SIRMACEK, B; UNSALAN,C. Built-up area detection using local feature points and spatial voting. **IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.** 7(1), 146-150, 2009.

SILVA, D. R.V, da; AMARO, V.E; SOUTO, M.V.S; NASCIMENTO, M.C.do; PEREIRA, B.R.B.de. Geomorfologia de uma área com alta sensibilidade ambiental na Bacia Potiguar (NE do Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada** 10(4):545-566,2013.

SILVA, J. da; HAMULAK, T. M; RIBEIRO, S. R. A. **Índice de vegetação (NDVI) para identificação de áreas de reflorestamento**. Anais Semana de Geografia, v. 1, n. 1, Ponta Grossa. UEPG, 2012. ISSN 2317-9759. Disponível em: <  
[https://www.pitangui.uepg.br/eventos/semanadegeografia/\\_PDFs/20121/Trabalho%2005.pdf](https://www.pitangui.uepg.br/eventos/semanadegeografia/_PDFs/20121/Trabalho%2005.pdf) > Acesso em: 25/03/2017.

SENTHILKUMARAN, N; REGHUNADHAN,R. Edge Detection Techniques for Image Segmentation - A Survey of Soft Computing Approaches. **International Journal of Recent Trends in Engineering**. Vol.1, No.2, 2009. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/publication/228349759\\_Edge\\_Detection\\_Techniques\\_for\\_Image\\_Segmentation\\_-\\_A\\_Survey\\_of\\_Soft\\_Computing\\_Approaches](https://www.researchgate.net/publication/228349759_Edge_Detection_Techniques_for_Image_Segmentation_-_A_Survey_of_Soft_Computing_Approaches)> Acesso em: 21/12/2012.

SORIA, X; SAPPA, A. D. **Improving Edge Detection in RGB Images by Adding NIR Channel**. 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Signal Image Technology & Internet based Systems (SITIS 2018). Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/333229496\\_Improving\\_Edge\\_Detection\\_in\\_RGB\\_Images\\_by\\_Adding\\_NIR\\_Channel](https://www.researchgate.net/publication/333229496_Improving_Edge_Detection_in_RGB_Images_by_Adding_NIR_Channel)> Acesso em: 05/12/2019

SOUSA. M; PEREIRA. A; COSTA. R;RAMI. L. Initial phase of adaptation of Memory Alteration Test (M@T)in a Portuguese sample. **Archives of Gerontology and Geriatrics** 61,103-108,2015.

SUN, J. Exploring edge complexity in remote-sensing vegetation index imageries. **Journal of Land Use Science**, Volume 9, Issue 2, Jul 2012, pages 165-177. DOI: <  
<https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.756071>>. Disponível em: <  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1747423X.2012.756071?scroll=top&needAccess=true> > Acesso em: 14/12/2019.

SUN, M., PANG, L., LIU, H., ZHANG, X., AI, L., & HE, S. **Geo-informaticsin resource management and sustainable ecosystem**. In F. Bian & Y. Xie(Eds.),

(chap. Urban extraction based on multi-scale building information extra-segmentation and SRA coherence image), 2016.

SWAINE, M.D.; GREIG-SMITH. An Application of Principal Components Analysis to Vegetation Change in Permanent Plots. **Journal of Ecology**, Vol. 68, No. 1 (Mar., 1980), pp. 33-41, 2014. Disponível em: <<https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=rjf.2016.23.29>>

TRUJILLO, L., P. LEGRAND, G. OLAGUE AND J. LEVY-VEHEL. Evolving estimators of the pointwise holder exponent with genetic programming. **Inform. Sci.**, 209: 61-79, 2012.

UNSANAN, C; BOYER, K.L. Classifying land development in high resolution panchromatic satellite images using straight-line statistics. **IEEE Trans Geosci. Remote Sens.** 42 (4), 907-919, 2005.

VOORONS, M.; VOIRIN, Y; BÉNIÉ, G. B.; FUNG, K. **Very high spatial resolution image segmentation based on the multifractal analysis.**

Disponível em: <

<https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/7.pdf>> Acesso em: 02/01/2020.

VON BUEREN, S. K; BURKART, A; HUENI, A; RASCHER, U; TUOHY, M.P; YULE, I.J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, 12, 163–175, 2015. doi:10.5194/bg-12-163-2015. Disponível em: < <https://www.biogeosciences.net/12/163/2015/bg-12-163-2015.pdf>>. Acesso em: 14/06/2019.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora – The Future of Land Imaging Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. Proceedings... Maryland: (ASPRS), 2008.

YASMIN. M, MOHSI.S, IRUM.I; SHARIF M. Content based image retrieval by shape, color and relevance feedback. **Life Science Journal**, vol. 10, 2013.

ZHANG, X; QI, W; CEN, Y; LIN, H; WANG, N. Denoising vegetation spectra by combining mathematical-morphology and wavelet-transform-based filters. **J. of Applied Remote Sensing**, 13(1), 016503, 2019.

<https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.016503>. Disponível em:

<<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-applied-remote-sensing/volume-13/issue-1/016503/Denoising-vegetation-spectra-by-combining-mathematical-morphology-and-wavelet-transform/10.1117/1.JRS.13.016503.full?SSO=1>> Acesso em: 29/12/2019.

ZIANY, N.B.; BEZERRA, M.V.C; FREIRE, E.C; SILVA, B., B. **Determinação de índices de vegetação usando imagens de satélite para a agricultura de precisão.** In: V Congresso Brasileiro do Algodão: EMBRAPA, 2005.