



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL - PPGTG

Jean Lucas Paes de Farias

**Monitoramento da supressão vegetal no entorno de reservatórios hídricos
utilizando imagens do sensoriamento remoto**

Florianópolis

2020

Jean Lucas Paes de Farias

**Monitoramento da supressão vegetal no entorno de reservatórios hídricos
utilizando imagens do sensoriamento remoto**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em engenharia de transportes e gestão territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Oliveira Vieira.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra

Farias, Jean Lucas Paes de
Monitoramento da supressão vegetal no entorno de
reservatórios hídricos utilizando imagens do sensoriamento
remoto / Jean Lucas Paes de Farias; orientador, Carlos
Antonio Oliveira Vieira, 2020.
153 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial,
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2.
Monitoramento de supressão vegetal. 3. Estatística de
varredura. 4. Modelagem espaço-temporal. 5. Conglomerados.
I. , Carlos Antonio Oliveira Vieira. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Jean Lucas Paes de Farias

**Monitoramento da supressão vegetal no entorno de reservatórios hídricos
utilizando imagens do sensoriamento remoto**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Eros Comunello, Dr.
Instituição UNIVALI

Prof. Everton da Silva, Dr.
Instituição UFSC

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.
Instituição UDESC

Prof. Nilzo Ivo Ladwig, Dr.
Instituição UNESC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em engenharia de transportes e
gestão territorial.

Prof. Ana Maria Benciveni, Dr.
Coordenadora do Programa

Prof. Carlos Antonio Oliveira Vieira, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2020.

Dedico este trabalho a minha mãe
Dirlene de Fatima Pagotto

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento é a Deus, que criou o íntimo do meu ser e me teceste no ventre de minha mãe, eu te louvo porque me fizeste.

Registro aqui meu agradecimento a todos que contribuíram de forma direta e indireta para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha mãe Dirlene de Fatima Pagotto, a qual nem com todos os adjetivos do mundo seria possível expressar e mensurar a gratidão que tenho por tudo o que fez, muitas vezes em meio as dificuldades que a vida nos trouxe, e mesmo assim, me incentivou para que eu conseguisse alcançar níveis mais elevados de formação intelectual e do meu ser como um todo.

Aos amigos de jornada, pois (*“a amizade duplica as alegrias e divide as tristezas” Francis Bacon, 1561 - 1626*), agradeço nominalmente aos colegas de mestrado: André, Alan, Valmir, Lucas, Glaucia, João, Ivan, Marco, Beatriz, Rodrigo e Carlos. Aos amigos que a vida fez com que tivesse a honra de conhecer através do estágio de pós-graduação no ministério público, aos estagiários: Lísle, André, Daniel, aos analistas, Fabio, Ronaldo, Cristiane e André, obrigado por me ajudarem a crescer como profissional.

Aos professores do departamento do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial – PPGTG, os quais contribuíram diretamente na minha formação.

Ao professor orientador Carlos Antonio de Oliveira Vieira, pela sua sabedoria, incentivo, prestatividade, compreensão e paciência, pois como orientador me deu todo o apoio (críticas, correções e sugestões) que foram necessárias para que esse trabalho fosse realizado, também agradeço por me ajudar a amadurecer como pesquisador, obrigado pelo apoio, confiança e pela sua dedicação.

Aos professores que compõem a banca por dedicarem seu tempo e conhecimento para colaborar com a melhoria desse trabalho.

As empresas VisãoGeo e Foz do Chapecó Energia S.A, por investir em Projetos de Pesquisa – P&D, pois assim o meio científico consegue gerar impacto junto à sociedade.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.”
Churchill, Winston (1874 - 1965);

“Investir em conhecimento rende sempre os melhores juros.” Franklin,
Benjamin (1706 - 1790);

“Mystery creates wonder and wonder is the basis of man’s desire to understand.” Armstrong, Neil (1930 - 2012).

RESUMO

No cenário das Usinas Hidrelétricas – UHE, normalmente é realizada a aquisição das propriedades afetadas pela área alagada que, posteriormente, se tornam Áreas de Preservação Permanente – APP. Sendo assim, fica a cargo da concessionária de energia realizar o monitoramento e tratamento das ocorrências antrópicas nessas áreas. O presente estudo busca desenvolver uma metodologia para monitorar mensalmente as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente – APP de reservatórios hídricos, utilizando produtos do sensoriamento remoto, imagens de diferentes sistemas sensores que foram avaliados. Os produtos utilizados compõem duas constelações sendo estas: PlanetScope, que fornece suas imagens por meio de uma assinatura de acesso a sua plataforma e imagens da constelação Sentinel-2, fornecidos gratuitamente pela Agência Espacial Europeia - ESA. Com isso, buscou-se antecipar a expansão das ocorrências antrópicas gerando alertas de supressão vegetal, otimizando o número de campanhas realizadas em campo e avaliando o posterior custo que as mesmas acarretam. Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos em três etapas: Preparação dos dados, Análise das mudanças e Hierarquização dos alertas de ocorrências. Durante a fase de caracterização da área de estudo, verificou-se que os alertas registrados pelos sensores têm grande influência da sazonalidade, assim como a projeção de sombras ocasionadas pela topografia e nuvens. O espaço analisado foi restrito a APP no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó e, como tempo, os mosaicos que compõem vinte e dois meses para os produtos PlanetScope e seis meses para os produtos Sentinel-2. Os alertas hierarquizados foram testados estatisticamente para verificar se formam conglomerados (*clusters*). Alternativamente ao processo de detecção de mudanças, foram definidas estratégias para redução do número de falsos positivos. Destaca-se que, com este estudo, foi possível monitorar as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente – APP de reservatórios hídricos, utilizando produtos do sensoriamento remoto. Os procedimentos usados na redução de falsos positivos se demonstraram eficientes. Assim, a utilização do modelo de permutação espaço-temporal foi capaz de modelar espaço-temporalmente os alertas de ocorrências e contribuíram para a otimização dos dados de detecção de mudanças relativos a supressão vegetal e auxiliando no processo de fiscalização e validação dos alertas gerados pelos produtos do sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Monitoramento de supressão vegetal. Estatística de varredura. Modelagem espaço-temporal. Conglomerados.

ABSTRACT

Considering Hydroelectric Power Plant - HPP, the flooded areas are usually acquired by the power industry with the purpose of creating a Permanent Preservation Area. Therefore, the power concessionaire is responsible of the monitoring and treatment of the human modifications in these areas. The present study seeks to develop a methodology to monitor vegetation suppression in Permanent Preservation Areas - PPA of water reservoirs monthly using remote sensing products. Using images from different remote sensing systems that were evaluated. The products used comprise two constellations: PlanetScope, providing its images through a subscription to access its platform and data from the Sentinel-2 constellation, provided free of charge by the European Space Agency - ESA. This innovative methodology was developed to predict the expansion of these anthropic occurrences, by generating vegetation suppression alerts and optimizing the number of campaigns carried out in the field, and the subsequent cost that it entails. The methodological procedures were developed in three stages: Data preparation, Analysis of changes and Hierarchization of occurrence alerts. Through the characterization phase of the study area, it was found that the alerts, registered by the sensors, have a great influence on seasonality, as well as the projection of shadows caused by topography and clouds. The space was analyzed in the restricted areas of PPA around the Foz do Chapecó Hydroelectric Power Plant reservoir and the mosaics, in the period along up to twenty-two months, for Planet products, and six months for Sentinel-2 products, were created. The hierarchical alerts were tested statistically to check whether clusters form. Alternatively, the process of detecting changes strategies was defined to reduce the number of false positives, it is noteworthy that they helped significantly to reduce the number of false positives. However, this highlighted study demonstrates that it is possible to monitor vegetation suppression in Permanent Preservation Areas - PPA of water reservoirs using remote sensing products. The procedures used to reduce false positives have been proven its efficiency. Thus, the use of the Space-Time Permutation model was able to model the spatial-temporal alerts of occurrences and contribute to the optimization of the use of data for detecting changes related to vegetation suppression and assists the process of inspection and validation of the alerts generated by the products remote sensing.

Keywords: Monitoring of plant suppression. Scanning statistics. Spatio-temporal modeling. Clusters.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Parte da APP monitorada..... | 23 |
| Figura 2: Demonstrativo de produtos oferecidos pela PLANET..... | 29 |
| Figura 3: CubeSat em desenvolvimento..... | 32 |
| Figura 4: Arquitetura CubeSat..... | 33 |
| Figura 5: Bandas espectrais X resolução espacial. | 38 |
| Figura 6: Direção de voo e nadir do sistema. | 39 |
| Figura 7: Níveis dos produtos Sentinel-2..... | 41 |
| Figura 8: Detecção de mudanças binária em uma área com incêndio florestal no México. | 43 |
| Figura 9: Detecção de mudanças multi-classes para atualização de mapas temáticos. | 43 |
| Figura 10: Detecção de mudanças em séries de imagens multitemporais. | 44 |
| Figura 11: Detecção de Mudanças..... | 45 |
| Figura 12: Mapa de localização da área de estudo. | 53 |
| Figura 13: Fitofisionomia da área de estudo. | 55 |
| Figura 14: Comportamento da vegetação nas diferentes estações. | 57 |
| Figura 15: Generalização das Ocorrências. | 58 |
| Figura 16: Relação dos materiais com seus respectivos métodos. | 59 |
| Figura 17: Fluxograma Metodológico. | 62 |
| Figura 18: Etapas de preparação dos dados..... | 63 |
| Figura 19: Composição de bandas utilizada pelo PRODES nos produtos: Planet (A) e Sentinel-2 (B). | 65 |
| Figura 20: Dispersão das amostras para definição do Limiar do Índice SAVI para a Classe Vegetação Arbórea Arbustiva..... | 66 |
| Figura 21: Etapas da análise das mudanças..... | 67 |
| Figura 22: Comparação dos valores da constante L. | 68 |
| Figura 23: Script utilizado para elaboração do SAVI em lotes no software Rstudio.. | 70 |
| Figura 24: Etapas no processo de detecção de mudanças. | 71 |
| Figura 25: Etapas do processo de redução de falsos positivos. | 73 |
| Figura 26: Área de extração em amarelo. | 74 |
| Figura 27: Polígonos da detecção de mudanças antes da aplicação da redução..... | 75 |
| Figura 28: Áreas que serão extraídas. | 76 |
| Figura 29: Feições utilizadas como parâmetro para definição do limiar. | 78 |

| | |
|---|-----|
| Figura 30: Etapas da hierarquização de alertas de ocorrências. | 79 |
| Figura 31: Exemplo de arquivos de entrada (inputs), arquivo de casos e arquivo de coordenadas. | 81 |
| Figura 32: SatSCan com arquivos de entrada inseridos..... | 82 |
| Figura 33: Configuração de análise utilizada..... | 83 |
| Figura 34: Configuração Avançada da aba análises com o raio máximo de busca espacial de 750 m. | 84 |
| Figura 35: Configuração dos arquivos de saída. | 85 |
| Figura 36: Estatísticas descritivas índice SAVI (valores mínimos)..... | 89 |
| Figura 37: Estatísticas descritivas produto Sentinel-2. | 90 |
| Figura 38: Comparação de coloração de área detectada como mudança..... | 92 |
| Figura 39: Local da detecção. | 93 |
| Figura 40: Exemplo de distribuição de centroides para o período de janeiro de 2019 a maio de 2019. | 99 |
| Figura 41: Dispersão dos conglomerados. | 101 |
| Figura 42: Conglomerados classificados por mês. | 103 |
| Figura 43: Verificação dos conglomerados significativos | 104 |
| Figura 44: Espacialização das ocorrências de campo..... | 106 |
| Figura 45: Ocorrências detectadas em campo sobre conglomerados. | 107 |
| Figura 46: Ampliação de conglomerados. | 109 |
| Figura 47: Polígonos detectados como alteração efetiva dentro de aglomerado.... | 111 |
| Figura 48: Limitação do conglomerado. | 113 |
| Figura 49: Dispersão dos conglomerados. | 114 |
| Figura 50: Camada de dados utilizáveis - UDM2. | 148 |
| Figura 51: Bandas da camada UDM2. | 149 |
| Figura 52: Lado (A) imagem original; Lado (B) região da máscara em preto..... | 150 |
| Figura 53: Código para o processamento do overlay multiplicativo para uma imagem. | 151 |
| Figura 54: Exemplo da interferência das sombras sobre a área de interesse. | 152 |
| Figura 55: Script para gerar o mosaico pela Mediana. | 153 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Categorização dos Satélites Artificiais quanto a sua massa. | 28 |
| Tabela 2: Características da constelação PlanetScope..... | 31 |
| Tabela 3: Classificação dos CubeSat..... | 32 |
| Tabela 4: Atributos - PS Cena Analítica Ortorretificada..... | 36 |
| Tabela 5: Comprimentos de onda e larguras de banda das três resoluções espaciais dos instrumentos MSI. | 40 |
| Tabela 6: Dados climatológicos médios (desvio padrão em parênteses). | 56 |
| Tabela 7: Especificação dos sensores Planet X Sentinel-2..... | 60 |
| Tabela 8: Simulação do valor L utilizando o valor médio de Vermelho e Infravermelho próximo. | 69 |
| Tabela 9: Equações utilizadas na calculadora de campo para o cálculo do índice. .. | 77 |
| Tabela 10: Resultados da extração das estatísticas sobre produtos Planet. | 88 |
| Tabela 11: Resultados da extração das estatísticas sobre produtos Sentinel-2. | 90 |
| Tabela 12: Resultado da detecção de mudanças: Produto Planet. | 91 |
| Tabela 13: Resultado da detecção de mudanças: Produto Sentinel-2. | 94 |
| Tabela 14: Resultado da aplicação das reduções: Produto Planet..... | 95 |
| Tabela 15: Resultado da aplicação das reduções: Produto Sentinel-2..... | 97 |
| Tabela 16: Diferenças entre os resultados: Sentinel-2 X Planet..... | 98 |
| Tabela 17: Centroides gerados para o produto Planet..... | 100 |
| Tabela 18: Propriedades com Alertas de Ocorrências. | 105 |
| Tabela 19: Conglomerados identificados como novos focos – Produto Planet..... | 110 |
| Tabela 20: Conglomerados resultantes do produto Sentinel-2..... | 115 |
| Tabela 21: Conglomerados não coincidentes com o Produto Planet..... | 117 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente
Ap – Área do polígono
Ac – Área do círculo equivalente
API – Interface de programação de aplicação
BDiA – Banco de Informações Ambientais
FED – Floresta Estacional Decidual
FOD – Floresta Ombrófila Densa
FOM – Floresta Ombrófila Mista
FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GCP – Ponto de controle no terreno
GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFFSC – Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina
IFN – Inventário Florístico Nacional
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP – Infravermelho Próximo
NA – Nível d'água
NDVI – Índice de Vegetação Diferença Normalizada
PS – PlanetScope
PDI – Processamento Digital de Imagens
P&D – Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento
RPA – Aeronave Remotamente Pilotada
RVG – Razão de Verossimilhança de Poisson Generalizada
SFB – Serviço Florestal Brasileiro
SAVI – Índice de Vegetação Ajustado para Solo
SIG – Sistema de informação Geográfica
SR – Sensoriamento Remoto
UA – Unidade Amostral
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UHE – Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 19 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 19 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 19 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 19 |
| 1.3 | CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO | 20 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 22 |
| 2.1 | LEGISLAÇÃO AMBIENTAL..... | 22 |
| 2.2 | SENSORIAMENTO REMOTO | 25 |
| 2.2.1 | Tipos de Satélites | 27 |
| 2.2.2 | Especificações dos Sistemas Sensores Planet | 28 |
| 2.2.3 | Características dos Sensores da Constelação PlanetScope | 30 |
| 2.2.4 | Cena Ortorectificada Analítica | 35 |
| 2.2.5 | Especificações dos Sensores Sentinel-2 | 37 |
| 2.3 | DETECÇÃO DE MUDANÇA..... | 42 |
| 2.4 | ÍNDICES DE VEGETAÇÃO..... | 46 |
| 2.5 | MÉTODO ESTATÍSTICO DE VARREDURA ESPACO-TEMPORAL | 48 |
| 2.5.1 | Modelo Permutação espaço-tempo | 48 |
| 2.5.2 | Testes de Conglomerados..... | 50 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 52 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 52 |
| 3.2 | MATERIAIS..... | 58 |
| 3.3 | MÉTODO | 61 |
| 3.3.1 | Preparação dos Dados..... | 62 |
| 3.3.1.1 | <i>Reescalamento dos Mosaicos.....</i> | <i>63</i> |
| 3.3.1.2 | <i>Coleta das Amostras de Vegetação Arbórea Arbustiva</i> | <i>64</i> |
| 3.3.2 | Análise das Mudanças | 66 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 3.3.2.1 | <i>Elaboração do Índice de Vegetação</i> | 67 |
| 3.3.2.2 | <i>Processo de Detecção de Mudanças</i> | 70 |
| 3.3.2.3 | <i>Estratégia para redução de falsos positivos</i> | 72 |
| 3.3.2.3.1 | Polígonos próximos do nível de água do reservatório | 73 |
| 3.3.2.3.2 | Área Mínima | 76 |
| 3.3.2.3.3 | Índice de <i>Compactness</i> | 77 |
| 3.3.3 | Hierarquização dos Alertas de Ocorrências | 79 |
| 3.3.3.1 | <i>Aplicação do Modelo de Permutação Espaço-temporal</i> | 80 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 87 |
| 4.1 | EXTRAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS | 87 |
| 4.2 | RESULTADO DA DETECÇÃO DE MUDANÇAS | 90 |
| 4.2.1 | Produto Planet | 91 |
| 4.2.2 | Produto Sentinel-2 | 94 |
| 4.3 | REDUÇÃO DE FALSOS POSITIVOS NO PRODUTO PLANET | 94 |
| 4.4 | REDUÇÃO DE FALSOS POSITIVOS NO PRODUTO SENTINEL-2 | 96 |
| 4.5 | ETAPA DE HIERARQUIZAÇÃO DOS ALERTAS DE OCORRÊNCIAS DO PRODUTO PLANET | 98 |
| 4.6 | ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRODUTOS PLANET E SENTINEL-2 | 113 |
| 5 | CONCLUSÃO | 118 |
| | REFERÊNCIAS | 123 |
| | APÊNDICE A – Conglomerados do período de julho a dezembro de 2017 | 133 |
| | APÊNDICE B – Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018 | 136 |
| | APÊNDICE C – Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019 | 140 |
| | APÊNDICE D – Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018 ativos em 2019 | 143 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE E – Alternativas de pré-processamento que podem auxiliar na redução de falsos | 147 |
|---|------------|

1 INTRODUÇÃO

Em se tratando de Usinas Hidrelétricas – UHE, a metodologia, utilizada para monitorar e detectar possíveis supressões vegetais no entorno do reservatório da UHE Foz do Chapecó, tem sido realizada por meio de vistorias *in loco*. No entanto, tal processo, tem-se demonstrado bastante oneroso. Em decorrência disso, observou-se que a utilização do sensoriamento remoto aliado ao processo de detecção de mudanças se apresenta como ferramenta potencial para um monitoramento do entorno da UHE. Ciente dessa realidade, o presente estudo buscou produzir uma metodologia que auxilie na otimização das fiscalizações/vistorias *in loco* realizadas atualmente.

Para localizar as áreas com supressão no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica – UHE foi utilizado o processo de detecção de mudanças, seguindo uma abordagem por pixel, baseada no índice de vegetação SAVI. Por meio desse instrumento, buscou-se identificar áreas com possíveis alterações, determinadas como alertas de supressão vegetal. No entanto, para que sejam validados como ocorrências, se faz necessário a visita *in loco*, para que as detecções (alertas de supressão) sejam confirmadas. Essa etapa, contudo, não faz parte do escopo da pesquisa.

No presente estudo o sensoriamento remoto é utilizado para produzir uma metodologia a fim de tornar-se uma ferramenta que auxilie no direcionamento dos trabalhos, visando, com isso, a redução dos custos de monitoramento. Para tanto, busca-se gerar a partir dos dados orbitais subsídios para as equipes que trabalham com esse modelo de monitoramento.

Complementar à detecção de mudanças, é realizado a hierarquização dos alertas de ocorrências em conglomerados (*clusters*), destacado por Méger et al. (2019) como um método que auxilia na análise das informações espaço-temporais de imagens de satélite.

Sendo assim, buscou-se, por meio desta pesquisa, identificar a aplicação de sensores de alta resolução espacial e temporal para realizar o monitoramento das áreas de APP. Dessa forma, espera-se antecipar a expansão das ocorrências, gerando alertas de supressão e otimizando o número de campanhas realizadas em campo.

Esse estudo busca atender a hipótese: É possível monitorar as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente – APP de reservatórios hídricos utilizando produtos do sensoriamento remoto?

Propôs-se, nesse sentido, desenvolver uma metodologia eficiente para dados obtidos com diferentes sistemas sensores. Para tanto destacam-se os produtos da constelação: PlanetScope - fornecendo suas imagens através de uma assinatura de acesso a sua plataforma e dados da constelação Sentinel-2, fornecidos gratuitamente pela Agência Espacial Europeia.

Estas duas constelações utilizadas no escopo da pesquisa produzem o conjunto de imagens já corrigidas e prontas para utilização. Destaca-se, ainda, que os mosaicos resultantes da junção das imagens PlanetScope foram fornecidos pelo projeto de pesquisa.

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos em três etapas: Preparação dos dados; Análise das mudanças e Hierarquização dos alertas de ocorrências. Durante a fase de caracterização da área de estudo, verificou-se que os alertas, registrados pelos sensores, tem grande influência da sazonalidade, assim como a projeção de sombras ocasionadas pela topografia e nuvens.

Por outro lado, dentre as principais limitações encontradas no presente estudo, destaca-se a interferência ocasionada por nuvens e sombras que, recorrentemente, eram identificadas nas imagens. Com isso, alguns experimentos foram realizados para verificar alternativas que pudessem auxiliar na redução destas interferências.

Enfim, percebeu-se que, ainda existem desafios quanto ao monitoramento mensal utilizando imagens do sensoriamento remoto numa região em que a vegetação arbórea arbustiva a ser mapeada sofre influência da sazonalidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo Geral**

Desenvolver uma metodologia para monitorar, mensalmente, as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente - APP de reservatórios hídricos, utilizando produtos do sensoriamento remoto.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

- a) Otimizar os dados da detecção de mudanças relativos à supressão vegetal reduzindo falsos positivos;
- b) Realizar estudo piloto de validação do potencial de monitoramento mensal de mudanças na cobertura da terra;
- c) Analisar os resultados do processo hierarquização fazendo uma verificação da existência de novos conglomerados, bem como de conglomerados ativos;
- d) Fazer com que o processo de fiscalização se torne mais eficiente, direcionado e melhor planejado operacionalmente, colaborando também com a redução dos custos de monitoramento das áreas de preservação permanente no entorno do reservatório.

1.2 JUSTIFICATIVA

No cenário das Usinas Hidrelétricas – UHE, normalmente é realizada a aquisição das propriedades afetadas pela área alagada que, posteriormente, tornam-se Áreas de Preservação Permanente – APP. Sendo assim fica a cargo da concessionária de energia a realização do monitoramento e tratamento das ocorrências nessas áreas.

Observa-se, porém, que existem inúmeras tentativas de uso e ocupação de áreas no entorno de reservatórios de usinas geradoras de energia elétrica, seja para construção de casas de veraneio e ranchos, seja para exploração agropecuária, impactando, severamente, as áreas de preservação permanente.

Nesse cenário, o método de monitoramento utilizado, atualmente, pela equipe de meio ambiente na área de estudo é basicamente a fiscalização *in loco*, realizado por um setor de meio ambiente da própria empresa geradora de energia assim como uma empresa terceirizada. No entanto, essa abordagem resulta em altos custos e baixa efetividade, uma vez que as ocorrências, quando são detectadas, geralmente estão em estágio avançado ocasionando também um custo elevado para sua resolução, como ações judiciais para reintegração de posse além de tratamento dos danos ambientais e patrimoniais para recuperação da área.

Com isso, observa-se que com a utilização dos dados provenientes do sensoriamento remoto, compostos pelos mosaicos gerados com produtos PlanetScope para 22 meses e 6 meses para os produtos Sentinel-2, seria possível realizar o estudo.

Assim sendo, buscou-se dentro das geotecnologias técnicas para que fosse possível fazer com que o processo de fiscalização se tornasse eficiente, direcionado e mais planejado operacionalmente colaborando também com a redução dos custos de monitoramento das áreas de preservação permanente no entorno do reservatório desta UHE.

Enfim, quanto aos custos de resolução e tratamento dos danos, a identificação pode ser realizada nos primeiros sinais de ocupação, ou seja, pode ajudar na melhor tomada de decisão para o setor responsável.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

No presente estudo, a caracterização do problema, hipótese de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, como também uma justificativa para o trabalho proposto tem como foco a produção de uma metodologia para monitoramento de APP utilizando imagens do sensoriamento remoto.

Os principais pressupostos para o desenvolvimento desta pesquisa são imagens do sensoriamento remoto prontas para sua utilização, ou seja, imagens totalmente corrigidas geométrica e radiometricamente.

Ressalta-se que tais imagens foram disponibilizadas pelo projeto de pesquisa P&D intitulado - Sistema para Detecção Automatizada de Ocorrências Patrimoniais e Ambientais no Entorno de Reservatórios de Usinas Hidrelétricas Utilizando Geotecnologias, o qual a empresa proponente é a Foz do Chapecó Energia S.A.

As imagens disponibilizadas pelo projeto de pesquisa, provenientes da constelação PlanetScope não passaram por um processo de filtragem dos parâmetros de aquisição, como por exemplo: ângulo de aquisição, horário e sensor.

Ressalta-se, também, que a região de estudo conta com um conjunto de particularidades, das quais destaca-se o comportamento da vegetação, sofrendo influência da sazonalidade, a interferência de nuvens e a interferência por sombras, ocasionadas por nuvens e topografia acentuada.

Para realizar o processo de detecção de mudanças utilizou-se do índice de vegetação SAVI. Essa detecção visa produzir alertas de supressão vegetal que serão modelados através do método de estatística de varredura desenvolvido por Kulldorf (1997).

Dentro dos dados disponibilizados pela UHE, uma planilha com coordenadas das ocorrências detectadas em campo foi digitalizada para fazer uma primeira validação dos conglomerados. Sendo estes, gerados através do método estatístico de varredura no qual o presente estudo determina como, por exemplo, a hierarquização dos alertas de ocorrências.

A proposta da metodologia deste trabalho é que os conglomerados gerados direcionem as atividades em áreas a serem vistoriadas em campo. Além disso ressalta-se que não fazem parte do escopo desta pesquisa as etapas de processamento digital de imagens relativas ao pré-processamento (ortorretificação, correção atmosféricas, etc.), sendo apenas uma sugestão do presente estudo a vistoria destes conglomerados utilizando aeronave remotamente pilotada – RPA.

Para finalizar, salienta-se que todos os alertas resultantes, utilizando diferentes sistemas sensores, foram modelados para fazer uma comparação dos resultados obtidos nas etapas de análise de mudanças e hierarquização dos alertas de ocorrências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentadas as bases conceituais que percorrem por todo o trabalho, sendo, em primeiro momento, destacada a legislação que define as áreas de preservação permanente.

Posteriormente, apresentam-se as ferramentas utilizadas neste estudo e que estão englobadas as geotecnologias assim como as características e especificações dos produtos que podem ser utilizados.

Aborda-se, também, neste capítulo técnicas de detecção de mudanças, além do referencial que auxilia na definição do índice de vegetação e complementar ao processamento estatístico de varredura espaço-temporal desenvolvido por Kulldorf (1997).

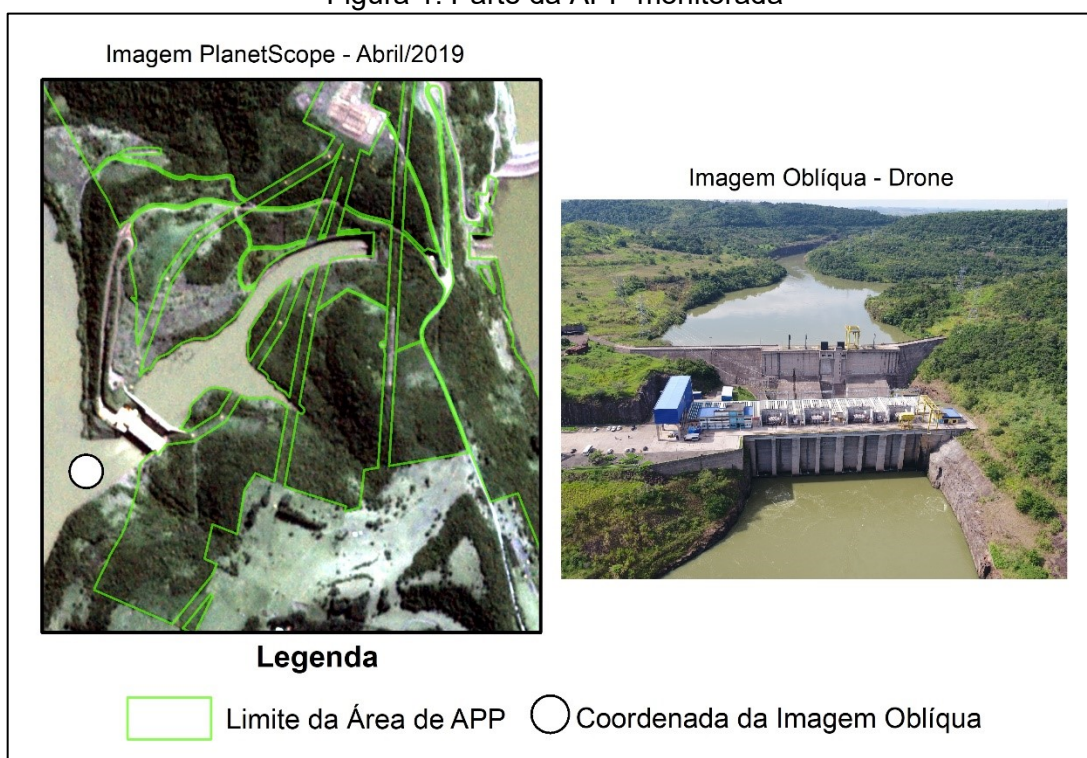
2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

As Áreas de Preservação Permanente – APP, são aquelas áreas protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º do Código Florestal. O conceito legal de APP relaciona tais áreas, independente da cobertura vegetal, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (SCHÄFFER et al., 2011).

Entende-se que as APP não têm apenas a função de preservar a vegetação ou a biodiversidade, mas uma função ambiental muito mais abrangente, voltada, em última instância, a proteger espaços de relevante importância para a conservação da qualidade ambiental como a estabilidade geológica, a proteção do solo e assim assegurar o bem-estar das populações humanas (SCHÄFFER et al., 2011).

O Código Florestal prevê faixas e parâmetros diferenciados para as distintas tipologias de APP, de acordo com a característica de cada área protegida. A APP do local, referência do presente estudo, se apresenta conforme as propriedades foram adquiridas durante desapropriação e regularização fundiária. A Figura 1 ilustra a vegetação no entorno do reservatório que compõem a APP monitorada.

Figura 1: Parte da APP monitorada



No caso das faixas mínimas a serem mantidas e preservadas nas margens dos cursos d'água (rio, nascente, vereda, lago ou lagoa), a norma considera não apenas a conservação da vegetação, mas também a característica e largura do curso d'água, independente da região de localização, em área rural ou urbana (SCHÄFFER et al., 2011). Constatou-se que, na área em estudo, a largura da APP acaba sendo maior que a faixa mínima em alguns locais, devido ao fato da etapa de desapropriação e regularização fundiária adquirir estas propriedades para compensar.

De acordo com Macedo (2013), a APP é classificada em topográfica e APP hidrográfica, sendo diferenciadas pelos critérios de demarcação relacionados à altitude e relevo e aos cursos d'água e nascentes.

O Código Florestal (art. 2º) também estabelece proteção permanente para as bordas de tabuleiros ou chapadas, topos de morro, montes, montanhas, serras e para as encostas com alta declividade, entre outras áreas de grande relevância ambiental.

“Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima foi: (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) 3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta)

a 200 (duzentos) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) 4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) 5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (Incluído pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais; c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) d) no topo de morros, montes, montanhas e serras; e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive; f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989) h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação. (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)"

A APP hidrográfica é geralmente ocupada por vegetação caracterizada por matas ciliares, matas de galeria, floresta aluvial, floresta ribeirinha etc. Tais locais se encontram sob constante influência do lençol freático e são denominadas zonas ripárias (KLAPPROTH e JOHNSON, 2000; BORGES, 2008). Em relação às principais funções das matas ciliares é possível citar:

- Reduzir as perdas do solo e os processos de erosão, evitando, assim, o assoreamento (arrastamento de partículas do solo) das margens dos corpos hídricos;
- Garantir o aumento da fauna silvestre e aquática, proporcionando refúgio e alimento para esses animais;
- Manter a perenidade das nascentes e fontes;
- Evitar o transporte de defensivos agrícolas para os cursos d'água, possibilitar o aumento dos lençóis freáticos para dessedentação humana e animal, além de uso para as diversas atividades de subsistência e econômicas;
- Garantir o repovoamento da fauna e maior reprodução da flora;
- Controlar a temperatura, propiciando um microclima mais ameno;
- Valorização da propriedade rural;
- Formar barreiras naturais contra a disseminação de pragas e doenças na agricultura.

O quadro legal acerca das APP hidrográficas encontra-se nas seguintes práticas:

- Decreto Federal n. 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Instituiu o Código Florestal (CF);
- Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965. Alterou o CF; • Lei 7.803, de 18 de julho de 1989. Alterou alguns conceitos do CF;
- Resolução CONAMA n. 303, de 20 de março de 2002. Dispôs sobre parâmetros, definições e limites de APP hidrográfica;
- Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispôs sobre a proteção da vegetação nativa e alterou o CF;
- Lei 12.727, de 17 de outubro de 2012. Alterou alguns conceitos da Lei 12.651;
- Resolução SMA 30, de 11 de junho de 2007. Instituiu o Banco de Áreas para Recuperação Florestal no âmbito do Projeto Mata Ciliar.

As ferramentas do Sistema de Informação Geográfica - SIG, de acordo com Borges (2008a), auxiliam no reconhecimento da realidade de campo, sendo um importante instrumento para aplicações práticas das normas jurídicas de tutela as APP hidrográficas. Também, vale salientar que as geotecnologias são imprescindíveis e essenciais para o levantamento, monitoramento e fiscalização dos aspectos das APP, auxiliando no gerenciamento das mudanças detectadas na bacia hidrográfica, assim como na APP em sua totalidade.

Vários autores trabalham essa ferramenta como um mecanismo eficaz em questões de análise ambiental (XAVIER-DA-SILVA, 2001; SILVA, 2003). No entanto, Cota (2008) ressalta que a utilização do SIG pode levantar ambiguidades, assim como inconsistências geométricas, quando utilizadas referências com baixa confiabilidade acarretando na dificuldade de delimitação da APP.

Enfim, destaca-se, a importância em se utilizar uma base de dados oficial, no caso de APP hidrográfica. Ao optar por dados provenientes de instituições que trabalham com questões de mapeamento dos dados hidrográficos, espera-se reduzir os problemas de ambiguidades e inconsistências geométricas.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto compreende na ciência que analisa e interpreta as medições de radiação eletromagnética, refletida ou emitida de um ponto de vista por

um observador ou instrumento que não esteja em contato com o alvo (MATHER, 2004).

Muitos métodos foram desenvolvidos acerca da aplicação do sensoriamento remoto no intuito de identificar e caracterizar e monitorar áreas degradadas (FENG et al., 2005). Desta forma, a aplicação desse modelo de monitoramento auxilia na prevenção para que as áreas não cheguem a níveis de avançada degradação.

Dentro das geotecnologias, o presente estudo utiliza como principal fonte de dados os satélites artificiais, destacando-se como fonte primária os satélites da constelação PlanetScope e como alternativa de comparação a utilização dos dados produzidos pela constelação Sentinel-2.

O presente estudo concentrou-se no mapeamento de vegetação arbórea e arbustiva e a detecção de mudanças com foco na produção de alertas de supressão vegetal. A peça fundamental do trabalho foram as imagens de satélite, as quais juntas compõem uma Série Temporal de Imagens de Satélite (*Satellite Image Time Serie*) – SITS. Essa série pode ser definida como um conjunto de imagens de satélite adquiridas em diferentes datas e recobrimdo a mesma área geográfica.

Conforme Méger et al. (2019), essas series contém informações multidimensionais as quais fornecem informações que podem ser transformadas em informações sobre a superfície terrestre.

Extrair essas informações dos dados que compõem uma série temporal é desafiador e útil para diversas aplicações. Nas questões urbanas destacam-se Marin et al. (2015a), Su et al. (2014), Liu et al. (2012), Cauwels et al. (2014), Duede e Zhorin, (2016). Já para mapeamento florestal, menciona-se Zhu e Liu. (2014), Quegan et al. (2000). Por sua vez, para monitoramento e previsão da erosão do solo Amitrano et al. (2015) e Carvalho et al. (2014).

A construção de uma SITS requer um conjunto de respostas, para isso Méger et al. (2019) ressalta que para montar uma SITS não basta apenas fazer o download do conjunto de arquivos de um repositório, mas montar um processo que contemple várias abordagens.

Dentro das composições utilizadas para se extrair informações das SITS, destaca-se o método de detecção de mudanças, que procura encontrar variações em função do tempo.

Com isso, alguns trabalhos se demonstram eficientes nessa detecção, utilizando a abordagem por pixel, como Coppin et al. (2004), Lu et al. (2004), Krylov

et al. (2013), Rokni et al. (2015), a nível de textura (LI e LEUNG, 2001; ILSEVER e UNSALAN, 2012) ou a nível do objeto (BONTEMPS et al., 2008; LU et al., 2016). Eles descrevem as alterações observadas para uma cena comparando imagens adquiridas em duas datas ou mais.

O mapeamento de supressão de vegetação arbórea arbustiva, usando produtos do sensoriamento remoto, recentemente vem evoluindo junto com os métodos e técnicas. Essa evolução pode ser constatada em relação a melhorias na resolução espacial e temporal, como exemplo os sensores da constelação LANDSAT, os quais vem evoluindo nas últimas décadas conforme Achard et al. (2014), para escala anual (DEVRIES et al., 2015; GRIFFITHS et al., 2012; KENNEDY, YANG e COHEN, 2010; SOUZA et al., 2013) e para escalas sub-anuais (DUTRIEUX et al., 2015a; REICHE et al., 2015b). No entanto, o mapeamento para fins de monitoramento mensal, conforme proposto neste estudo, ainda se apresenta como um grande desafio a ser vencido.

Os mapas de detecção de mudanças são fáceis de interpretar pelo fato de representar apenas uma classe final. No entanto, essa mudança pode ser classificada como abrupta ou gradual. Destaca-se, entre as mudanças abruptas, a inundações, terremotos ou atividades antrópicas como, (INGLADA et al., 2003; DOGAN e PERISSIN, 2014), enquanto outras abordagens podem considerar mudanças graduais, como acúmulo de biomassa (VINA et al., 2004; KAYASTHA et al., 2012).

Na área de estudo espera-se identificar áreas com mudanças abruptas, classificadas como supressão vegetal, visto que essa mudança é o primeiro passo para a invasão das áreas de preservação no entorno do reservatório. Conforme Méger et al. (2019), além da detecção de mudanças pode-se elencar um método que auxilia nessa análise de informações da SITS, sendo esse método a produção de conglomerados (*clusters*) significativos estatisticamente dentro de um espaço e tempo.

2.2.1 Tipos de Satélites

De acordo com Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2019), um satélite é qualquer objeto que orbita ao redor de outro, que se denomina principal.

Os satélites artificiais são naves espaciais fabricadas na Terra e enviadas em um veículo de lançamento, podendo orbitar ao redor de luas, cometas ou planetas.

Depois de sua vida útil, os satélites podem ficar orbitando como lixo espacial, até que reentram na atmosfera terrestre, ou podem ser direcionados, através do uso de propulsores, ao espaço profundo (INPE, 2019).

Os satélites artificiais podem ser categorizados quanto sua massa, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Categorização dos Satélites Artificiais quanto a sua massa.

| Categorização dos Satélites Artificiais | |
|--|-------------------|
| Tamanho | Massa (Kg) |
| Grande | $1000 \geq$ |
| Médio | entre 500 a 1000 |
| Mini | entre 100 a 500 |
| Micro | entre 10 a 100 |
| Nano | entre 1 a 10 |
| Pico | entre 0,1 a 1 |
| Femto | $0,1 \leq$ |

Fonte: Adaptado de INPE (2019).

No escopo dessa pesquisa foram utilizados dados provenientes da constelação PlanetScope os quais são enquadrados em nano satélites e dados provenientes da constelação Sentinel-2, enquadrados como satélites grandes. Nas subseções seguintes serão descritos com mais detalhes cada constelação.

2.2.2 Especificações dos Sistemas Sensores Planet

A empresa PLANET¹, opera 3 constelações de satélites artificiais, denominadas de PlanetScope (PS), RapidEye (RE) e SkySat (SS). As imagens são coletadas, processadas e disponibilizadas em variados formatos para servir aos diferentes tipos de usos, dentro da própria plataforma Web.

¹ <<https://www.planet.com/>>

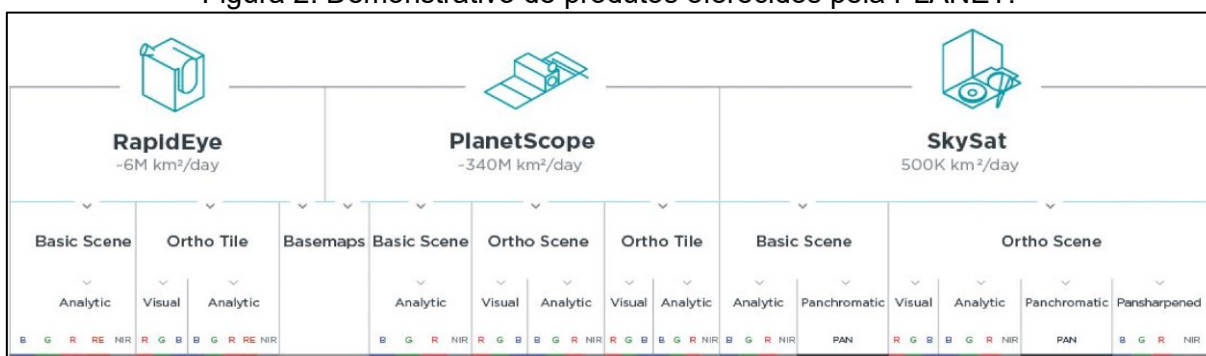
Os satélites da constelação PS, capturam imagens, sendo que sua resolução espectral abrange bandas com comprimento de ondas na região do visível e infravermelho próximo (IVP).

Além disso, dentro dos produtos oferecidos na linha PS, destacam-se três: a *Basic Scene*, *Ortho Scene* e o produto *Ortho Tile*. A *Basic Scene* é a cena básica, com radiância no topo da atmosfera dimensionado (no sensor) e corrigido pelo sensor. O produto *Basic Scene* foi projetado para usuários que preferem realizar o processamento avançado de imagens considerando-se necessário aplicar correção geométrica, ortorretificação e distorções do terreno.

O produto *Ortho Tile* são múltiplas cenas ortorretificadas que foram mescladas e formam um mosaico de acordo com o grid definido.

A Figura 2, demonstra as constelações e seus produtos, respectivas bandas e capacidade de imageamento por dia. São 6 milhões de quilômetros quadrados por dia na constelação RapidEye, 300 milhões de quilômetros quadrados por dia na constelação PlanetScope e 500 mil quilômetros quadrados na constelação SkySat (PLANET LABS, 2018).

Figura 2: Demonstrativo de produtos oferecidos pela PLANET.



Fonte: Planet Labs (2018).

Ressalta-se que, pelo fato de o pressuposto da pesquisa ser a utilização de imagens já prontas para sua utilização (valores de reflectância na superfície), será utilizado os produtos da constelação PlanetScope as Cenas Ortorectificadas Analíticas - *Analytic Ortho Scene*.

2.2.3 Características dos Sensores da Constelação PlanetScope

De acordo com Houborg e McCabe (2018), uma das limitações das missões convencionais de satélites é sua capacidade limitada de observação da dinâmica da superfície terrestre nas altas resoluções espaciais e temporais exigidas por uma ampla gama de aplicações. Trata-se de uma solução para a necessidade de melhor resolução espaço-temporal, a utilização dos produtos provenientes de satélites com arquitetura baseada em nano satélite. Baseado nesse princípio tecnológico, esse trabalho utiliza, como uma das fontes, produtos provenientes de nano satélites *CubeSats*, os quais estão facilitando a observação da terra.

Sendo assim, salienta-se que os nano satélites *CubeSats* utilizados disponibilizam imagens diárias da superfície terrestre em bandas RGB e NIR com resolução espacial entre 3 a 4 metros, com a constelação denominada de PlanetScope.

Embora essa constelação ofereça capacidade de observação da terra elevada, ressalta-se que este sistema ainda não conta com precedentes que qualifiquem seus dados. Como Houborg e McCabe (2018) ressaltam, a qualidade radiométrica é classificada como relativamente baixa e as consistências do sensor quando comparada com outros sistemas torna-se um desafio o qual coloca todo o seu potencial em um divisor de águas.

A constelação de satélites PlanetScope é o resultado de vários lançamentos de grupos de nano satélites. Sendo assim uma constelação que está constantemente melhorando tanto em capacidade e quantidade de sensores, com tecnologias avançadas (PLANET LABS, 2018).

A Tabela 2 demonstra uma visão geral das características da constelação PlanetScope (PLANET LABS, 2018).

Tabela 2: Características da constelação PlanetScope.

| Visão Geral da Constelação PlanetScope | | |
|---|--|--|
| Características da missão | Órbita da Estação Espacial Internacional | Órbita Síncrona do Sol |
| Altitude de Órbita (Referência) | 400 Km (51,6° de inclinação) | 475 Km (~98° inclinação) |
| Latitude de Cobertura (Máx/Min) | 52° (dependendo da estação) | 81,5° (dependendo da estação) |
| Horário de Passagem no Equador | Variável | 9:30 - 11:30 am (horário solar local) |
| Tipo de Sensor | Quadro de imagens com três bandas ou quatro bandas com filtro NIR de quadro dividido | Quadro de imagens com três bandas ou quatro bandas com filtro NIR de quadro dividido |
| Bandas Espectrais | Azul: 455 - 515 nm Verde: 500 - 590 nm Vermelho: 590 - 670 nm NIR: 780 - 860 nm | Azul: 455 - 515 nm Verde: 500 - 590 nm Vermelho: 590 - 670 nm NIR: 780 - 860 nm |
| <i>Ground Sample Distance</i> - GSD (nadir) | 3,0 m | 3,5 m - 4,0 m |
| Tamanho da Cena | 20 Km X 12 Km (Aproximadamente) | 24,6 Km X 16,4 Km (aproximadamente) |
| Faixa Máxima de Imagem por Órbita | 8.100 Km ² | 20.000 Km ² |
| Tempo de Revisita | Variável | Diariamente no nadir (início de 2017) |
| Capacidade de Captura de Imagem | Variável | 340 milhões de Km ² /dia |
| Faixa Dinâmica da Câmera | 12-bit | 12-bit |

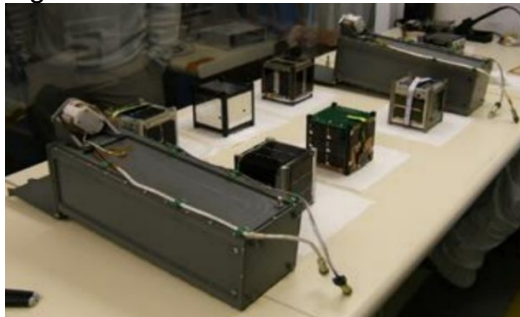
Fonte: Planet Labs (2018).

Cada satélite PlanetScope está enquadrado como nano satélite, utilizando a arquitetura CubeSat 3U (10 cm por 10 cm por 30 cm). A constelação toda tem aproximadamente 130 satélites, com capacidade de fazer imagens de toda a superfície terrestre em todos os dias do ano, apresentando uma capacidade de coleta diária de 340 milhões de Km²/dia.

Atualmente, o Projeto CubeSat é uma colaboração internacional de mais de 100 universidades, escolas secundárias e empresas privadas auxiliando no desenvolvimento de nano satélites contendo cargas científicas, privadas e governamentais. Um CubeSat é um Cubo de 10 cm com massa de até 1,33 kg e, por meio desse, os desenvolvedores se beneficiam do compartilhamento de informações

dentro da comunidade. Na Figura 3 é demonstrado os CubeSat em desenvolvimento (SONG, JIN, e GARICK-BETHELL, 2015).

Figura 3: CubeSat em desenvolvimento.



Fonte: Song, Jin e Garick-Bethell (2015).

A responsabilidade primária da Universidade Politécnica do Estado da Califórnia (Cal Poly) é garantir a segurança do CubeSat e proteger o veículo de lançamento, carga útil primária e outros CubeSats. Seus desenvolvedores devem desempenhar um papel ativo para garantir segurança e sucesso das missões CubeSat, implementando boas práticas de engenharia, testes, e verificação de seus sistemas.

As falhas do CubeSats ou do hardware da interface podem danificar o veículo de lançamento ou uma carga útil primária, colocando todo o programa CubeSat em risco. Como parte de Comunidade CubeSat, todos os participantes têm a obrigação de garantir a operação segura de seus sistemas para, assim, atender aos requisitos mínimos de projeto e teste descritos.

O menor CubeSat é um cubo de 10 cm e é totalmente funcional com nano satélites (isto é, contém painéis solares miniaturizados, baterias, computador de bordo, rádio transceptor, bem como uma carga útil técnica ou científica em miniatura).

O CubeSat é classificado quanto a sua massa máxima conforme demonstrado na Tabela 3:

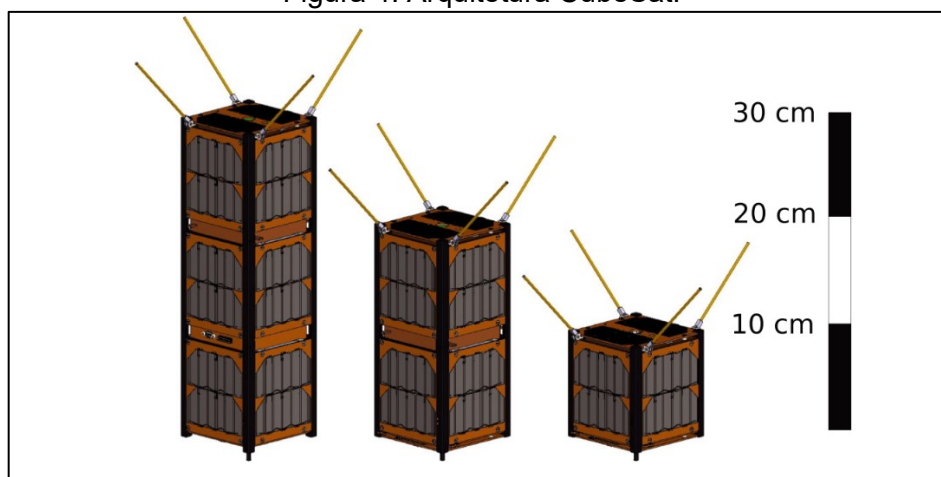
Tabela 3: Classificação dos CubeSat.

| Nome | Massa Máxima |
|--------------|---------------------|
| CubeSat 1U | 1,33 Kg |
| CubeSat 1,5U | 2,00 Kg |
| CubeSat 2U | 2,66 Kg |
| CubeSat 3U | 4,00 Kg |

Fonte: Song, Jin e Garick-Bethell (2015).

A arquitetura CubeSat permite que o design básico do cubo (1U) seja estendido para naves espaciais de tamanho maior (cubóide), medido como múltiplos de U (2U, 3U, 6U), etc. Conforme exemplificado na Figura 4, os U, visualizados da direita para esquerda expõem respectiva classificação 1U, 2U e 3U (BEDINGTON et al., 2016).

Figura 4: Arquitetura CubeSat.



Fonte: Bedington et al., (2016).

Dependendo do iniciador e configurações de painéis solares, cada U pode permitir 1-3 kg de espaçonave e 1-3 Watts de energia.

Com relação aos custos de lançamento, considerando a fração do custo dos veículos espaciais tradicionais, o CubeSats tornou-se muito popular entre pesquisadores amadores, grupos de pesquisa universitários e empresas de tecnologia que buscam um nicho de mercado. Além disso, agora também, estão ganhando popularidade entre as empresas mais antigas e bem estabelecidas da indústria espacial. Para manter os orçamentos de hardware pequenos, os elementos são normalmente construídos a partir de componentes comerciais prontos para uso, em vez de componentes caros, peças de grau espacial escassas e desatualizadas (BEDINGTON et al., 2016).

O nome de cada imagem, adquirida pela plataforma Planet, apresenta um caráter único e permite o reconhecimento, ordenação exata de captura das imagens, inclui a data e hora da captura, bem como o id do satélite (PLANET LABS, 2018).

Para tanto, o nome de cada produto de imagem transferido é composto pelos seguintes elementos:

<acquisition_date>_<acquisition_time>_<satellite_id>_<productLevel><band Product>.<extension>

O produto PS *Basic Scene*, é escalonado como reflectância no topo da atmosfera, ou seja, os valores são baseados no sensor para receberem a correção, fornecendo imagens vistas do satélite sem correção de distorções geométricas, inerentes ao processo de obtenção de imagens (PLANET LABS, 2018).

De acordo com as informações fornecidas no manual, Planet Labs (2018), este produto foi pensado nos usuários que desejam trabalhar com análise de processamento de imagens. Em outras palavras, é indicado para usuários que desejam corrigir as distorções causadas pelo terreno, destacando-se ao acompanhamento deste produto os *Rational Polynomial Coefficients* - RPCs, que permitem a ortorretificação pelo usuário.

Já a coleção de imagens PS *Ortho Scenes* se configura em uma série de cenas enquadradas e sobrepostas. Este produto, por sua vez, é indicado para usuários que necessitam uma imagem com geolocalização precisa e com projeção cartográfica ortorretificada e projetada para diversas aplicações (PLANET LABS, 2018).

As cenas entregues são produtos visuais (RGB), analíticos e modelos digitais de elevação. Ao serem utilizados para correção, os mesmos fazem uso do modelo digital do terreno com resolução espacial de 30 e 90 metros. Também, destaca-se o *Ground Control Points* - GCP, utilizado na criação de cada imagem com precisão variável dependendo da região e dos GCP disponíveis (PLANET LABS, 2018).

O produto *PlanetScope Visual Ortho Scene* é ortorretificado e corrigido de cor (usando uma curva de cor). A correção feita busca otimizar as cores, como visto pelo olho humano, fornecendo imagens como elas seriam se vistas a partir da perspectiva do satélite (PLANET LABS, 2018).

Este produto é processado para remover distorções causadas pelo terreno e pode ser usado para mapeamento cartográfico com finalidade de visualização. Essa correção também elimina efeito de perspectiva no chão (não em edifícios), restaurando a geometria. Além disso, uma correção é feita para o ângulo do sol em cada imagem para explicar as diferenças de latitude e tempo de aquisição (PLANET LABS, 2018).

O produto *Visual Ortho Scene* é ideal para o uso simples e direto de uma imagem. Ele é projetado e feito, visualmente, para uma ampla variedade de aplicativos que exigem imagens com uma geolocalização e projeção cartográfica. O produto pode ser usado e gerido diretamente em um Sistema de Informação Geográfica.

Dentre os vários produtos PlanetScope apresentados serão detalhadas, na subseção 2.2.4, as cenas Ortorretificadas Análíticas - *Analytic Ortho Scene*.

2.2.4 Cena Ortorretificada Analítica

Os produtos *Analytic Ortho Scene* da PlanetScope são dados ortorretificados e multiespectrais. Os produtos analíticos são imagens multiespectrais calibradas que foram processadas para permitir que os analistas obtenham produtos com informações para aplicações científicas e análise de dados (PLANET LABS, 2018). Na a Tabela 4, são descritos com detalhes dos atributos - PS Cena Analítica Ortorretificada.

O produto é processado para remover distorções causadas pelo terreno e pode ser usado para muitos dados científicos e aplicações analíticas. Elimina o efeito de perspectiva no solo (não em edifícios), restaurando a geometria vertical de captura da cena (PLANET LABS, 2018).

O PlanetScope *Analytic Ortho Scene* é ideal para processamento de imagens de valor agregado, tais como as classificações de cobertura da terra. As imagens apresentam correções radiométricas aplicadas para corrigir os dados (PLANET LABS, 2018). De acordo com a fornecedora, essas cenas contam com as correções atmosféricas já aplicadas, bem como conversão para valores de reflectância de superfície e reescalonamento dos valores de reflectância.

Tabela 4: Atributos - PS Cena Analítica Ortorretificada.

| Atributos - PS Analytc Ortho Scene Product | |
|---|--|
| Atributos | Descrição |
| Conteúdo Informativo | |
| Bandas Analíticas | Imagem multiespectral de 3 bandas (vermelho, verde, azul) Imagem multiespectral de 4 bandas (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo) |
| <i>Ground Sample Distance</i> - GSD | 3,7 m (Média em uma referência de altitude de 475 Km) |
| Processamento | |
| Tamanho de Pixel Ortorretificado | 3,125 m |
| Bit Depth | Analítico (DN): 12-bit Analítico (Reflectância - W m-2 sr-1 um-1): 16-bit Analítico SR (Superfície de Reflectância): 16-bit |
| Correções Geométricas | <ul style="list-style-type: none"> Os efeitos relacionados ao sensor são corrigidos usando a telemetria do sensor e um modelo de sensor. Os efeitos relacionados à espaçonave são corrigidos usando telemetria de atitude e os melhores dados de efemérides. Ortorretificado usando GCPs e modelos de MDTs (30 e 90m de resolução espacial). |
| Acurácia Posicional | Menor que 10m RMSE |
| Correções Radiométricas | <ul style="list-style-type: none"> Conversão para valores radiométricos absolutos com base nos coeficientes de calibração. Valores radiométricos dimensionados por 100 para reduzir o erro de quantização. Coefficientes de calibração regularmente monitorados e atualizados com técnicas de calibração on-orbit. |
| Correções Atmosféricas | <ul style="list-style-type: none"> Conversão para valores de reflectância da parte superior da atmosfera (TOA) usando coeficientes de radiância obtidos no sensor. Conversão para valores de reflectância de superfície usando o código de transferência radiativa 6SV2.1 e dados MODIS NRT. Os valores de Reflectância são dimensionados/escalonados em 10.000 para reduzir o erro de quantização. |

Fonte: Planet Labs (2018).

Conforme demonstrado, os produtos utilizam modelos de correção em escala global para realizar as correções radiométricas e atmosféricas.

A pesquisa parte, portanto, do pressuposto da utilização de imagens já prontas para sua utilização. Dessa forma, o produto PS Cena Analítica Ortorretificada é o único dentro dos produtos PS que atende a essa especificação determinada.

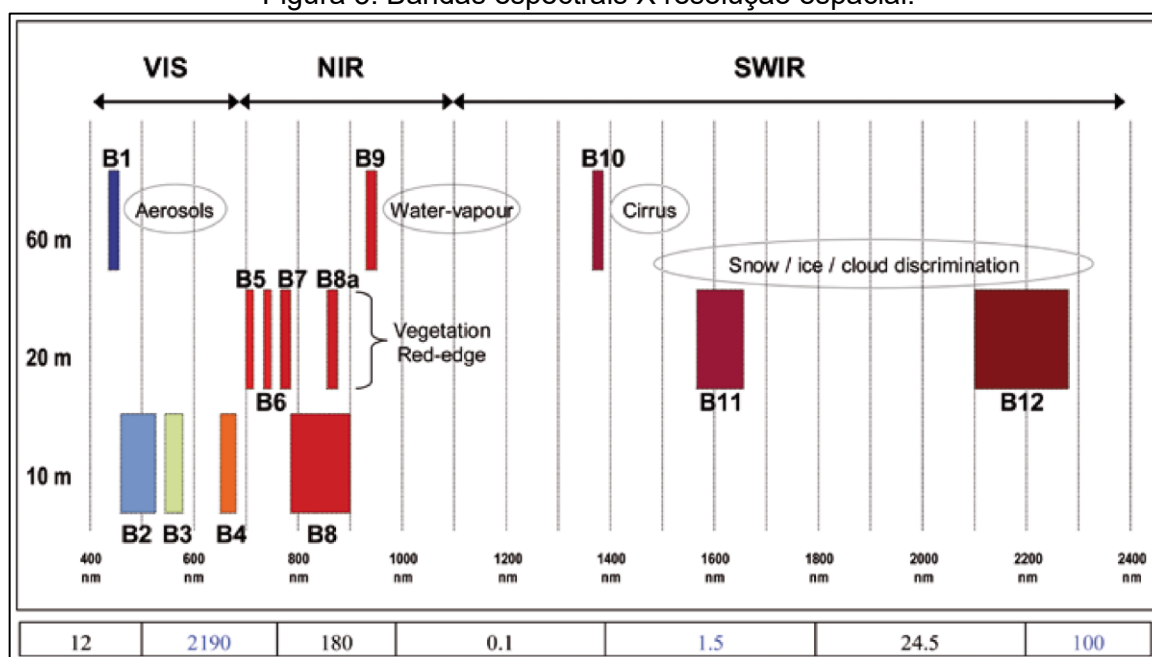
2.2.5 Especificações dos Sensores Sentinel-2

O Programa Monitoramento Global para Ambientes e Seguranças – GMES é uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia – CE e da Agência Espacial Europeia – ESA para estabelecer o fornecimento de informações de monitoramento para aplicações ambientais e de segurança. Tal missão é conhecida como *Copernicus Sentinel-2* e corresponde a uma continuidade de observações ópticas e multiespectrais de alta resolução sobre a superfície terrestre em escala global.

Os objetivos da missão são fornecer aquisições sistemáticas de imagens multiespectrais de alta resolução e com alta frequência de revisitação. A sua finalidade é garantir a continuidade de imagens multiespectrais fornecidas pela série de satélites SPOT, fornecendo observações para a próxima geração de produtos operacionais, como mapas de cobertura da terra, mapas de detecção de alterações no uso da terra e variáveis geofísicas.

A missão conta com um sensor *MultiSpectral* (MSI) com 13 bandas espectrais que variam do visível, infravermelho próximo, como também na região do infravermelho, em ondas curtas. A resolução espacial varia de 10 a 60 m, dependendo da banda espectral, com uma faixa de imageamento de 100 km. Uma combinação de alta resolução espacial, através de um amplo campo de visão e cobertura espectral, pode representar avanços em comparação com outras missões multiespectrais. Na Figura 5, são apresentados os detalhes relacionando a resolução espacial com a resolução espectral.

Figura 5: Bandas espectrais X resolução espacial.



Fonte: ESA (2019).

Outrossim, destaca-se que o sensor Sentinel-2 contou com uma consulta à comunidade de usuários durante a fase de projeto, a qual auxiliou na definição que motivou uma melhor resolução espectral em seus produtos, possibilitando a minimização da influência dos constituintes atmosféricos, incluindo o vapor d'água. A melhor resolução espectral, proposta para a banda 8a (865 nm), foi projetada para evitar a contaminações por constituintes da atmosfera, representar o platô do NIR para a vegetação e, finalmente, para ser sensível ao teor de óxido de ferro no solo.

A missão prevê uma série temporal de imagens para um período de 20 anos, considerando que cada satélite foi projetado com uma vida útil de 7,25 anos. Durante a operação completa, dois satélites idênticos serão mantidos na mesma órbita com um atraso de fase de 180°, proporcionando um tempo de revisitação de cinco dias no equador.

O primeiro satélite, Sentinel-2A – S2A, foi lançado em 23 de junho de 2015 e o Sentinel-2B – S2B em 7 de março de 2017. Cada um deles possui massa aproximada a 1,2 toneladas, com um design compatível com pequenos foguetes lançadores como Vega e Rockot. As baterias e propulsores são dimensionados para uma vida útil de 12 anos, incluindo a provisão para manobras para retirá-los de órbita no final da sua vida útil (ESA, 2012).

O sensor MSI opera passivamente, de maneira que novos dados são adquiridos no instrumento à medida que o satélite se move ao longo de seu caminho orbital. O feixe de luz recebido é dividido em um filtro e focado em dois conjuntos de plano focal separados dentro do instrumento; um para as faixas visível e infravermelho próximo – IVP e outro para as faixas infravermelha curta (SWIR). A separação espectral de cada banda em comprimentos de onda individuais é realizada por filtros de faixa montados na parte superior dos detectores (ESA, 2019). Na Figura 6, ilustra-se a direção de voo e o nadir do sensor.

O design óptico do telescópio MSI permite um campo de visada – FOV de até 290 km. Trata-se de um mecanismo do obturador que impede que o instrumento seja iluminado diretamente pelo sol em órbita, evitando, assim, a contaminação durante o lançamento. O mesmo mecanismo funciona como um dispositivo de calibração coletando a luz do sol após a reflexão por um difusor (ESA, 2019).

Figura 6: Direção de voo e nadir do sistema.



Fonte: ESA (2019).

A resolução radiométrica é uma medida da capacidade de um sistema de imagem para detectar diferenças radiométricas nos alvos, essa resolução do SENTINEL-2 é de 12 bits e fornece uma faixa potencial de níveis de brilho de 0 a 4.095 (ESA, 2019).

Por sua vez, a resolução temporal é a quantidade de tempo, expressa em dias, que decorre antes de um satélite visitar o mesmo ponto específico na superfície da Terra. Os satélites na constelação SENTINEL-2 fornecem um tempo de revisitação de 5 dias, na linha do equador, em condições sem nuvens (ESA, 2019).

Para o SENTINEL-2, existem três resoluções espaciais possíveis apresentadas na Tabela 5 em sua primeira coluna. Por outro lado, a segunda coluna demonstra o número da banda e a terceira e quarta colunas apresentam as especificações dos sistemas S2A e S2B, bem como os comprimentos de onda centrais das bandas.

O SENTINEL-2A e o SENTINEL-2B ocupam a mesma órbita, mas estão separados por 180 graus. A altitude orbital média é de 786 km e a inclinação da órbita é 98,62 °. Já o Tempo Solar Local Médio (MLST) na direção descendente cruza a linha do equador aproximadamente as 10:30h local. Esse valor do MLST foi escolhido como um compromisso entre um nível adequado de iluminação solar e a minimização da possível cobertura de nuvens. Salienta-se que o valor do MLST é próximo ao tempo de passagem local do LANDSAT quase idêntico ao do SPOT-5, permitindo a integração dos dados do SENTINEL-2 com as missões existentes e históricas (ESA, 2019).

Tabela 5: Comprimentos de onda e larguras de banda das três resoluções espaciais dos instrumentos MSI.

| Resolução espacial (m) | Número da banda | S2A | S2B |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Comprimento de onda central (nm) | Comprimento de onda central (nm) |
| 10 | 2 | 496,6 | 492,1 |
| | 3 | 560,0 | 559 |
| | 4 | 664,5 | 665 |
| | 8 | 835,1 | 833 |
| 20 | 5 | 703,9 | 703,8 |
| | 6 | 740,2 | 739,1 |
| | 7 | 782,5 | 779,7 |
| | 8a | 864,8 | 864 |
| | 11 | 1613,7 | 1610,4 |
| | 12 | 2202,4 | 2185,7 |
| 60 | 1 | 443,9 | 442,3 |
| | 9 | 945,0 | 943,2 |
| | 10 | 1373,5 | 1376,9 |

Fonte: ESA (2019).

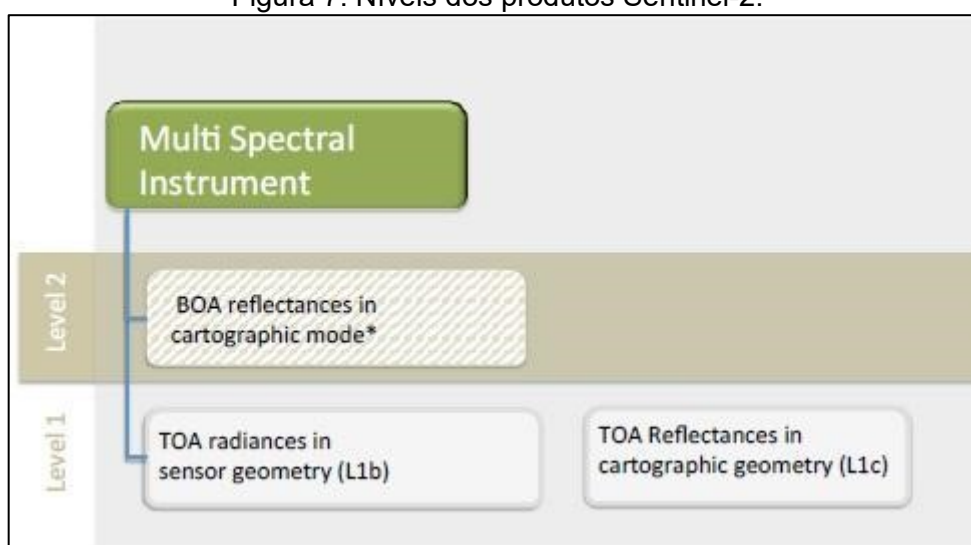
A órbita da missão SENTINEL-2 é síncrona com o sol. Para uma melhor exemplificação, destaca-se que as órbitas síncronas com o sol são usadas para garantir que o ângulo da luz solar sobre a superfície da Terra seja constantemente mantido. Tal ancoragem dos satélites minimiza o impacto potencial das sombras e dos níveis de iluminação no solo. Isso garante consistência ao longo do tempo, o que é crítico na avaliação de dados de séries temporais (ESA, 2019).

Os dados produzidos pelos S2A e S2B são dados do modo nominal, os quais são distribuídos aos usuários através da plataforma *Copernicus Open Access Hub*².

Destaca-se ainda que é disponibilizado um arquivo em formato *.kml* do Google Earth que demonstra as aquisições do Sentinel-2 ao longo de uma faixa simplificada (construída a fim de ligar os quatro cantos da faixa de aquisição de imagens). Tal faixa pode, então, não corresponder exatamente à faixa real nos produtos correspondentes, responsáveis por auxiliar na localização das cenas que compõem a área de estudo.

Os produtos disponibilizados pela ESA são pré-procesados em dois níveis (1 e 2). Ambos apresentam cena de 100x100 Km e projeção cartográfica UTM, *datum* WGS84. Na Figura 7, são apresentados os níveis 1 e 2 dos produtos Sentinel-2.

Figura 7: Níveis dos produtos Sentinel-2.



Fonte: ESA 2019.

Entre os produtos de nível 1, destaca-se o nível 1A no qual são fornecidas imagens corrigidas radiometricamente para valores de reflectância relativos ao topo

² <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

da atmosfera, *top-of-atmosphere* – TOA. Tal produto é corrigido geometricamente usando os mesmos produtos do nível 2A.

Enquanto isso, produto nível 2A fornece imagens com valores de reflectância na superfície, *bottom of atmosphere* (BOA) derivadas dos produtos do nível 1C associados.

Os produtos de nível 2A (BOA) começaram a ser gerados sistematicamente desde março de 2018, porém a produção foi estendida para escala global a partir de dezembro de 2018. A geração de nível 2A disponibiliza os produtos já corrigidos para os valores de reflectância na superfície. Destaca-se que essa correção também pode ser executada pelo usuário por meio do software SNAP, instalando a caixa de ferramentas *plugin* processador *Sen2Cor*³ disponível exclusiva para Sentinel-2, usando como entrada o as imagens TOA.

Ressalta-se que pelo fato de o pressuposto da pesquisa ser a utilização de imagens já prontas para sua utilização, o produto Sentinel-2 nível 2A é o único dentro dos produtos Sentinel-2 que atende a essa especificação determinada.

2.3 DETECÇÃO DE MUDANÇA

Dados de sensoriamento remoto obtidos em múltiplas datas e sensores podem ser usados para identificar o tipo e a distribuição de mudanças que ocorrem na cobertura da superfície da terra (FRIEDL et al., 2002; ZHAN et al., 2002). Os dados relativos a essas mudanças fornecem preciosas informações que auxiliam na compreensão sobre os processos que estão em ação (ALBERTI et al., 2004; AUCH et al., 2004).

A detecção de tais mudanças podem ser realizada utilizando pelo menos três estratégias, segundo Bruzzone e Bovolo (2009):

1) Detecção de mudanças binária;

- a) **Objetivo:** geração de mapas binários nos quais as áreas com mudanças são extraídas em relação a outras áreas que não ocorreram mudanças;
- b) **Número de Imagens:** 2 (ou pares de imagens extraídas de uma série multitemporal)

³ <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>

c) Domínio de aplicação: detecção de mudanças abruptas;

A Figura 8 apresenta um exemplo dessa análise binária para uma área no México, onde ocorreu incêndio de uma floresta nativa. As áreas escuras representam a extensão dos incêndios.

Figura 8: Detecção de mudanças binária em uma área com incêndio florestal no México.

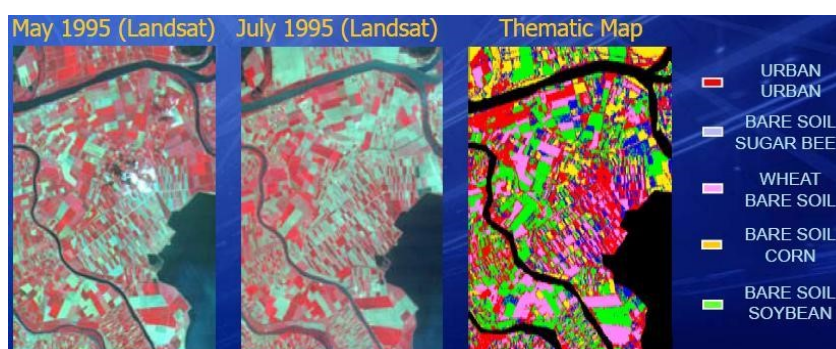


Fonte: Bruzzone e Bovolo (2009).

2) Detecção de mudanças multi-classes;

- a) Objetivo:** Geração de mapas de detecção de mudanças nos quais as áreas com mudanças na cobertura da superfície terrestre são explicitamente identificadas;
- b) Número de Imagens:** 2 (ou pares de imagens extraídas de uma série multitemporal);
- c) Domínio de aplicação:** Atualização de mapas temáticos e detecção de múltiplas mudanças (Figura 9);

Figura 9: Detecção de mudanças multi-classes para atualização de mapas temáticos.

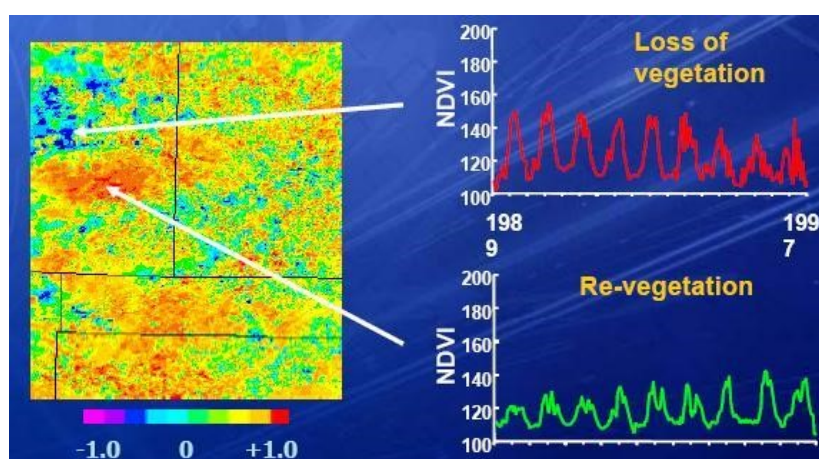


Fonte: Bruzzone e Bovolo (2009).

3) Detecção de mudanças em série de imagens multitemporal;

- a) **Objetivo:** Detecção de mudanças associadas com modificações do comportamento das assinaturas temporais de uma cobertura da superfície terrestre entre duas séries de dados (detecção de mudanças a longo termo);
- b) **Número de Imagens:** Duas séries temporais compostas por n imagens ($n > 2$)
- c) **Domínio de aplicação:** Monitoramento de mudanças sazonais ou anuais (Figura 10);

Figura 10: Detecção de mudanças em séries de imagens multitemporais.

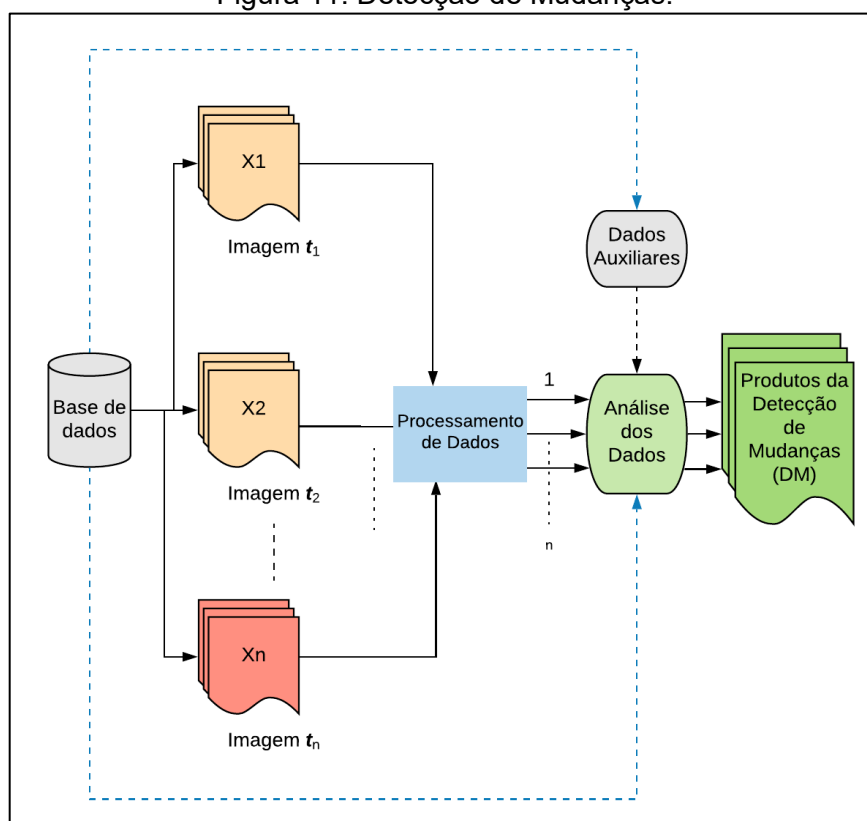


Fonte: Bruzzone e Bovolo (2009).

No escopo deste estudo será utilizada a primeira estratégia de detecção de mudanças binárias, uma vez que se deseja apenas acompanhar se houve ou não significativas mudanças de supressão vegetal nas áreas monitoradas. Desta maneira, para que métodos baseados em subtração de pixel (estatísticos ou não) sejam empregados, a detecção necessita que os pares de imagens estejam corretamente registrados e radiometricamente calibrados, pois foram capturados em séries temporais distintas. A metodologia utilizada no processo parte do pressuposto de que as imagens já são fornecidas com todas as correções geométricas e radiométricas.

A Figura 11 apresenta, em linhas gerais, o processamento dos dados para se produzir os produtos da detecção de mudanças. Destaca-se que dentro dos dados auxiliares estão inseridas as abordagens para redução de falsos positivos.

Figura 11: Detecção de Mudanças.



Fonte: Adaptado de Bruzzone e Bovolo (2009).

Os algoritmos tradicionais de detecção de mudanças têm sido comumente implementados para imagens de baixa a média resolução. Porém, não se apresentaram bem-sucedidos para imagens de alta resolução em alguns trabalhos como (IM & JENSEN, 2005; LEFEBVRE et al., 2008). Esses algoritmos podem ser classificados em duas grandes categorias: a classificação do pixel (*pixel-based*) e orientada a objeto (*object-based*).

Com o avanço de disponibilidade de imagens de alta resolução espacial no final do século XX, apresentaram-se alguns desafios aos métodos de detecção de mudanças baseados em pixels (HUSSAIN et al., 2013). Ao comparar imagens de resolução espacial baixa e moderada, as imagens de alta resolução espacial contêm informações detalhadas de objetos terrestres para realizar a detecção de alterações.

Nestas imagens as características texturais também são mais evidentes, o que permite a derivação de mais informações de mudança para objetos terrestres através da análise comparativa (BLASCHKE, 2010).

Os resultados das estratégias de detecção de mudanças, baseados em pixels, são geralmente limitados quando aplicados a imagens de resolução muito alta.

De acordo com Wulder et al. (2008), a utilização de dados provenientes de imagens de alta resolução para abordagens de alterações gera alguns desafios, sendo estes:

- (a) precisão de georreferenciamento;
- (b) maior variabilidade de refletância em cada classe e
- (c) diferentes características de aquisição (por exemplo, geometria de visualização do sensor, efeito de sombra e ângulo de iluminação).

A variabilidade aumentada, presente nas imagens de alta resolução, geralmente resulta em muitas mudanças sendo detectadas e conhecidas como falsos positivos/ruídos. Entende-se que essas tornam-se responsáveis por diminuir a precisão potencial das abordagens de detecção de mudanças baseadas em pixels (NIEMEYER et al., 2008).

É importante notar, ainda, que não existe um método padronizado ou amplamente aceito disponível para qualquer escala, sendo necessário entender os pontos específicos para o tipo de aplicação que se pretende fazer. Isso porque temos áreas com diferentes condições ambientais e biofísicas, além de diferentes tipos de imagens (MYINT et al., 2011).

2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

O mapeamento da cobertura vegetal pode ser determinado a partir de produtos do sensoriamento remoto e, por vezes, envolve processos complexos. Assim, o resultado de tais processos não pode somente ser explicado pelas características intrínsecas dessa vegetação arbórea arbustiva, mas também pela interferência a partir da interação da energia eletromagnética com a vegetação na superfície terrestre que, naturalmente, pode sofrer interferências de fatores externos.

Com o intuito de minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a refletância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação. Tais índices nada mais são do que uma razão entre bandas espectrais, utilizando-se os valores dos dados obtidos pelos diversos sensores acoplados nos mais diferentes satélites (MOREIRA, 2004). Esses dados são úteis para avaliar a quantidade e condição da vegetação, enquanto parte dos ruídos e da influência do solo e dos efeitos atmosféricos são reduzidos (JACKSON e HUETE, 1991).

Os índices de vegetação se tornaram um padrão para a interpretação da dinâmica da vegetação, sendo destacado o desmatamento, como foram aplicados em séries temporais de Landsat (FORKEL et al., 2013; DE JONG et al., 2012; VERBESSELTET et al., 2012). Dentre os diversos índices de vegetação, destaca-se para o estudo o NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

O cálculo do NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas referentes ao infravermelho próximo e visível – vermelho dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas. Esse índice, proposto por Rouse et al. (1973), varia de +1 a -1 sendo: quanto mais próximo de +1 o valor atingir, maior é a quantidade de vegetação presente e mais viçosa, apresentado na Equação (1). Nesse processo, *RED* representa a banda vermelho - na região do visível, e *NIR* representa a banda na região do infravermelho próximo.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Por seu turno, o SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, proposto por Huete (1988), teve como objetivo incorporar as influências do solo ao NDVI através da inserção do fator *L* na fórmula. Este fator varia conforme as características da área estudada, oscilando entre (1), para áreas pouco vegetadas, (0,5), para áreas com vegetação de densidade intermediária e (0,25) para áreas com vegetação densa. Nesse plano, *L* representa o ajuste de correção do efeito de brilho do solo, *RED* a banda vermelha - na região do visível, enquanto *NIR* representa a banda na região do infravermelho próximo.

$$SAVI = (1 + L) * \frac{(RED - NIR)}{(L + RED + NIR)} \quad (2)$$

Para o presente estudo, experimentalmente foi escolhido o índice de vegetação SAVI com o intuito de separar apenas a classe informacional de vegetação arbórea arbustiva das demais coberturas nas imagens.

2.5 MÉTODO ESTATÍSTICO DE VARREDURA ESPACO-TEMPORAL

A estatística de varredura espaço-temporal procura identificar a existência de conglomerados com base em dados pontuais, fazendo uma correlação com o número de casos observados com os esperados.

Esses conglomerados são chamados na literatura de *clusters* e são constituídos de um cilindro com uma circunferência cujo o raio pode ser restrito a um tamanho ou que varia até conter no máximo 50% da população total da área em seu interior.

Para cada cilindro que compõem essa análise espaço-temporal, calcula-se a razão entre a verossimilhança com a hipótese alternativa de que o risco de ocorrência do evento é maior dentro do que fora do seu perímetro. A hipótese nula é que a diferença entre as duas verossimilhanças seja ao acaso (aleatória) (KULLDORFF e NAGARWALLA, 1995).

Conforme Kulldorff (1997), em se tratando de análise de dados pontuais a estatística de varredura diferencia-se dos demais métodos estatísticos, pois realiza inferências estatísticas para detectar a localização do agrupamento. Assim, quando a hipótese nula é recusada consegue-se identificar, no espaço X e Y , a área que foi rejeitada.

2.5.1 Modelo Permutação espaço-tempo

O modelo permutação espaço-tempo segundo Kulldorff et al. (2005) apresenta o conglomerado (*cluster*) como um surto (*outbreak*). Suponha uma contagem de casos (diária, mensal ou anual) localizados por um identificador geográfico (latitude, longitude ou X , Y) de uma determinada área, sendo c_{zt} o número observado de casos no identificador geográfico da área z durante um determinado tempo t (dias, mês ou ano).

O número total de casos observados C é dado de acordo como na seguinte expressão:

$$C = \sum_z \sum_t c_{zt} \quad (3)$$

Para cada identificador geográfico e tempo, calcula-se o número esperado de casos μ_{zt} condicionado sobre as marginais observadas:

$$\mu_{zt} = \frac{1}{C} \left(\sum_z c_{zt} \right) \left(\sum_t c_{zt} \right) \quad (4)$$

O número esperado de casos μ_A em um determinado cilindro A é obtido a partir da seguinte expressão:

$$\mu_A = \sum_{(z,t) \in A} \mu_{zt} \quad (5)$$

Para calcular esse valor esperado, tem-se a seguinte pressuposição: a probabilidade condicional de ser um caso do identificador geográfico da área z , dado que foi observado no tempo t , é mesma em todos os tempos t .

Considerando c_A o número de casos observados no cilindro A . Condicionado sobre as marginais, quando não há interação espaço-tempo, o mesmo tem distribuição Hipergeométrica com média μ_A e função de probabilidade dada por:

$$P(c_A) = \frac{\binom{\sum_{z \in A} c_{zt}}{c_A} \binom{C - \sum_{z \in A} c_{zt}}{\sum_{t \in A} c_{zt} - c_A}}{\binom{C}{\sum_{t \in A} c_{zt}}} \quad (6)$$

Quando os dois $\sum_{z \in A} c_{zt}$ e $\sum_{t \in A} c_{zt}$ são pequenos comparados com C , então c_A é aproximadamente distribuído por Poisson com média μ_A . Fundamentado nessa aproximação, usa-se a Razão de Verossimilhança de Poisson Generalizada (RVG) como uma medida de evidência da qual o cilindro A contém um surto:

$$\text{RVG} = \left(\frac{c_A}{\mu_A} \right)^{c_A} \left(\frac{C - c_A}{C - \mu_A} \right)^{(C - c_A)} \quad (7)$$

Dentre todos os cilindros avaliados, aquele cujo valor maximiza a Razão de Verossimilhança de Poisson Generalizada (RVG) constitui o aglomerado espaço-temporal de casos menos “provável” de ser uma ocorrência do acaso e, portanto, é o principal candidato a um verdadeiro surto (KULLDORFF et al. 2005).

De acordo com Kulldorf et al. (2005), para encontrar a distribuição da Razão de Verossimilhança de Poisson Generalizada (RVG) são feitos ajustes de múltiplos testes, uma vez que, avalia-se uma enorme quantidade de prováveis casos, tamanhos e comprimentos no tempo. Tal procedimento não pode ser executado como nos modelos de (Bernoulli e Poisson) da estatística de varredura, uma vez que o modelo permutação espaço-tempo não utiliza a população em risco.

De acordo com Baliero (2008), para testar a significância dos candidatos a conglomerado (cluster) são geradas várias permutações aleatórias dos casos no

espaço e no tempo. Para isso são mesclados a data/tempo, associando ao conjunto inicial de localizações de casos e garantindo, assim, que as duas marginais tanto espacial quanto temporal mantenham-se sem alteração.

Logo em seguida é calculado se o RVG, para cada conjunto simulado, da mesma maneira como foi feito para os dados reais. A significância estatística é avaliada utilizando teste de hipótese de Monte Carlo.

Com isso Baliero (2008), ressalta que o procedimento para o cálculo do RVG máximo inicia a partir da geração de S conjuntos de dados simulados (por exemplo, 999 simulações). Ordenam-se todos estes valores gerados, posteriormente ao cálculo de cada RVG e denota-se R a ordem do RVG máximo para os dados reais. Entende-se, nesse meio, que se R for maior do que o 950-ésimo (por exemplo, se for executado 999 simulações) mais elevado, o aglomerado é significativo ao nível 0,05. Em termos gerais, o *p*-valor é $p = R / (S + 1)$. Por fim, caso modo de análise, ao qual o modelo de permutação espaço-tempo for usado, para casos prospectivos, então é possível acrescentar mais uma informação ao *p*-valor: sendo essa a taxa de ocorrência nula (BALIERO, 2008).

A taxa de ocorrência nula conforme Kulldorff et al. (2005) é o tempo esperado de um sinal de um surto com igual ou maior RVG, assumindo que a hipótese nula é verdadeira.

De acordo com Baliero (2008), define-se como uma vez a cada $1/p t$ (t pode ser dia, mês ou ano). Por exemplo, supondo que o *p*-valor encontrado, de uma determinada análise, seja 0,05 sob a hipótese nula espera-se, em média, um falso alarme a cada $20 t$ para o surto sob vigilância.

2.5.2 Testes de Conglomerados

De acordo com Baliero (2008), o estudo de conglomerados espaciais ganhou bastante espaço na literatura de forma que muitos métodos foram sugeridos (KULLDORFF e NAGARWALLA, 1995; KULLDORFF, 1997; ASSUNÇÃO, 2001). Um conglomerado é uma área que apresenta risco de casos para uma determinada variável resposta, significativamente distinto (elevado ou baixo), mas não explicado pelas co-variáveis conhecidas.

Quando se detecta o conglomerado de casos, podem-se começar os estudos mais complexos na tentativa de localizar o fator gerador destes conglomerados. Os casos podem ser: doenças, espécies de plantas, crimes ou desmatamento.

Os métodos de detecção de conglomerados dividem-se em duas categorias: Gerais e Focados. Em ambos a hipótese nula é a mesma, ou seja, supõe que não há conglomerados na região em estudo.

Os testes gerais são aqueles cujo procedimento visa identificar a existência de conglomerados sem conhecimento a priori da localização deste. Os testes focados, no entanto, visam avaliar a presença de conglomerados de casos em torno de uma fonte suspeita. A localização desta fonte é realizada antes de se iniciar a varredura.

Quanto ao tipo de conglomerados a serem detectados, podem ser classificados como *Hot-spot*, que são os que apresentam o risco constante em toda área e *Clinal*, considerados conglomerados que apresentam risco elevado no centro (a medida que vai se afastando do centro, o risco diminui de forma a ficar praticamente desprezível) (KULLDORF e NAGARWALLA, 1995).

De acordo com Moura (2006), os conglomerados podem ser classificados, ainda, como puramente espaciais (ocorrência de casos mais alta em determinadas áreas que em outras), puramente temporais (ocorrência de casos mais alta em um período que em outro) e espaço-temporais (ocorrência dos casos é temporariamente mais alta em determinadas áreas).

A área de ecologia tem feito uso de modelagens com princípios da estatística espacial, antes feita somente para análises em epidemiologia humana. Nesse contexto, verifica-se certa semelhança nos objetivos dos pesquisadores da saúde humana e da “saúde” das florestas, no sentido de constatação de conglomerados espaciais para, posteriormente, verificar as suas causas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo pretende-se apresentar uma caracterização da área de estudo. Para tanto serão destacados materiais e métodos necessários para alcançar o objetivo de desenvolver uma metodologia a fim de monitorar, mensalmente, as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente – APP de reservatórios hídricos, utilizando produtos do sensoriamento remoto.

Importante ressaltar que o estudo piloto com o produto Planet (*Analytic Ortho Scene*) limitou-se a uma área de APP no entorno da UHE Foz do Chapecó a um recorte temporal entre os meses de julho de 2017 a maio de 2019, totalizando 22 meses de análise temporal. Destaca-se, ainda, que pelo fato de parte dos dados serem provenientes do projeto de pesquisa, não foi possível atribuir filtragens relativas à aquisição das cenas que compõem os mosaicos.

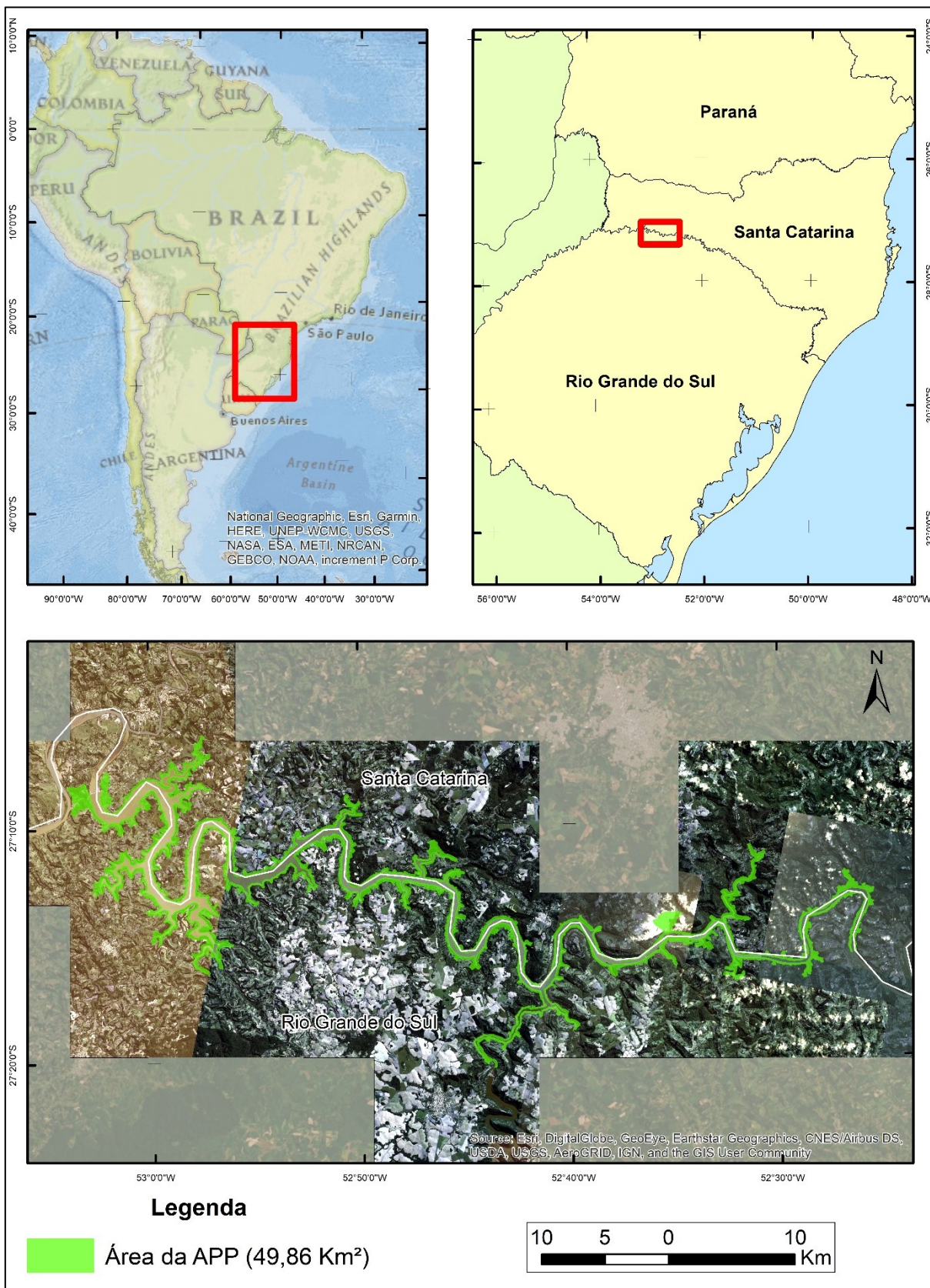
Para efeito de comparação, utilizou-se os mosaicos resultantes das cenas Sentinel-2 nível 2A, das quais foram selecionadas cenas do período de dezembro de 2018 a maio de 2019, coincidindo com o período final do estudo piloto com os produtos Planet, disponibilizados para esse estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada entre os Estados do Rio Grande do Sul – RS e de Santa Catarina – SC, divisa definida pelo Rio Uruguai entre as mesorregiões do Noroeste rio-grandense e Oeste catarinense.

A Figura 12 apresenta um dos ortofotomosaicos, demonstrando a área de estudo que se situa entre as margens do rio Uruguai. O mosaico que recobre toda a área alagada e APP tem área de aproximadamente 2.186 Km², no entanto ressalta-se que deste total, apenas a área de APP - 49,86 Km², foi analisada.

Figura 12: Mapa de localização da área de estudo.



O Serviço Florestal Brasileiro – SFB considera, em suas análises, a definição de floresta utilizada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO e o sistema de classificação da vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Nesse contexto, florestas são áreas medindo mais de 0,5 ha com árvores maiores que 5 m de altura e cobertura da copa superior a 10%, ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ*. Tal definição não inclui terra que está predominantemente sob uso agrícola ou urbano (FAO, 2009).

Observando o Inventário Florístico Nacional – IFN, buscou-se considerar, dentre as diferentes tipologias de vegetação, florestas que são similares para ambos estados. Com isso, verificou-se que Santa Catarina e Rio Grande do Sul têm em comum as florestas com as seguintes tipologias de vegetação:

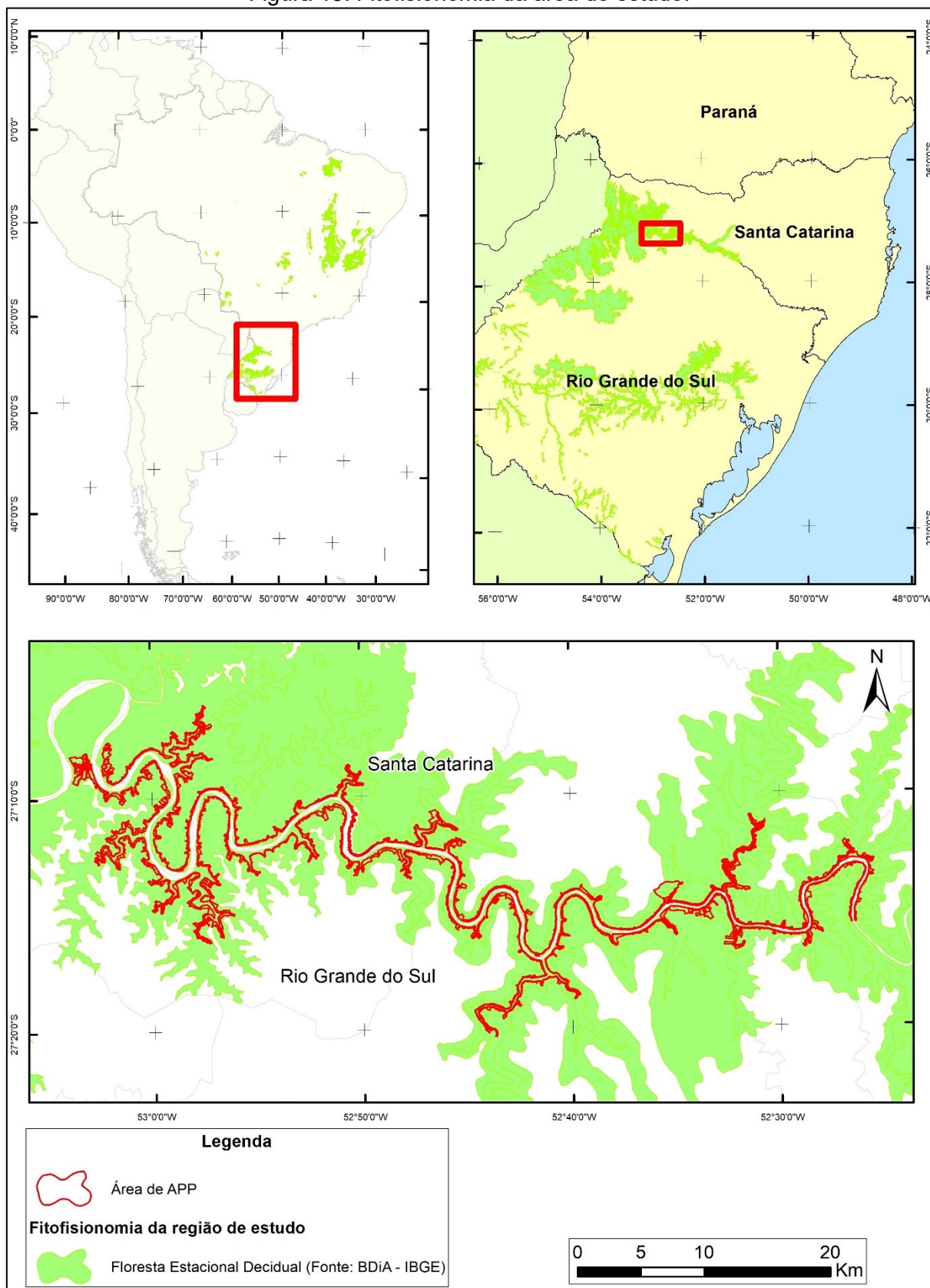
- Floresta Estacional Decidual - FED
- Floresta Ombrófila Densa - FOD
- Floresta Ombrófila Mista - FOM
- Restinga

Constatado tal similaridade, foi realizado uma análise fitofisionômica na região para poder entender a fenologia da vegetação predominante o seu comportamento nas diferentes estações do ano. Complementarmente à informação de floresta, também foi observado os dados climatológicos médios, como temperatura e pluviometria, a fim de verificar quando a floresta tem maior ou menor vigor.

Com relação aos dados de fitofisionomia da região de estudo, foi realizado download da camada vetorial por meio do BDiA⁴ – Banco de informações ambientais do IBGE, por meio do qual identificou-se que toda área de APP se encontra inserida em Floresta Estacional Decidual - FED, conforme Figura 13 apresenta.

⁴ Banco de informações ambientais: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> >

Figura 13: Fitofisionomia da área de estudo.



De acordo com o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina - IFFSC que utiliza como divisão fitogeográfica a proposta de Klein (1978), a área monitorada em questão situa-se inteiramente dentro da região fitoecológica de Floresta Estacional Decidual.

Para a análise climática, utilizou-se dos dados climatológicos médios e (desvio padrão entre parênteses) gerados a partir de uma série histórica (> 30 anos) de 197 estações meteorológicas inseridas nas áreas de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Decidual (FED), (EPAGRI 2008) e amplitude altitudinal das Unidades Amostrais (UA) do IFFSC, conforme apresentado na Tabela 6 os dados gerados para FED.

Tabela 6: Dados climatológicos médios (desvio padrão em parênteses).

| Variável | FED |
|----------------------------------|----------------|
| Temp. média anual (°C) | 18,4 (0,7) |
| Temp. média mês mais frio (°C) | 13,4 (1,2) |
| Temp. média mês mais quente (°C) | 22,7 (1,3) |
| Precipitação média anual (mm) | 1651,5 (194,6) |
| Evapotranspiração (mm) | 911,5 (62,5) |
| Umidade relativa média (%) | 77,8 (1,2) |
| Dias de geada por ano | 9 (2) |
| Altitude das UA (m. a.n.m) | 503 - 898 |

Fonte: Adaptado de IFFSC (2017, p.34)

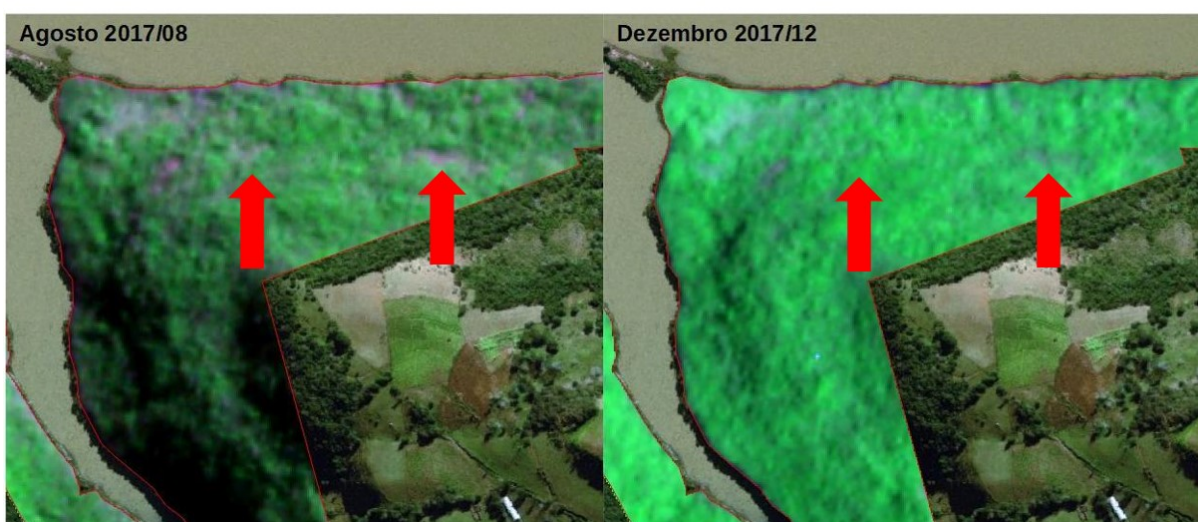
As características climáticas dessa região são as presenças de duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra mais seca. Esse tipo de floresta, presente na área de estudo, acaba recebendo influência direta das características climáticas, de acordo com o que observou-se na Tabela 6.

Enquanto na estação chuvosa as folhas ganham em vigor vegetativo, na estação de seca algumas folhas caem diminuindo a sua área foliar. Registra-se que nos meses de junho a agosto é quando a curva da média pluviométrica anual apresenta o seu ponto mais baixo e onde a vegetação sofre mais com a perda de folhas. Já nos meses setembro e outubro começa a ocorrer a regeneração natural das folhas, nos meses restantes a vegetação volta a apresentar o seu vigor máximo.

Na imagem de satélite essas diferenças na vegetação são identificáveis quando comparados diferentes meses. Conforme observa-se na Figura 14, as setas vermelhas demarcam as áreas mais afetadas pela sazonalidade, sendo na esquerda o mês de Agosto de 2017 e na direita o mês de Dezembro de 2017.

Observado o fato de existir uma sazonalidade na área de estudo, se faz necessário que seja aplicado um limiar para o Índice de Vegetação e que o mesmo seja mensal e não anual. Isso porque a floresta sofre entre as estações diversas perturbações provocadas pela variação de temperatura e pluviometria.

Figura 14: Comportamento da vegetação nas diferentes estações.



Fonte: Relatório Técnico P&D – etapa 3 (2019).

Após análise detalhada das ocorrências, presente no relatório fornecido pela empresa Foz Chapecó ao Projeto de Pesquisa – P&D, concluiu-se que, para melhor utilização dos dados, seria necessário agrupar em novas classes – (generalizar). Essa generalização tornou-se necessária visto que as classes apresentaram alguma relação entre elas. Em síntese, das 16 classes fornecidas inicialmente, restaram quatro, a saber:

Classe 1 - Supressão Vegetal: Abertura de acesso, manutenção de acesso, invasão de animais, Implantação de corredor de dessedentação;

Classe 2 - Áreas Impermeáveis: Construção de benfeitorias, trapiche fixo, trapiche flutuante, rampa de acesso, supressão vegetal, uso de herbicida.

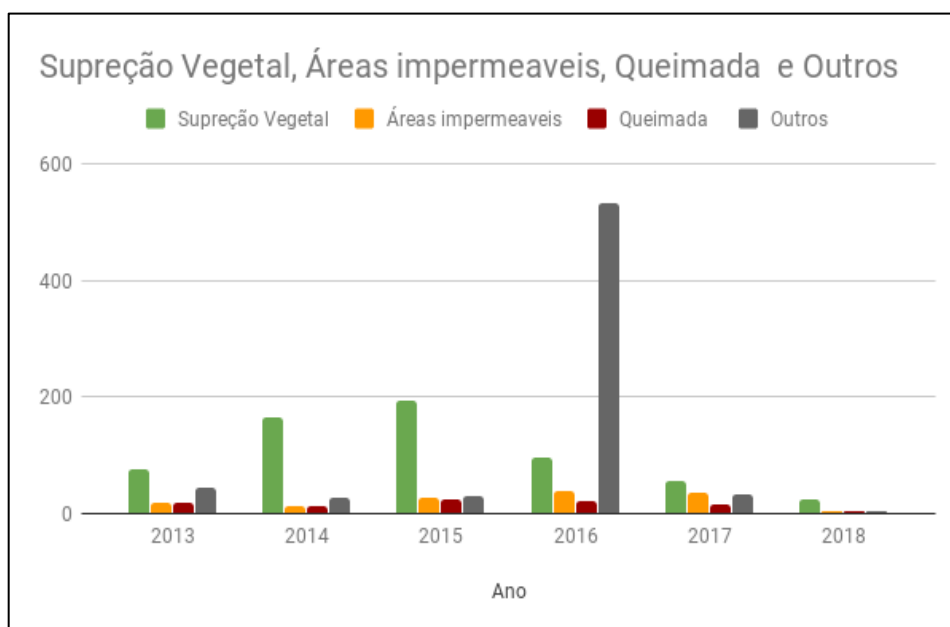
Classe 3 – Queimadas;

Classe 4 - Outros: área de lazer, deposição de resíduos sólidos, danificação de cerca, lançamento de efluentes e outros.

Na Figura 15 destacam-se as generalizações do número de ocorrências entres os anos de 2013 a 2018. Entre as três primeiras classes generalizadas, a supressão vegetal é o alvo de análises em etapas posteriores a esta pesquisa, utilizando produtos do sensoriamento remoto.

Além disso, é possível constatar, que existem inúmeras tentativas de uso e ocupação na área de estudo, sendo a supressão vegetal uma das classes que mais se evidencia com o passar dos anos.

Figura 15: Generalização das Ocorrências.



Fonte: Relatório Técnico P&D – etapa 3 (2019).

No escopo da pesquisa, utilizou-se apenas a classe de supressão vegetal, valendo-se, para etapa de validação dos conglomerados, apenas as ocorrências do segundo semestre de 2017.

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a execução das três etapas principais do estudo correspondem à preparação dos dados, análise de mudanças e hierarquização dos

alertas de ocorrências. Esses estão representados na Figura 16, ao lado dos métodos que necessitam destes materiais.

Figura 16: Relação dos materiais com seus respectivos métodos.

| | Material | Método |
|--|---|--|
| 3.3.1 Preparação dos dados | Rstudio QGIS Cenas PlanetScope - SR Cenas Sentinel - 2A Limite da área de estudo UDM2 Amostras de Vegetação Ocorrências de Campo | Mosaicagem (Apêndice E) Máscara de dados utilizáveis (Apêndice E) Reescalonamento (3.3.1.1) Coleta das Amostras de Vegetação (3.3.1.2) |
| 3.3.2 Análise de Mudanças | Rstudio QGIS | Confecção do índice de vegetação (3.3.2.1) Processo de detecção de mudanças (3.3.2.2) Estratégias para redução de falsos positivos (3.3.2.3) |
| 3.3.3 Hierarquização dos Alertas de Ocorrências | Centroides dos Alertas SatScan Google Earth | Aplicação do modelo de permutação espaço-temporal (3.3.3.1) |

Na etapa de preparação dos dados, foram utilizados dois softwares o QGIS v3.8 foi utilizado para produção das amostras de vegetação arbórea arbustiva, recorte da área de estudo e geração dos centroides.

Complementar ao uso do QGIS, foi utilizado o software RStudio desktop para o reescalonamento das imagens, elaboração dos índices de vegetação e extração dos valores amostrais de vegetação arbórea arbustiva.

Com relação à base de dados utilizada, destacam-se as cenas que compõem os mosaicos na Tabela 7. Por meio desta, apresenta-se uma comparação das especificações dos sensores que produzem as cenas Planet x Sentinel-2.

No sistema Planet, é necessário um mínimo de 15 cenas para recobrir toda a área de estudo. Isso representa a necessidade de até 10 dias para completar o mosaico com menos interferência de nuvens.

Em destaque, chama-se a atenção para o tamanho da cena, sendo que para cobrir área de estudo são necessárias apenas quatro cenas do Sentinel-2, com resolução temporal de 5 dias.

Tabela 7: Especificação dos sensores Planet X Sentinel-2.

| Especificação | Produto Planet | Produto Sentinel-2 |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Quantidade de Bandas | 4 | 13 |
| Resolução Espacial (m) | 3,125 | 10 a 60 |
| Resolução Radiométrica | 16-bit | 12-bit |
| Resolução Temporal (dia) | 1 | 5 |
| Correção Geométrica | sim | sim |
| Acurácia Posicional | 10m RMSE | 12.5 m 2 σ |
| Reescalamento | 10.000 | 10.000 |
| Tamanho Cena (Km) | 24,6x16,4 | 100x100 |
| Altitude Orbital (Km) | 475 | 786 |

As cenas produzidas e processadas pela Planet são especificadas pelo seu manual do *PlanetScope Orto Analytic* e detalhadas na seção 2.2.4, como cena ortorretificada analítica, por meio de valores de reflectância na superfície – SR.

Para as cenas produzidas e processadas pela ESA, utiliza-se as denominadas em nível de processamento 2A, corrigidas também para reflectância na superfície – BOA. Todos estes dados são oriundos respectivamente da plataforma Planet, e do setor de meio ambiente responsável pelo monitoramento que disponibilizou os dados para a execução do Projeto de Pesquisa - P&D.

Destaca-se que o estudo utilizou os mosaicos sem a aplicação da máscara de nuvens e sombras (camada de dados utilizáveis UDM 2). Para tanto, foi realizado um experimento (APÊNDICE E) com essa máscara, no intuito de verificar as interferências que a mesma auxiliaria a filtrar.

Para que o mapeamento da vegetação arbórea arbustiva, fez-se necessário a realização de uma amostragem de vegetação. Utilizando a composição pseudo-cor estas amostras foram coletadas por meio de interpretação visual nos 22 mosaicos que

compõem a série temporal deste estudo, sendo 53 amostras nos mesmos locais em todos os mosaicos.

Pelo fato de o monitoramento ser realizado *in loco*, foram fornecidas pelo setor de fiscalização da APP da UHE as coordenadas das ocorrências que foram generalizadas. As mesmas foram realizadas no segundo semestre de 2017. Assim sendo, procurou-se validar/verificar a proximidade das detecções de mudanças e produção dos conglomerados derivados dos produtos do sensoriamento remoto com as ocorrências detectadas a campo.

Para realizar a hierarquização dos alertas de supressão vegetal, utilizou-se o método de varredura de Kulldorf, 1997, no software SatSCan. Tal software SatSCan v9.6 analisa dados espaciais, temporais e espaço-temporais, usando estatísticas de varredura espacial, temporal ou espaço-temporal.

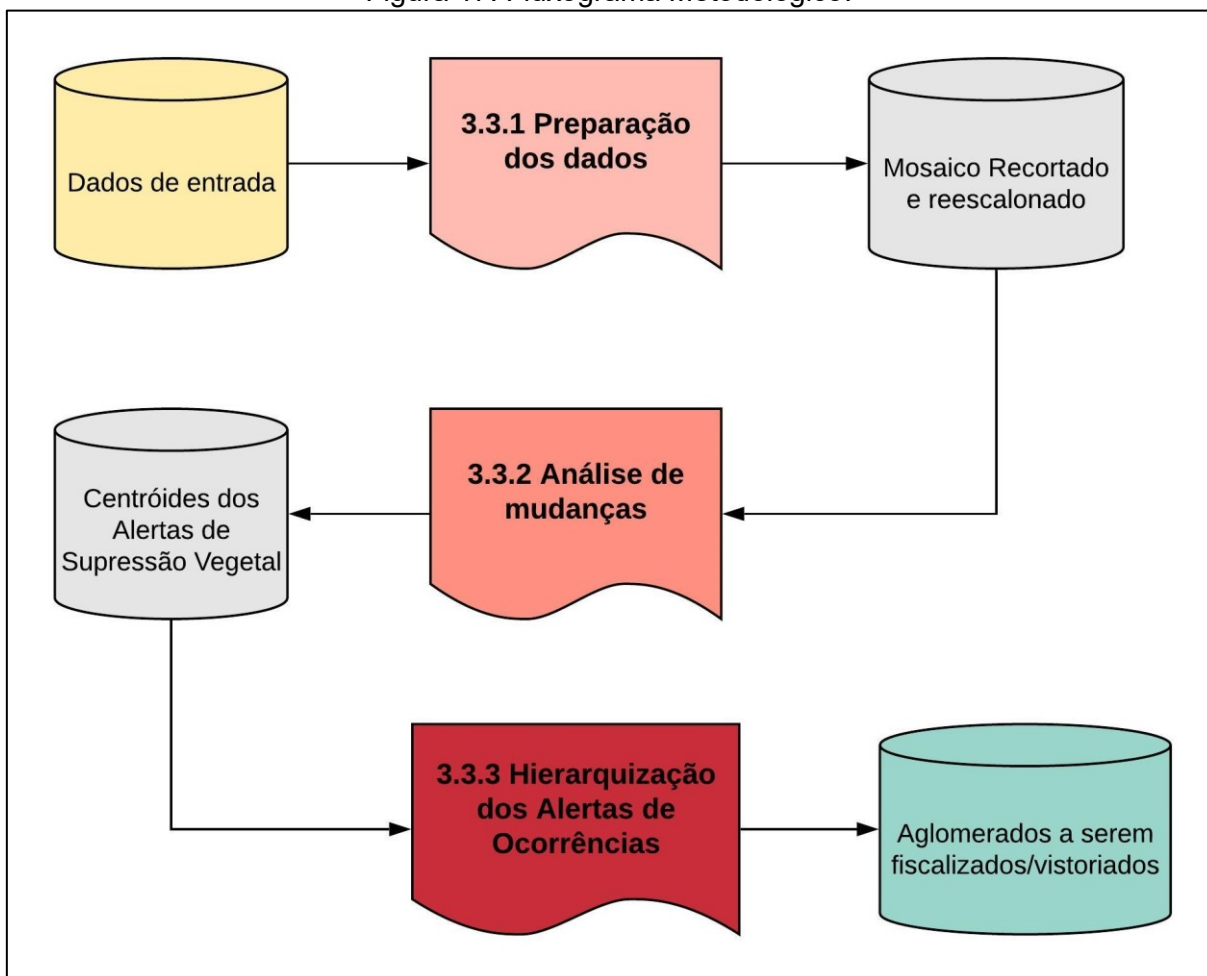
Por meio desse instrumento, foi realizada a avaliação dos casos de alertas de supressão de vegetação arbórea arbustiva, produzindo conglomerados classificados pela sua significância estatísticas.

3.3 MÉTODO

O método foi dividido em três grandes etapas sendo como primeira etapa a Preparação dos Dados (3.3.1), Análise de Mudanças (3.3.2) e Hierarquização dos Alertas de Ocorrências (3.3.3).

Na Figura 17, apresentam-se, em linhas gerais, o fluxograma metodológico com todos os processos, desenvolvidos no decorrer do estudo.

Figura 17: Fluxograma Metodológico.



3.3.1 Preparação dos Dados

A fase de preparação dos dados inicia-se com os mosaicos produzidos a partir das cenas Planet e Sentinel-2. Na [Figura 18](#) é possível observar as etapas envolvidas desde a preparação dos dados até o recorte da área de estudo para iniciar a fase de análise de mudanças. Ressalta-se que, conforme contextualização da pesquisa, o presente estudo já iniciou com os mosaicos prontos e disponibilizados pelo projeto de pesquisa. As cenas que compõem os mosaicos não passaram por uma filtragem em seus parâmetros de aquisição.

Figura 18: Etapas de preparação dos dados.



Destaca-se, nesta etapa, que as imagens provenientes da constelação Sentinel-2, em nível de processamento 2A passaram apenas pelo processo de produção do mosaico e reescalonamento. Para isso, utilizou-se as mesmas amostras de vegetação arbórea arbustiva produzidas para os produtos Planet.

3.3.1.1 Reescalonamento dos Mosaicos

No que tange a fase de preparação dos dados para todas as etapas seguintes, destaca-se o reescalonamento dos valores de reflectância dimensionados no intervalo [0 - 10000], fazendo-se necessário que cada banda do mosaico produzido com estas cenas seja também reescalonada.

O processo de reescalonamento para o intervalo [0 – 1.0] consiste em dividir os valores de reflectância de cada banda por 10.000. Trata-se do primeiro passo antes de utilizar as imagens para geração de índices de vegetação e coleta de amostras.

Também por meio do software Rstudio foi possível realizar o reescalonamento no momento em que são produzidos os mosaicos. Entretanto, considerando que os mesmos já haviam sido disponibilizados prontos para a realização deste estudo, foi possível realizar o reescalonamento em software SIG utilizando a calculadora de raster.

3.3.1.2 *Coleta das Amostras de Vegetação Arbórea Arbustiva*

A mudança na cobertura é uma tarefa crítica para o processo de detecção de mudanças (SINHA; KUMAR, 2013). Com isso, buscou-se produzir amostras de vegetação arbórea arbustiva que auxiliem na definição do limiar que separa as classes vegetação e não vegetação, utilizando, para tanto, o índice SAVI. Com essas amostras vetorizadas no software Qgis foi realizada a extração das estatísticas descritivas no software Rstudio.

Para a vetorização dos polígonos amostrais, foram utilizadas técnicas de interpretação visual de imagem (Análise Qualitativa), a fim de identificar vegetação arbórea arbustiva.

Neste caso, espera-se que o modelo tenha a capacidade de se tornar o mais sensível às possíveis variações da classe vegetação arbórea arbustiva para casos de supressão vegetal. Os critérios usados na identificação e determinação das amostras foram (PANIZZA e FONSECA, 2011):

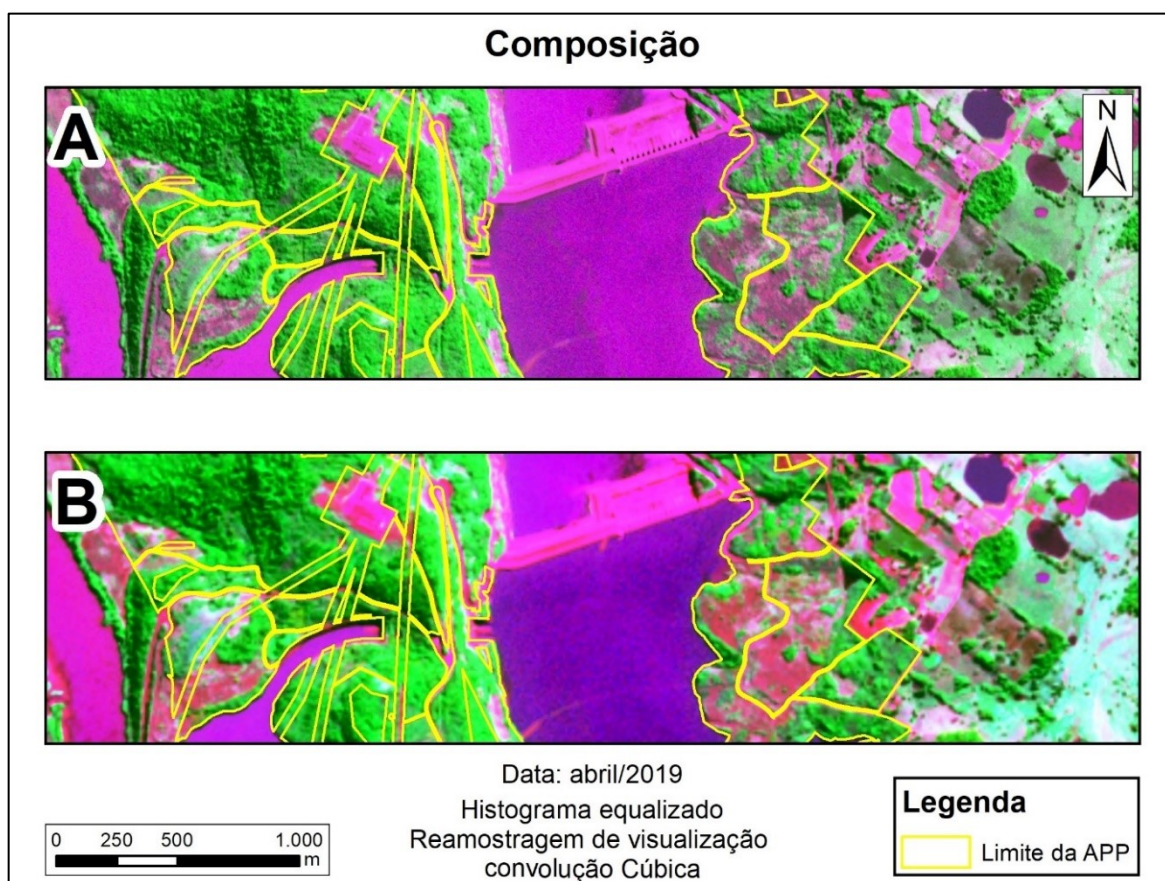
- Forma: geometria do objeto;
- Tamanho: critério que varia conforme a escala da fotografia aérea ou a resolução espacial da imagem;
- Tonalidade: quantidade de energia (normalmente a luz solar) refletida por um objeto. Obedecendo o princípio da reflectância, um objeto que absorve a energia incidente aparece nas imagens em tons escuros. O contrário acontece com um objeto que reflete a energia que aparece em tons claros;
- Localização do objeto na paisagem;
- Textura: lisa ou rugosa, homogênea ou heterogênea;
- Estrutura: paralela, quadriculada, retangular, etc.

Para uma interpretação mais acurada na seleção das amostras, fez-se ainda necessário um tratamento nas imagens do sensoriamento remoto em software SIG.

Para isso, foi utilizada a mesma composição de bandas utilizada pelo projeto PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia/INPE) que realiza o monitoramento de desflorestamento por corte raso, por meio de diversos satélites.

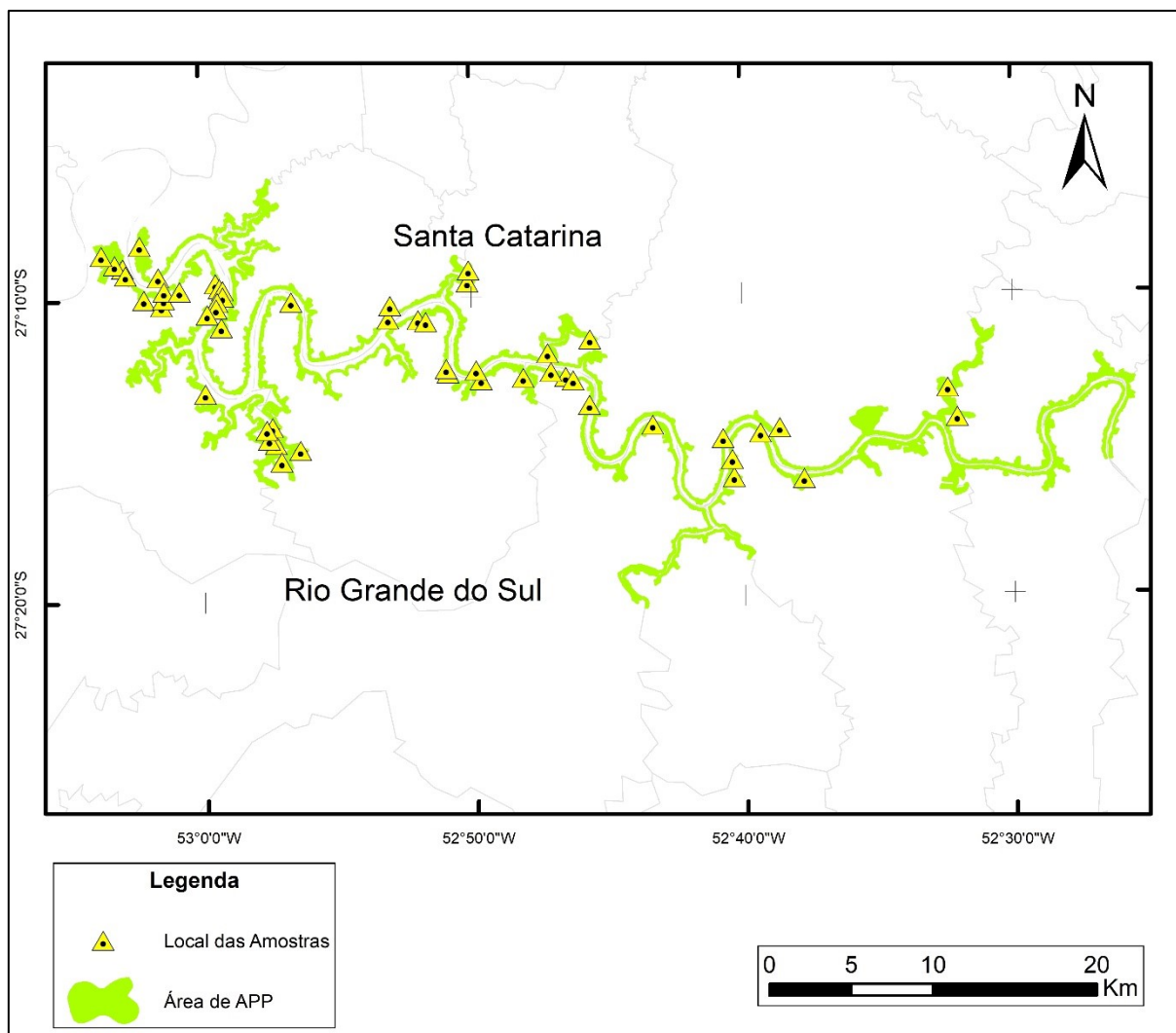
Realizando a composição pseudo cor, em ambiente SIG, com as bandas Vermelho, Infravermelho Próximo e Verde (bandas 3, 4 e 2, numeração respectiva do produto do Planet) e (bandas 4, 8, e 3, numeração respectiva do produto Sentinel-2) pode-se obter uma melhor composição para identificação de solo exposto e água, (que se apresenta em roxo) e, conseqüentemente uma boa interpretação visual da vegetação arbórea arbustiva (destacada em verde). Baseando-se nisso, a Figura 19 apresenta na parte A a composição do produto Planet e na parte B a composição do produto Sentinel-2.

Figura 19: Composição de bandas utilizada pelo PRODES nos produtos: Planet (A) e Sentinel-2 (B).



Para realizar a extração dos valores, foi realizado a produção de amostras sobre a vegetação arbórea arbustiva de interesse. Essas são compostas por 53 polígonos, distribuídos ao longo da APP e representados na Figura 20.

Figura 20: Dispersão das amostras para definição do Limiar do Índice SAVI para a Classe Vegetação Arbórea Arbustiva.



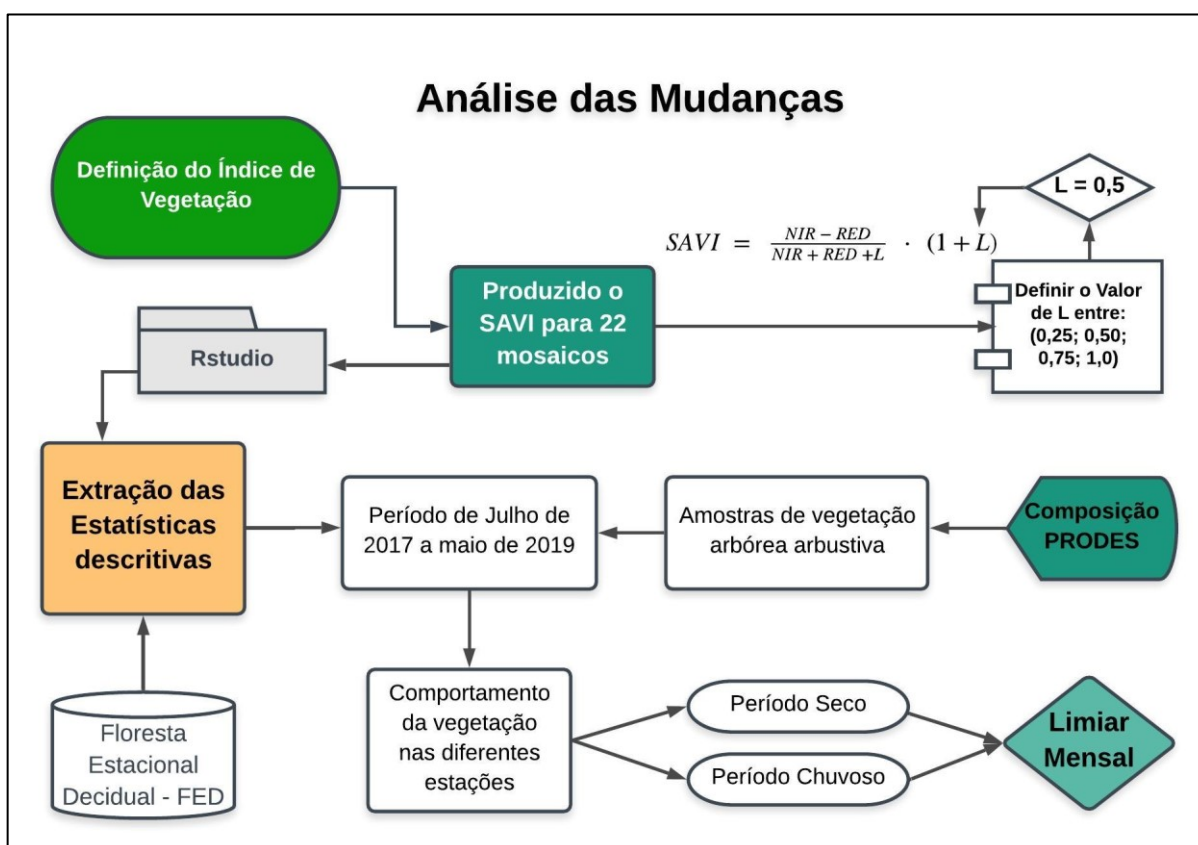
3.3.2 Análise das Mudanças

A etapa de análise das mudanças iniciou-se com o estudo dos dados matriciais da área de APP o qual é realizado a partir da elaboração do índice de vegetação. Tal análise configura-se como base para a próxima etapa na qual é realizada a detecção de mudanças baseada numa abordagem por pixel.

No software Rstudio foram processados a extração dos valores amostrais e no software QGis a produção dos arquivos vetoriais que compõem as áreas que seriam extraídos os valores e as amostras de vegetação arbórea arbustiva.

Na Figura 21, observa-se as principais etapas que resultam na imagem utilizada para realização da detecção de mudanças.

Figura 21: Etapas da análise das mudanças.



O resultado final da etapa de análise de mudança é o raster do índice de vegetação SAVI reclassificado pelo limiar encontrado a partir da extração das estatísticas descritivas da vegetação arbórea arbustiva.

3.3.2.1 Elaboração do Índice de Vegetação

Para o cálculo do índice SAVI, fez-se necessário, experimentalmente, definir o valor da constante L . Para áreas que possuíam uma vegetação densa, recomenda-se utilizar essa constante com valor de 0,25. Já para os ambientes com vegetação com média ou baixa densidade utilizar constante com valor maior de 0,50.

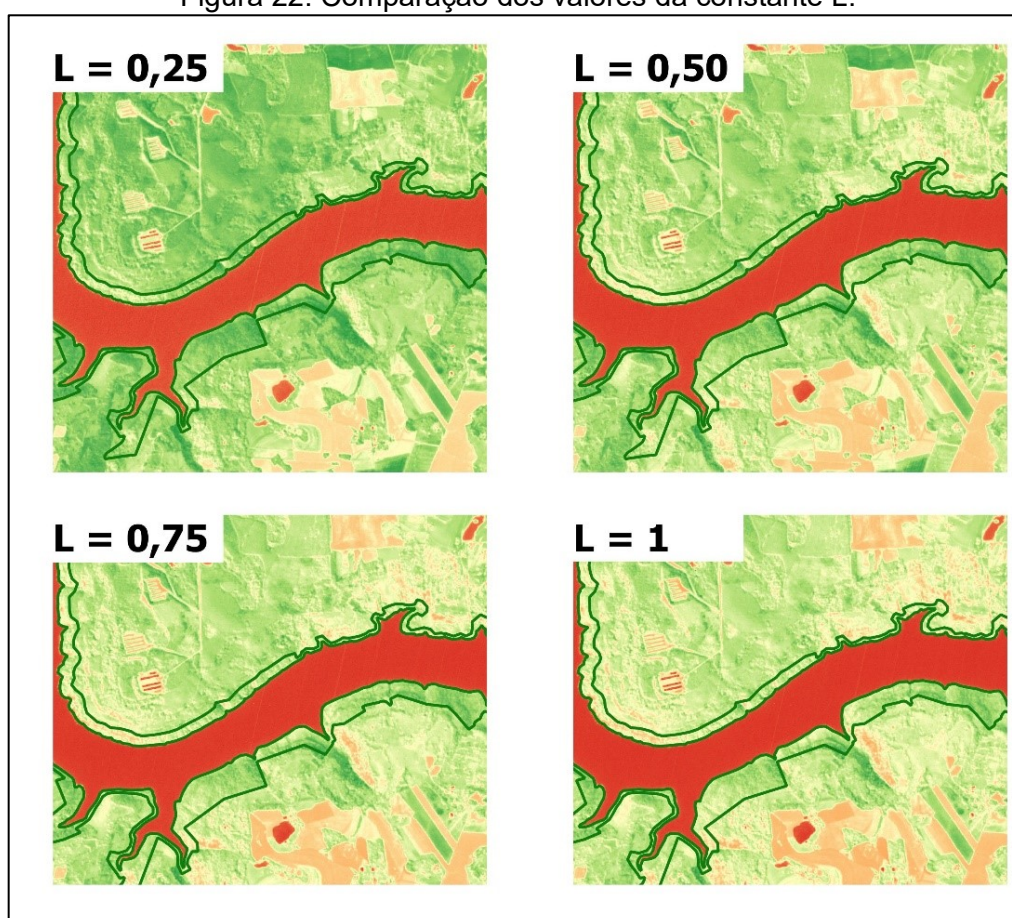
A Equação (2), é utilizada para a determinação do índice SAVI. Esse índice é representado por uma matemática de bandas que leva em consideração os efeitos do solo exposto nas imagens. Destaca-se a variação da constante “ L ”, podendo-se representar de forma diferente ambientes com variação na densidade na vegetação.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), para diversas aplicações, o fator $L = 0,5$ tem sido mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação na densidade da

vegetação. Contudo, o índice SAVI apresenta limitações, em função dos diferentes biomas, situações de uso e ocupação da terra, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetal (LIMA et al., 2017, p.6).

Para a comparação da influência da constante L nas imagens, foi realizado um experimento conforme a Figura 22 demonstra. Na imagem, o mesmo esquema de cores e contrastes para o índice de vegetação SAVI foi mantido.

Figura 22: Comparação dos valores da constante L .



Para esse estudo foram verificadas variações da constante L (0,50 e 0,75). Considerando que os valores de reflectâncias variam de 0 a 1,0, simulou-se variações nos valores médios, encontrados nas amostras de vegetação arbórea arbustiva para as bandas na região do Vermelho (*RED*) e do Infravermelho Próximo (*IVP*), para o cálculo do índice SAVI, como está representado na Tabela 8.

Tabela 8: Simulação do valor L utilizando o valor médio de Vermelho e Infravermelho próximo.

| Vermelho | Infravermelho próximo | SAVI (0,5) | SAVI (0,75) |
|-----------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| 0,0440 | 0,3357 | 0,4974 | 0,4519 |
| 0,0419 | 0,3130 | 0,4755 | 0,4293 |
| 0,0519 | 0,2989 | 0,4354 | 0,3926 |
| 0,0416 | 0,3540 | 0,5232 | 0,4772 |
| 0,0387 | 0,3671 | 0,5439 | 0,4973 |
| 0,0398 | 0,3571 | 0,5306 | 0,4841 |
| 0,0646 | 0,3636 | 0,4832 | 0,4441 |
| 0,0451 | 0,3684 | 0,5308 | 0,4862 |
| 0,0369 | 0,3504 | 0,5299 | 0,4824 |
| 0,0457 | 0,3457 | 0,5048 | 0,4599 |
| 0,0455 | 0,3133 | 0,4678 | 0,4227 |
| 0,0521 | 0,2992 | 0,4354 | 0,3926 |
| 0,0422 | 0,2900 | 0,4466 | 0,4007 |
| 0,0531 | 0,2824 | 0,4117 | 0,3697 |
| 0,0546 | 0,3057 | 0,4379 | 0,3958 |
| 0,0472 | 0,3625 | 0,5199 | 0,4758 |
| 0,0445 | 0,3901 | 0,5546 | 0,5105 |
| 0,0360 | 0,3174 | 0,4946 | 0,4463 |
| 0,0483 | 0,3609 | 0,5157 | 0,4719 |
| 0,0404 | 0,4028 | 0,5764 | 0,5316 |
| 0,0397 | 0,3809 | 0,5561 | 0,5102 |
| 0,0398 | 0,3583 | 0,5319 | 0,4854 |
| 0,0382 | 0,3388 | 0,5140 | 0,4667 |
| 0,0000** | 1,0000** | 1,0000 | 1,0000 |
| 1,0000** | 0,0000** | -1,0000 | -1,0000 |

** Valores arbitrados

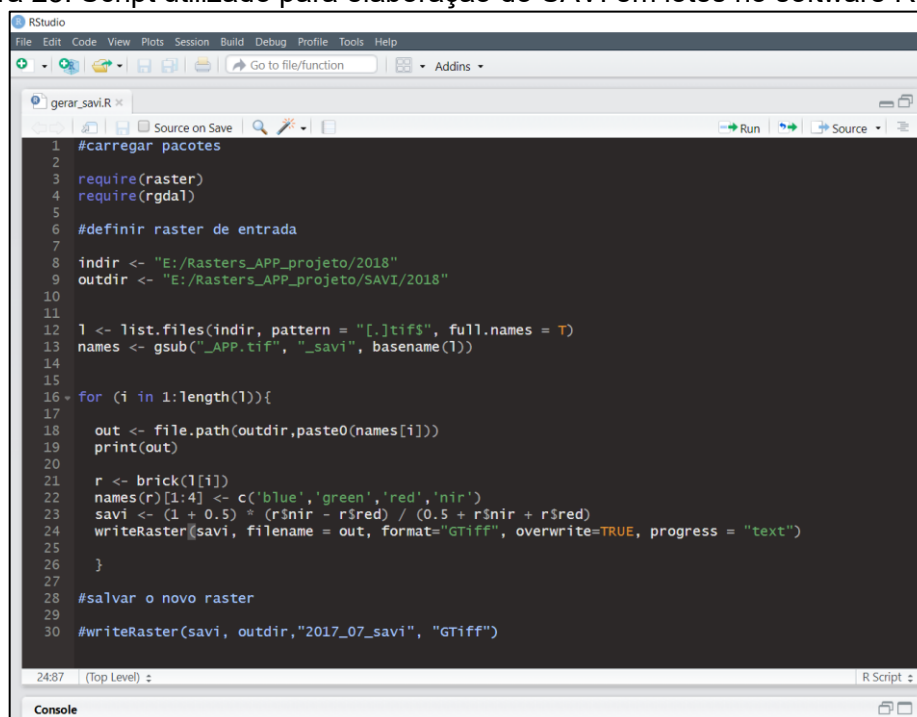
Analisando os dados obtidos para o índice SAVI, observa-se que esses valores estão normalizados como acontece com o índice NDVI. Para o valor $L = 0,5$ ou $L = 0,75$, esse índice varia dentro do intervalo $[0,0$ e $1,0]$. Registra-se que o valor do índice SAVI passa a ser crítico para mapear vegetação quando $IVP = RED$.

De acordo com a Figura 22, a constante L que obteve os melhores resultados visualmente foi de 0,50. Tendo em vista, sua capacidade de agrupar a maior variação

de vegetação, sendo sensível a qualquer mudança na cobertura vegetal, principalmente a supressões.

Durante o desenvolvimento desta etapa, realizou-se a elaboração dos índices de vegetação utilizando dois instrumentos: calculadora de raster do SIG QGIS e o Rstudio. Na Figura 23 estão apresentadas as linhas de comandos, utilizadas para aplicação da elaboração do SAVI em lote no Rstudio.

Figura 23: Script utilizado para elaboração do SAVI em lotes no software Rstudio.

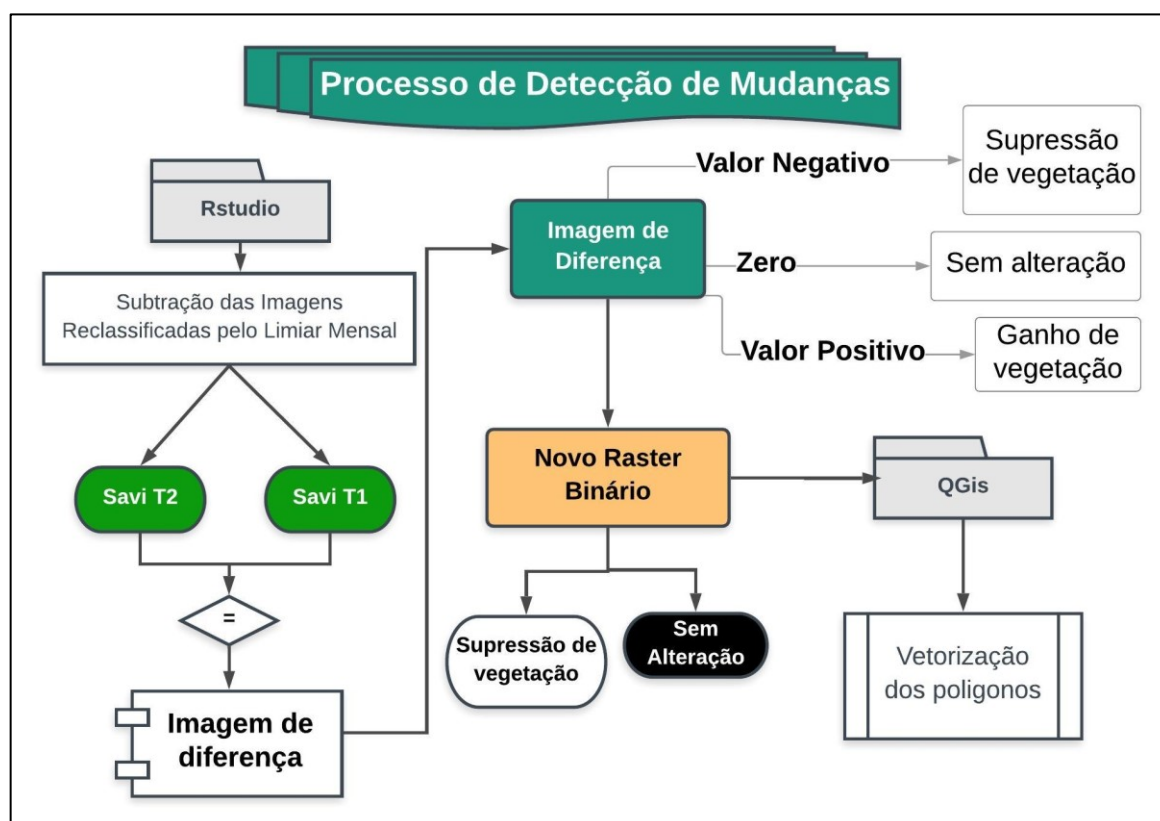
The image shows a screenshot of the RStudio interface. The main window displays an R script titled 'gerar_savi.R'. The script is written in R and performs a batch calculation of the SAVI index. It starts by loading the 'raster' and 'rgdal' packages. It then defines input and output directories. A list of files is generated from the input directory, and a loop processes each file. For each file, it reads the raster, calculates the SAVI index using the formula
$$savi \leftarrow (1 + 0.5) * (r\$nir - r\$red) / (0.5 + r\$nir + r\$red)$$
, and writes the result to a new raster file in the output directory. The script ends with a final writeRaster command.

```
1 #carregar pacotes
2
3 require(raster)
4 require(rgdal)
5
6 #definir raster de entrada
7
8 indir <- "E:/Rasters_APP_projeto/2018"
9 outdir <- "E:/Rasters_APP_projeto/SAVI/2018"
10
11
12 l <- list.files(indir, pattern = "[.]tif$", full.names = T)
13 names <- gsub("_APP.tif", "_savi", basename(l))
14
15
16 for (i in 1:length(l)){
17
18   out <- file.path(outdir, paste0(names[i]))
19   print(out)
20
21   r <- brick(l[i])
22   names(r)[1:4] <- c("blue", "green", "red", "nir")
23   savi <- (1 + 0.5) * (r$nir - r$red) / (0.5 + r$nir + r$red)
24   writeRaster(savi, filename = out, format="GTiff", overwrite=TRUE, progress = "text")
25
26 }
27
28 #salvar o novo raster
29
30 writeRaster(savi, outdir, "2017_07_savi", "GTiff")
```

3.3.2.2 Processo de Detecção de Mudanças

No processo de detecção de mudanças, a Figura 24 apresenta as etapas que são executadas para gerar os polígonos que resultam nos alertas de ocorrências. Ressalta-se que esses alertas só são definidos como ocorrências com o trabalho de campo, realizado pelos fiscais.

Figura 24: Etapas no processo de detecção de mudanças.



Após a definição dos limiares do índice SAVI, inicia-se o processo de detecção de mudanças, o qual consiste na aplicação de técnicas sobreposição por subtração de imagens.

De acordo com IM et al. (2007), a grande parte dos estudos de detecção de mudança binária utilizam um limiar para identificar áreas alteradas entre múltiplas datas de imagens.

A determinação de um limiar apropriado é o ponto crítico deste método. Praticamente todos os estudos usam um procedimento de tentativa e erro, testando manualmente vários limiares (por exemplo: LU et al., 2005; LUNETTA et al., 2002; MORISETTE e KHORRAM, 2000). No entanto, neste estudo, optou-se pela aplicação de um limiar sobre o índice de vegetação para mapear a única classe de interesse: vegetação arbórea arbustiva. Para isso utilizou-se os valores mínimos encontrados nas amostras de vegetação mensal para que fosse possível diferenciar no mapeamento áreas com vegetação e áreas sem vegetação.

Para a aplicação da detecção de mudança binária as imagens de diferentes datas foram subtraídas umas das outras, seguindo uma abordagem por pixel.

Para realizar esta subtração foi necessário a reclassificação dos pixels, resultantes do índice de vegetação SAVI, ou seja, a imagem passa a conter apenas valores binários (1 e 0), respectivamente para vegetação e não vegetação, com base nos limiares estudados, procedendo a subtração do mês mais recente para o anterior. Realizada a subtração, o resultado deste processo gerou valores negativos para as supressões da vegetação arbórea arbustiva, compreendendo valor zero para não alteração da cobertura e nos valores positivos para ganho de vegetação. Com esse resultado, foi gerado uma nova imagem binária. Nesta imagem os valores 0 representaram ganho de vegetação arbórea arbustiva ou não alteração de cobertura e 1 representando supressão vegetal, utilizando novamente o processo de reclassificação.

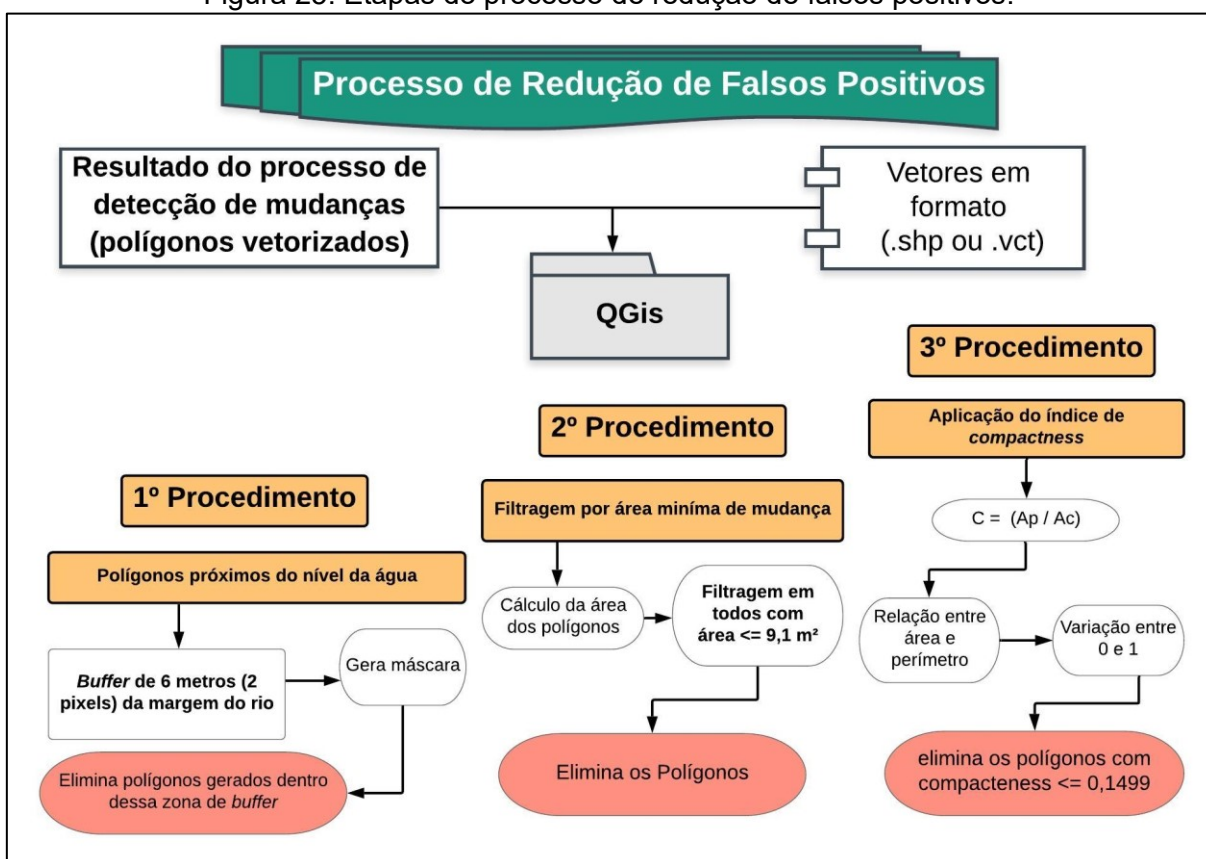
Da imagem resultante da subtração, foi realizada a conversão de imagem para vetores, por meio do *software* QGis, resultando em polígonos que representam onde foram detectadas as possíveis mudanças na vegetação arbórea arbustiva.

3.3.2.3 *Estratégia para redução de falsos positivos*

Com o objetivo de refinar o processo de obtenção dos polígonos de mudanças na vegetação arbórea arbustiva, iniciou-se uma avaliação visual dos resultados. Tal análise demonstrou que seria necessário aplicar um processo de redução de falsos positivos. Com isso, buscou-se realizar redução dos polígonos por meio de três estratégias: utilização de uma área de extração dos polígonos próximos do nível d'água; eliminação de pequenos polígonos pela área mínima de mudanças e utilização do índice de *compactness*. As três formas serão descritas nas subseções a seguir e apresentadas na Figura 25.

Destaca-se que o mesmo método de redução no número de falsos positivos foi aplicado para resultados obtidos pelos produtos Planet e Sentinel-2, sendo alterado apenas os limiares. Também, todos os resultados de detecção são transformados em arquivos vetoriais para poder ser realizado a redução de falsos positivos.

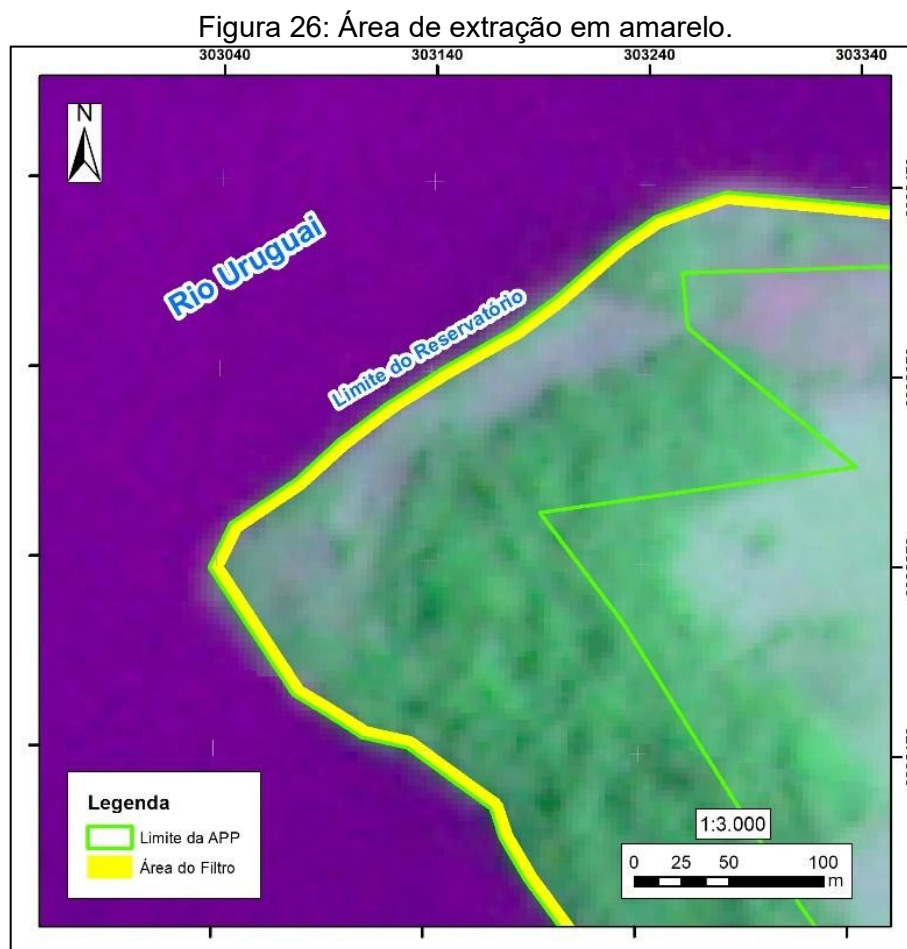
Figura 25: Etapas do processo de redução de falsos positivos.



3.3.2.3.1 Polígonos próximos do nível de água do reservatório

A partir dos polígonos gerados pela detecção de mudanças, iniciou-se o processo de redução, o qual se baseou no princípio de retirada dos polígonos que não representavam áreas com supressão vegetal e, sim, possíveis mudanças pela variação natural do nível da água. Com isso, a aplicação deste procedimento procurou minimizar os efeitos de falsos positivos, no processo de detecção de mudanças.

A primeira redução foi aplicada nos polígonos próximos do nível da água do reservatório que se baseia em uma faixa de seis metros (largura de dois pixels dos produtos PlanetScope), sempre a partir do nível d'água em sentido a APP, conforme Figura 26 indica em amarelo.

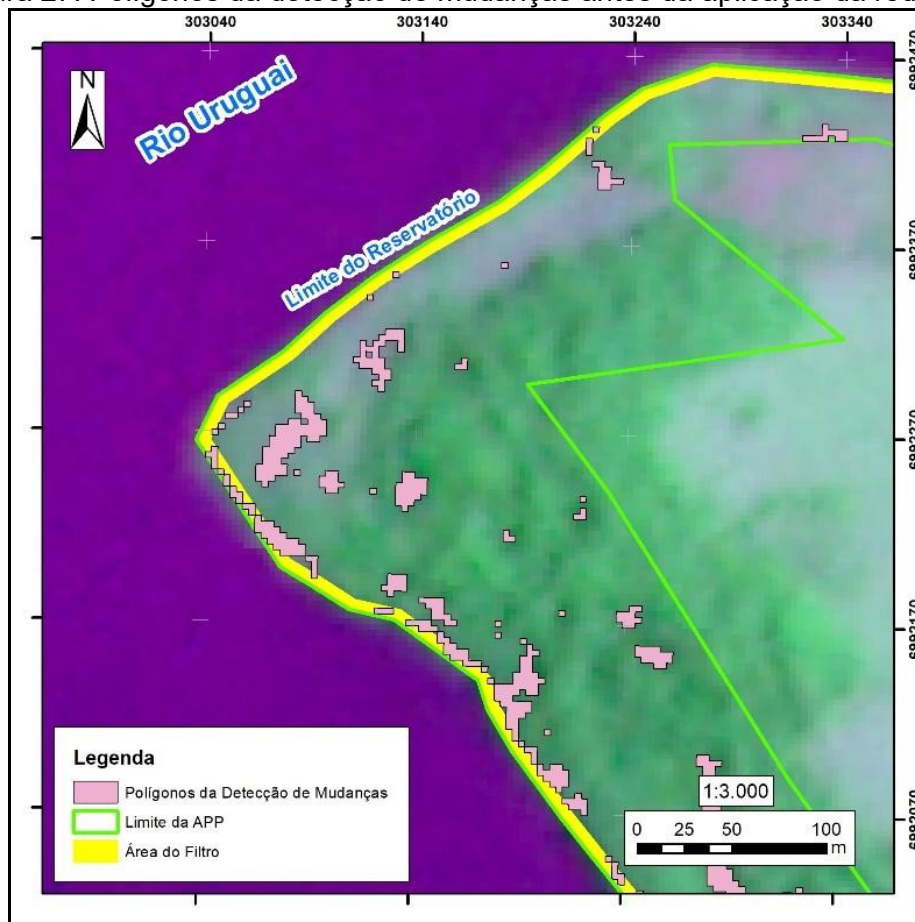


Fonte: Relatório Técnico P&D – julho (2019).

Na área em amarelo e com os polígonos de detecção de mudanças, realizou-se a aplicação da ferramenta de análise espacial (*erase*), implementada na plataforma SIG, QGis, a qual exclui os polígonos sobrepostos a uma camada referencial. Dessa maneira, eliminou-se os polígonos totalmente inseridos sobre a área em amarelo e redesenhou as feições que parte do polígono estivesse inserida sobre a área.

Na Figura 27, observam-se (em rosa) os polígonos de detecção de mudanças, antes da aplicação do procedimento de redução.

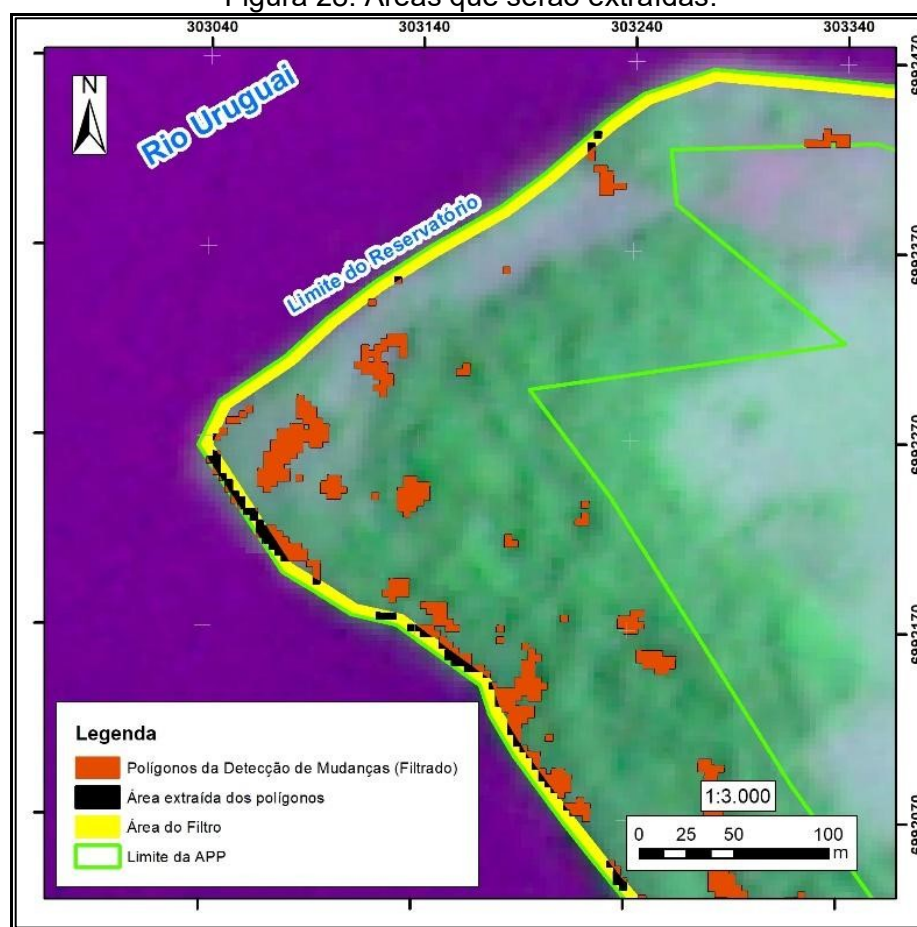
Figura 27: Polígonos da detecção de mudanças antes da aplicação da redução.



Fonte: Relatório Técnico P&D – julho (2019).

A Figura 28 descreve o resultado da aplicação deste procedimento de redução. Em vermelho estão representadas as áreas que irão prosseguir para a próxima redução, pela área mínima. Já os polígonos na cor preta indicam quais são as partes que foram excluídas da análise, ou seja, não serão mais utilizadas.

Figura 28: Áreas que serão extraídas.



Fonte: Relatório Técnico P&D – julho (2019).

3.3.2.3.2 Área Mínima

Para utilizar o procedimento da redução de polígonos pela área mínima foi realizado o cálculo sobre a área dos polígonos resultantes da aplicação do primeiro procedimento de redução, polígonos próximos do nível da água do reservatório.

Essa redução pela área mínima foi realizada por meio da seleção das feições de interesse pelo atributo, neste caso, valendo-se da seleção pelo atributo (área da feição).

Com a aplicação da expressão no software SIG QGis, foi realizada seleção de todas as feições com área menor ou igual, sendo para o produto PlanetScope (9,1 m²) e para o produto Sentinel-2 (25m²). Aplicou-se a área mínima tendo em vista a existência de frações de polígonos após a extração dos polígonos que estão próximos do nível da água do reservatório.

3.3.2.3.3 Índice de *Compactness*

Para aplicar o procedimento de redução de polígonos, pelo índice de *compactness*, foram realizados cálculos para cada polígono resultante da aplicação do segundo procedimento de redução pela área mínima.

Os cálculos necessários para encontrar o valor de *compactness* dos polígonos utilizaram o perímetro da área da feição para derivar o raio (R) e a área (A_c) de um círculo equivalente.

Para calcular o índice de *compactness* duas variáveis merecem destaque: a área do polígono analisado (A_p), e a área de um círculo equivalente (A_c), que tem o mesmo perímetro desse polígono calculado.

O índice de *compactness* realiza uma comparação entre a área da feição avaliada com a de um círculo equivalente na equação, representando uma relação otimizada entre sua área e perímetro. Para calcular a área do círculo equivalente (A_c), utilizou-se o raio equivalente desta feição. Em outras palavras, o raio (R) desse círculo equivalente utilizou o perímetro.

Os cálculos foram realizados no QGIS, por meio da calculadora de campo utilizando as equações da Tabela 9.

Tabela 9: Equações utilizadas na calculadora de campo para o cálculo do índice.

| R | A_c | C |
|----------------------------|------------------|---------------------|
| $\$perimeter / (2 * pi())$ | $pi() * "R" ^ 2$ | $("AREA" / "AC")$ |

Conforme descrito, valores com índices de *compactness* que estavam próximos a 0 indicaram polígonos com feições alongadas. Esses deveriam ser extraídos das análises de mudanças, pois poderiam estar relacionados a possíveis erros causados pelo processo de registros das imagens ou variações no nível da água do reservatório.

Após realizado os cálculos para cada arquivo vetorial foi feito uma análise sobre as feições e o valor apresentado por C (*compactness*), estes valores, junto a geometria da feição, ajudaram a definir o limiar.

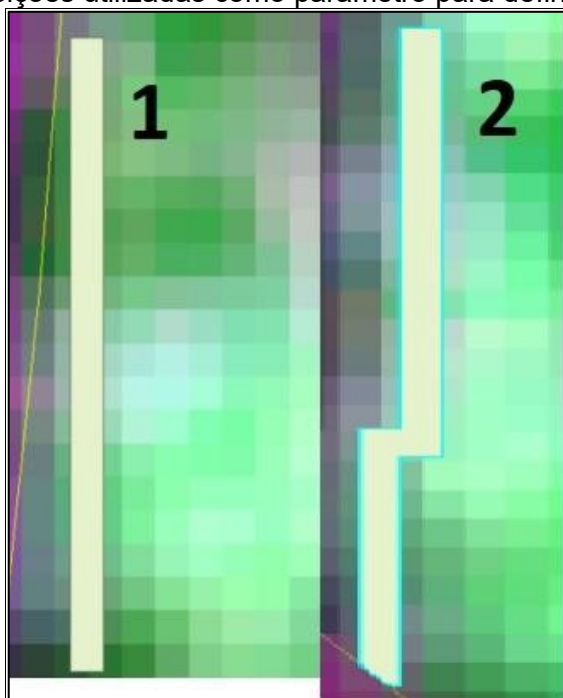
O índice de *compactness* foi definido através da avaliação das feições resultantes do processo de detecção de mudanças. Com isso, foram selecionadas as feições com maior similaridade, com possíveis ruídos ocasionados pelo registro das cenas que afetavam diretamente os mosaicos.

Na Figura 29, observa-se duas feições alongadas sobre a APP. Isto é, foram detectadas mudanças possíveis por meio da fotointerpretação sendo classificadas como falso-positivo.

No polígono 1, é possível observar uma feição alongada sem troca de direção, a qual apresenta uma área de 170,99 m², um perímetro de 119,99m, com um raio equivalente de 19,09m, área de um círculo equivalente 1145,90m e um resultado de *compactness* de 0,149.

Já no polígono 2, observa-se que além de alongada, existe uma pequena troca de direção, a qual apresenta uma área de 213,24 m², um perímetro de 148,62m, um raio de 23,65m, área de um círculo equivalente 1.757,87 m², e um resultado de *compactness* de 0,121.

Figura 29: Feições utilizadas como parâmetro para definição do limiar.



Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Com a análise das feições obtidas no processo de detecção de mudanças, foi definido o limiar, utilizado para suprimir da análise os polígonos com valor de *compactness* inferior a (0,1499, para produtos PlanetScope) e (0,1899, para produtos Sentinel-2).

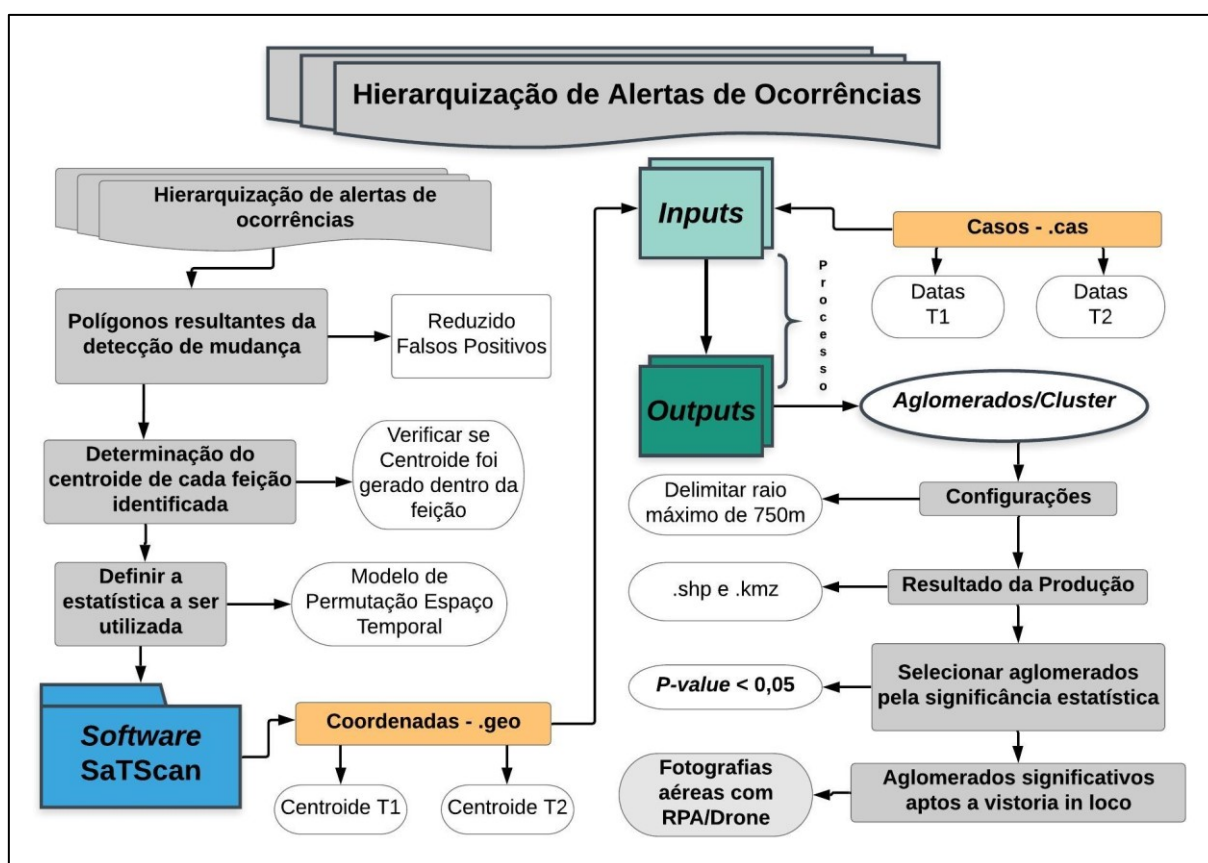
3.3.3 Hierarquização dos Alertas de Ocorrências

A hierarquização dos alertas de ocorrências foi realizada no Software SatScan. Para isto foi necessário que os alertas de ocorrências estivessem georreferenciados, utilizando coordenadas geográficas para localizar os alertas.

Iniciou-se, assim, a geração dos centroides dos polígonos constatando-se supressão vegetal para o período em análise e a criação do arquivo de coordenadas, denominada detecção de mudanças.

Na Figura 30, é possível observar as etapas que serão detalhadas nas subseções a seguir, desde a criação dos centroides até o conglomerado final, material necessário para a equipe fazer a vistoria *in loco*.

Figura 30: Etapas da hierarquização de alertas de ocorrências.



O primeiro passo nessa análise corresponde a determinação do centroide de cada feição, identificada como supressão de vegetação arbórea arbustiva. Este centroide foi definido como o ponto médio das feições vetoriais e o ponto pode ser obtido com cálculos geométrico de coordenadas X e Y. Entretanto, a determinação

deste ponto médio requer certo nível de cuidado, pois em feições não regulares o centroide foi projetado para fora da feição. Assim, o analista deve se atentar, no momento de calcular o centroide, para que as coordenadas a serem produzidas, estejam integradas aos limites das entidades que são referência deste cálculo, assegurando, assim, que o centroide seja projetado dentro da feição.

O segundo passo é a definição da modelagem estatística utilizada nas análises espaço-temporais. Das diversas opções disponíveis, a modelagem estatística que melhor se adequou às necessidades deste projeto foi o Modelo de Permutação Espaço-Temporal. Este modelo consistiu em utilizar o registro da ocorrência de casos, com informações sobre a localização espacial e o tempo de cada caso, não sendo necessária nenhuma informação sobre controles ou uma população em risco.

O número de casos observados em um aglomerado é comparado ao que seria esperado se as localidades espaciais e temporais de todos os casos fossem independentes umas das outras, de modo que não houvesse qualquer interação espaço-temporal (KULLDORFF, 2015).

3.3.3.1 *Aplicação do Modelo de Permutação Espaço-temporal*

Um dos desafios trabalhados foi a avaliação mensal. Isso porque, os alertas de ocorrências detectados em um mês, podem se repetir no próximo, podendo assim gerar um falso alerta caso a ocorrência não seja efetiva. Mas, como se utilizou uma análise espaço temporal, tornou-se necessário verificar se os conglomerados eram ativos (permanecendo até o final da análise) ou históricos (desaparecendo ao longo da análise – indicando regeneração). Os conglomerados ativos devem ser posteriormente visitados em campo, com RPA/Drone pelos fiscais.

A aplicação do SatSCan, baseada na produção dos Conglomerados dos alertas de ocorrências detectadas, demonstrou que para a elaboração dos conglomerados é necessário que estes alertas tenham sido transformados em centroides e que suas coordenadas sejam calculadas.

O período em que foram gerados os conglomerados foi o segundo semestre de 2017. No ano de 2018 formaram-se outros conglomerados e nos cinco primeiros meses de 2019 formou-se um outro grupo de conglomerados. Após a produção, foi verificada a sobreposição de um ano ao outro para verificar sua permanência.

Destaca-se que, para o processamento dos dados a fim de proceder a geração dos conglomerados deve-se ter dois conjuntos de alertas de ocorrências. Isso porque os meses 7 e 8 geram um conjunto, que por si só não são passíveis de uma análise espaço temporal, por isso, é necessário que sejam produzidos também os alerta entre o mês 8 e 9. Assim, ter-se-ão dois conjuntos de alertas em datas distintas, sendo no primeiro conjunto as ocorrências resultantes do mês 8 e no segundo resultantes do mês 9.

Com os alertas de ocorrências resultantes, realizou-se a produção dos arquivos de entrada no software SatScan. Para esse modelo são necessários: um arquivo contendo os casos e outro contendo as coordenadas destes alertas de ocorrências. Estes arquivos devem ter o mesmo identificador e assim o software consegue correlacioná-los para realizar a análise espaço temporal. A Figura 31 apresenta exemplos de formatação dos inputs que devem ser inserido no software, utilizando o formato .xls padrão do software *Microsoft excel*.

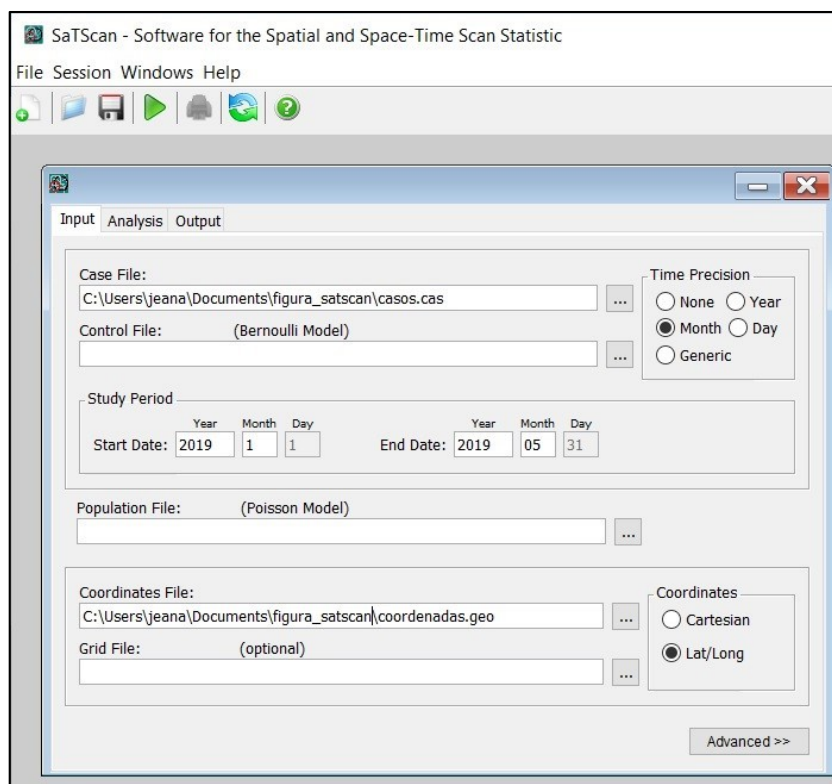
Figura 31: Exemplo de arquivos de entrada (inputs), arquivo de casos e arquivo de coordenadas.

| arquivo de casos | | | | arquivo de coordenadas | | | |
|------------------|----------|-------|---------|------------------------|----|----------|-----------|
| 1 | ORIG_FID | CASOS | DATA | 1 | id | latitude | longitude |
| 2 | 0 | 1 | 2019/01 | 2 | 0 | -27,1022 | -52,9575 |
| 3 | 1 | 1 | 2019/01 | 3 | 1 | -27,1028 | -52,9589 |
| 4 | 2 | 1 | 2019/01 | 4 | 2 | -27,1066 | -52,9594 |
| 5 | 3 | 1 | 2019/01 | 5 | 3 | -27,1067 | -52,9614 |
| 6 | 4 | 1 | 2019/01 | 6 | 4 | -27,107 | -52,9615 |
| 7 | 5 | 1 | 2019/01 | 7 | 5 | -27,1069 | -52,9642 |
| 8 | 6 | 1 | 2019/01 | 8 | 6 | -27,107 | -52,9615 |
| 9 | 7 | 1 | 2019/01 | 9 | 7 | -27,107 | -52,9622 |
| 10 | 8 | 1 | 2019/01 | 10 | 8 | -27,1077 | -52,9585 |
| 11 | 9 | 1 | 2019/01 | 11 | 9 | -27,1083 | -52,9592 |
| 12 | 10 | 1 | 2019/01 | 12 | 10 | -27,1103 | -52,964 |
| 13 | 11 | 1 | 2019/01 | 13 | 11 | -27,1115 | -52,9641 |
| 14 | 12 | 1 | 2019/01 | 14 | 12 | -27,1119 | -52,9642 |
| 15 | 13 | 1 | 2019/01 | 15 | 13 | -27,1127 | -52,9649 |
| 16 | 14 | 1 | 2019/01 | 16 | 14 | -27,1136 | -52,9643 |
| 17 | 15 | 1 | 2019/01 | 17 | 15 | -27,1137 | -52,9586 |
| 18 | 16 | 1 | 2019/01 | 18 | 16 | -27,1138 | -52,9643 |
| 19 | 17 | 1 | 2019/01 | 19 | 17 | -27,114 | -52,9583 |
| 20 | 18 | 1 | 2019/01 | 20 | 18 | -27,1141 | -52,963 |
| 21 | 19 | 1 | 2019/01 | 21 | 19 | -27,1142 | -52,9629 |
| 22 | 20 | 1 | 2019/01 | 22 | 20 | -27,1142 | -52,9581 |

Com os arquivos de entrada do software SatScan configurados, os mesmos foram inseridos para iniciar a configuração. Na Figura 32 esses arquivos inseridos são

demonstrados. Trata-se de um arquivo de casos em (*case file*) e um de coordenadas em (*coordinate file*).

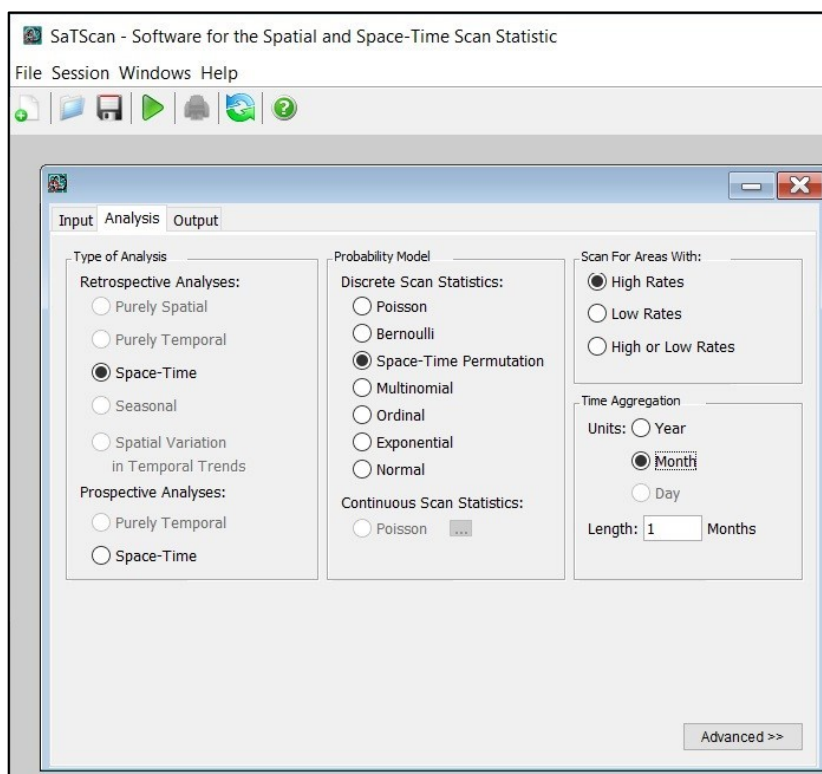
Figura 32: SatScan com arquivos de entrada inseridos.



Na coluna de opções à direita dos arquivos inseridos, foi selecionado a precisão temporal em (*Time Precision*), para mensal em (*Month*), já nas opções de coordenadas (*Coordinates*) a formatação das coordenadas Lat/Long.

No segundo passo de configuração, foi selecionado a aba superior (*Analysis*) para abrir as opções de análise. Nesse sistema, são selecionados o tipo de análise espaço temporal (*Space-time*), o modelo de probabilidade estatística Permutação espaço temporal (*Space-Time Permutation*). Por sua vez, destacam-se as opções procurar área com o (*Scan for Area with*), altas taxas de probabilidade, (*High Rates*) e na opção de forma em que o tempo é agregado, (*Time Agregation*), selecionado mensalmente. Todas essas opções de configurações podem ser visualizadas na Figura 33.

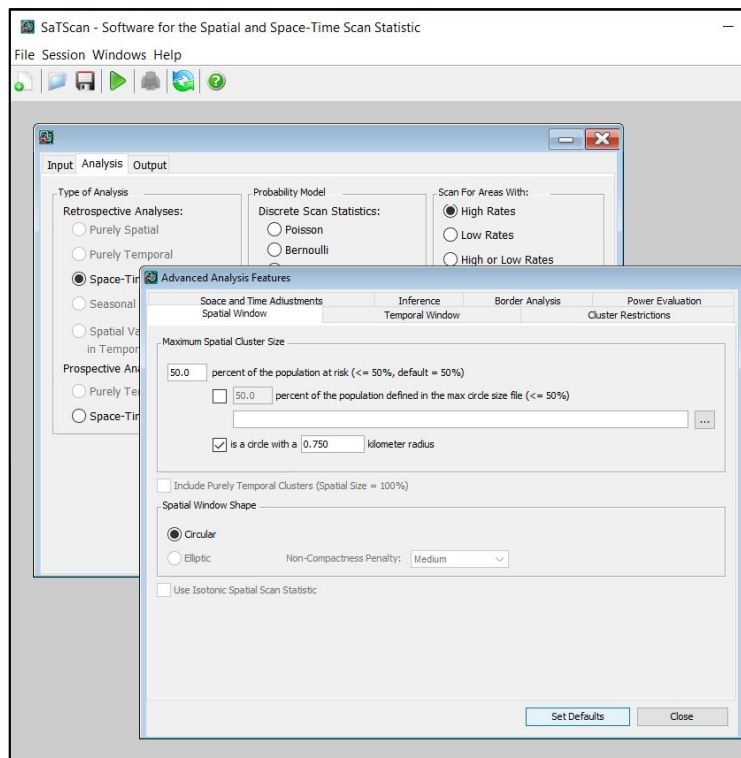
Figura 33: Configuração de análise utilizada.



Complementar às configurações de análises, foi realizada a configuração avançada na opção (*advanced*), conforme será demonstrado na Figura 34.

Nessa aba foi definido um dos parâmetros utilizados na análise espaço-temporal na aba de janela espacial (*Spatial Window*). Com essa configuração iniciando na definição do tamanho máximo do *cluster* (*Maximum Spatial Cluster Size*), habilitando e alterando a opção um círculo com (1) quilômetro de raio (*is a circle with a (1) kilometer radius*), para 750 metros de raio máximo. Essa configuração foi definida considerando-se a sugestão de utilização de uma Aeronave Remotamente Pilotada – RPA e também sua autonomia e distância operacional.

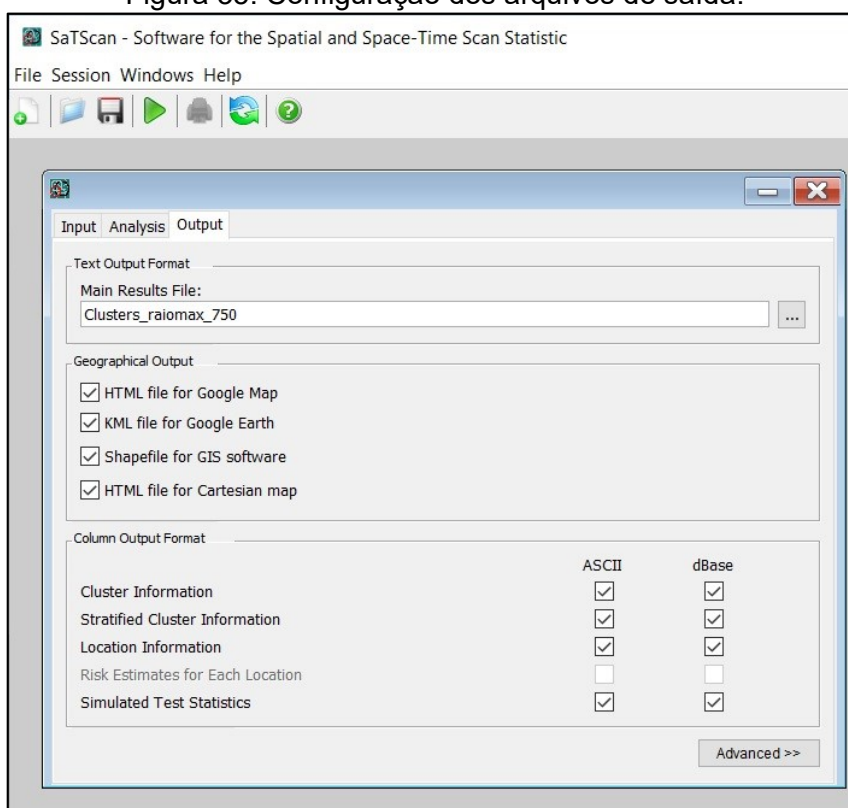
Figura 34: Configuração Avançada da aba análises com o raio máximo de busca espacial de 750 m.



É importante mencionar que para cada aglomerado encontrado, estão relacionados um conjunto de alerta de ocorrências, que devem ser organizadas para essa verificação em campo. Sendo assim, foi possível saber sobre qual propriedade adquirida pela empresa este alerta foi inserido, (ressalta-se que essas propriedades possuem um código que pode ser correlacionado com o alerta para poder auxiliar os técnicos de campo na localização do alerta).

Para executar essa tarefa foi necessário, no momento de configuração dos arquivos de saída, selecionar os arquivos vetoriais *shapefile* dos conglomerados e, com isso, realizar operação de recortar em ambiente SIG. Na Figura 35 é possível observar tal configuração:

Figura 35: Configuração dos arquivos de saída.



Também, é importante salientar que os conglomerados produzidos foram filtrados para um nível de relevância estatística, calculada para cada conglomerado. Este deve estar entre os 95% de confiança, ou seja, para ser significativo deve atender um 'p' valor de no máximo 0,05.

Para validar a produção dos conglomerados produzidos com os alerta de ocorrências detectadas com sensoriamento remoto foi necessário realizar uma análise qualitativa dos polígonos que foram usados para produzir os centroides que resultaram no conglomerado.

Complementar a análise qualitativa, foi verificado a localização das ocorrências detectadas em 2017 com os conglomerados gerados no período, na tentativa de verificar sua efetividade.

O resultado obtido pelo SaTScan é o material alvo de avaliação. Este tem como formato de saída padrão arquivo *kmz*, utilizado pelo software *google earth*, no entanto os usuários podem extrair mais informações no momento de selecionar os resultados do SaTScan, entre eles o arquivo vetorial *shapefile* com todas as informações complementares do processo de hierarquização.

Por último, para fazer a vistoria *in loco* o setor responsável pelo monitoramento precisa localizar onde devem ser vistoriados os alertas. Para isso foram gerados os polígonos da área de APP que estão/estavam inseridos sobre o conglomerado. Para realizar esse recorte da área a ser vistoriada utilizou-se a ferramenta de recortar do *software* QGIS.

Com essa área recortada, foi possível gerar um arquivo padrão de *google earth* (.kml), capaz de auxiliar na produção do plano de voo do RPA, ao realiza fotografias aéreas e visita dos conglomerados *in loco para*, após, proceder a validação das alterações em escritório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentadas as análises e interpretação dos resultados obtidos nas fases de análise das mudanças e hierarquização dos alertas de ocorrências.

4.1 EXTRAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

A vegetação arbórea arbustiva está suscetível a diversas perturbações como pragas, doenças ou estiagem, ou ainda, por ação humana, como as queimadas, abertura de picadas, manutenção de estradas ou podas próximo a limites de propriedades. Estas influências e perturbações causam alteração na composição da vegetação, afetando sua saúde e vitalidade, influenciando diretamente nas respostas espectrais, encontradas na extração dos valores amostrais de vegetação arbórea arbustiva.

Com isso, foi realizado a extração das estatísticas descritivas das amostras de vegetação arbórea arbustiva. Tais dados foram fundamentais para a determinação dos limiares utilizados nos mosaicos, após a elaboração do índice de vegetação.

Na Tabela 10 é possível observar os resultados da extração das estatísticas descritivas do produto Planet na terceira coluna, bem como os resultados médios dos valores encontrados nas bandas vermelho e infravermelho dos mesmos polígonos amostrais.

Tabela 10: Resultados da extração das estatísticas sobre produtos Planet.

| Estatísticas Descritivas Extraídas dos dados matriciais (<i>raster</i>) SAVI | | | ID Polígono | Média dos Valores das Bandas | |
|--|-----------|-----------------|-------------|------------------------------|-----------------------|
| Ano | Mês | Valores mínimos | | Vermelho | Infravermelho Próximo |
| 2017 | Julho | 0,1801 | 6 | 0,0440 | 0,3357 |
| | Agosto | 0,1552 | 61 | 0,0419 | 0,3130 |
| | Setembro | 0,2423 | 61 | 0,0519 | 0,2989 |
| | Outubro | 0,3398 | 49 | 0,0416 | 0,3540 |
| | Novembro | 0,3415 | 49 | 0,0387 | 0,3671 |
| | Dezembro | 0,3322 | 49 | 0,0398 | 0,3571 |
| 2018 | Janeiro | 0,3386 | 49 | 0,0646 | 0,3636 |
| | Fevereiro | 0,3308 | 49 | 0,0451 | 0,3684 |
| | Março | 0,2923 | 61 | 0,0369 | 0,3504 |
| | Abril | 0,2100 | 61 | 0,0457 | 0,3457 |
| | Maio | 0,1735 | 61 | 0,0455 | 0,3133 |
| | Junho | 0,1671 | 61 | 0,0521 | 0,2992 |
| | Julho | 0,2203 | 4 | 0,0422 | 0,2900 |
| | Agosto | 0,2406 | 61 | 0,0531 | 0,2824 |
| | Setembro | 0,2711 | 61 | 0,0546 | 0,3057 |
| | Outubro | 0,4011 | 93 | 0,0472 | 0,3625 |
| | Novembro | 0,3959 | 61 | 0,0445 | 0,3901 |
| | Dezembro | 0,3916 | 22 | 0,0360 | 0,3174 |
| 2019 | Janeiro | 0,3406 | 22 | 0,0483 | 0,3609 |
| | Fevereiro | 0,3969 | 33 | 0,0404 | 0,4028 |
| | Março | 0,3748 | 7 | 0,0397 | 0,3809 |
| | Abril | 0,3044 | 33 | 0,0398 | 0,3583 |
| | Maio | 0,2432 | 17 | 0,0382 | 0,3388 |

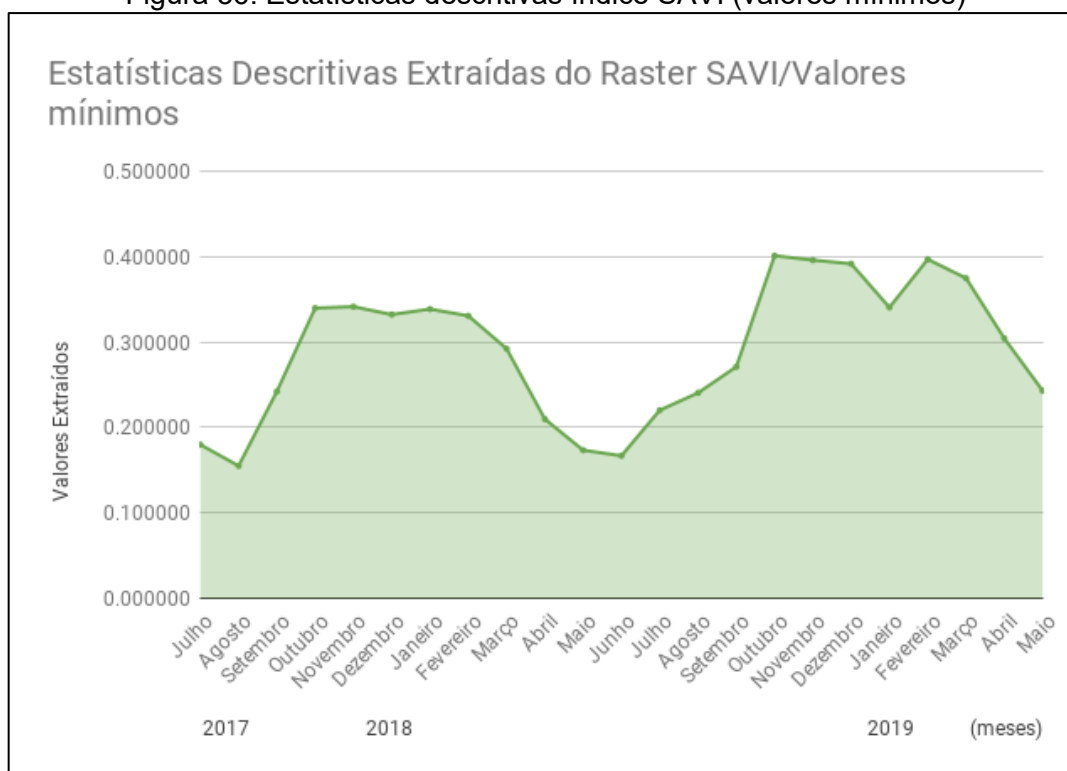
A Figura 36 apresenta no seu eixo X, os meses definindo a ampliação do recorte temporal, (julho de 2017 a maio de 2019). Já o eixo Y representa os valores extraídos das amostras.

Verificou-se, pela Figura 36, por meio das estatísticas sobre o produto PlanetScope, que após o mês de agosto, o valor mínimo do índice SAVI tornou-se crescente, o que indica um possível aumento da folhagem, no fim do inverno e início da primavera. Nos meses de outubro a fevereiro os valores mantiveram-se mais altos,

e numa curva mais estável. A partir do mês de fevereiro de 2018, o índice apresentou valores decrescentes estendendo até o mês de junho daquele ano, quando atinge seu valor mínimo, para então repetir todo o ciclo.

Ao comparar o mês de abril de 2018 com abril de 2019 observou-se que os mesmos períodos apresentaram uma queda nos valores, reforçando a influência da estação do ano (sazonalidade) sobre a Floresta Estacional Decidual.

Figura 36: Estatísticas descritivas índice SAVI (valores mínimos)



Fonte: Relatório Técnico P&D – etapa 3 (2019).

Considerando que os produtos de nível 2A começaram a ser gerados sistematicamente e disponibilizados em escala global só a partir de dezembro de 2018, a extração das estatísticas sobre as imagens Sentinel-2 foram realizadas nos meses que são base de comparação: de dezembro de 2018 a maio 2019.

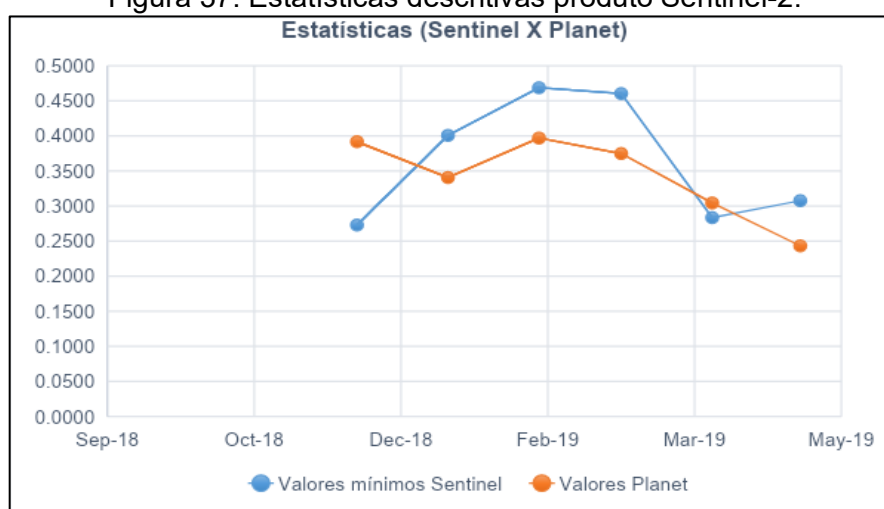
A Tabela 11 apresenta os valores mínimos, extraídos no produto Sentinel-2, que separam vegetação arbórea arbustiva das demais coberturas. Na última coluna são apresentadas as diferenças dos valores de valores mínimos (que serviram de limiar) obtidos pelo Sentinel-2 em comparação às imagens Planet (PS) para os respectivos meses.

Tabela 11: Resultados da extração das estatísticas sobre produtos Sentinel-2.

| Estatísticas Descritivas Extraídas dos dados matriciais (<i>raster</i>) Savi | | | (Sentinel-2 – PS) |
|--|-------------|-----------------|-------------------|
| Data | ID Polígono | Valores mínimos | Diferença |
| dez/18 | 113 | 0,2729 | -0,1187 |
| jan/19 | 55 | 0,4007 | 0,0601 |
| fev/19 | 37 | 0,4686 | 0,0717 |
| mar/19 | 37 | 0,4603 | 0,0855 |
| abr/19 | 107 | 0,2835 | -0,0209 |
| mai/19 | 37 | 0,3076 | 0,0644 |

Ao confrontar os resultados de valores mínimos (evidentes pela diferença dos produtos Sentinel-2 e Planet), observou-se uma correlação nos valores e verificando-se uma pequena diferença para a cobertura Floresta Estacional Decidual (FED). Assim, foi gerado um gráfico (Figura 37) para verificar a similaridade entre os meses que foram extraídos as estatísticas sobre os produtos: Sentinel-2 e Planet. Os valores em azul representam estatísticas do produto Sentinel-2.

Figura 37: Estatísticas descritivas produto Sentinel-2.



4.2 RESULTADO DA DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Nesta seção serão apresentados os resultados relativos aos dois processos de detecção de mudanças: a detecção de mudanças realizada com produtos Planet e os resultados de um ensaio realizado com imagens Sentinel-2 2.

4.2.1 Produto Planet

Os resultados da detecção de mudanças são arquivos vetoriais dos polígonos resultantes da subtração das imagens, reclassificadas pelos limiares apresentados para cada mês.

Nesta primeira etapa, não foram filtradas nuvens e sombras. A Tabela 12 apresenta os meses resultantes da subtração e número de polígonos encontrados.

Tabela 12: Resultado da detecção de mudanças: Produto Planet.

| Resultado da detecção de mudanças: Produto Planet | | | |
|--|------------|------------------------------------|--|
| Ano | Mês | Subtração dos meses (T2-T1) | Número de Polígonos Sem Redução |
| 2017 | Julho | - | - |
| | Agosto | 08-07 | 11280 |
| | Setembro | 09-08 | 14285 |
| | Outubro | 10-09 | 16318 |
| | Novembro | 11-10 | 6508 |
| | Dezembro | 12-11 | 6844 |
| 2018 | Janeiro | 01-12 | - |
| | Fevereiro | 02-01 | 5499 |
| | Março | 03-02 | 9724 |
| | Abril | 04-03 | 3273 |
| | Maio | 05-04 | 7055 |
| | Junho | 06-05 | 3399 |
| | Julho | 07-06 | 10476 |
| | Agosto | 08-07 | 11790 |
| | Setembro | 09-08 | 14834 |
| | Outubro | 10-09 | 22611 |
| | Novembro | 11-10 | 15110 |
| | Dezembro | 12-11 | 12237 |
| 2019 | Janeiro | 01-12 | 22106 |
| | Fevereiro | 02-01 | 20651 |
| | Março | 03-02 | 20471 |
| | Abril | 04-03 | 12502 |
| | Maio | 05-04 | 11204 |
| | | Total | 258.177 |

Entende-se que processo inicial de produção dos polígonos é uma etapa fundamental no estudo do comportamento da vegetação arbórea arbustiva, das nuvens e das sombras, podendo auxiliar no entendimento da eficiência das reduções de falsos positivos.

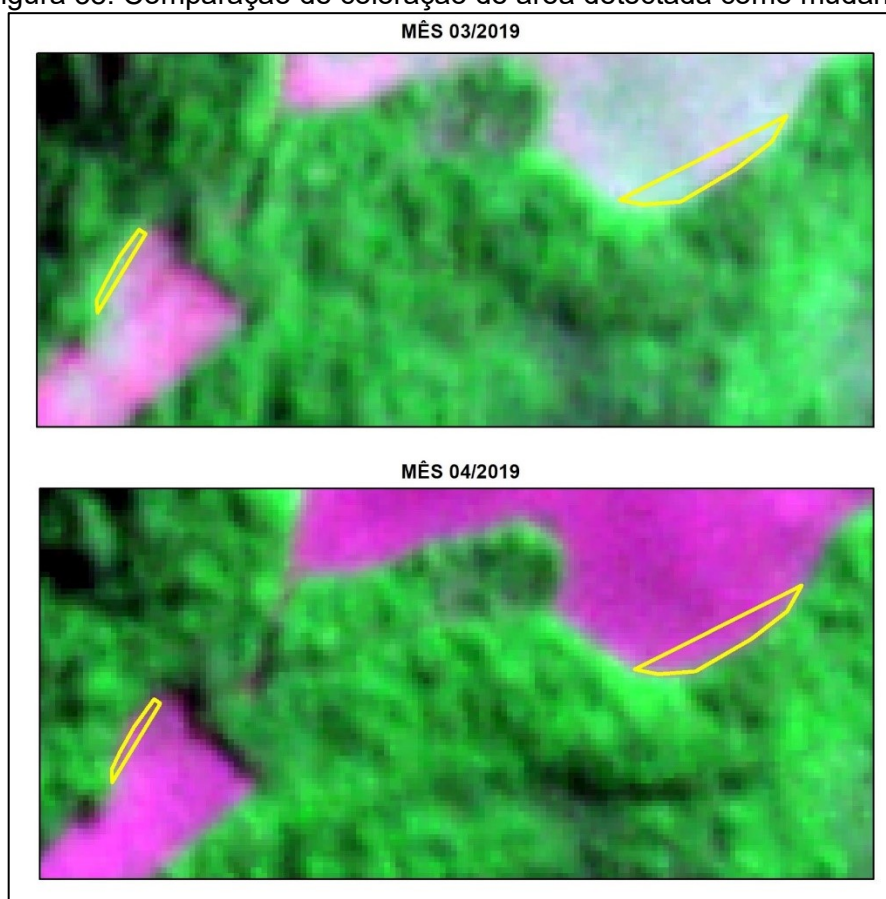
Nesse sentido, durante 22 meses avaliados obteve-se o resultado final de 258.177 polígonos de alertas de ocorrências. Ressalta-se, contudo, que a existência

de falsos positivos ocasionados por nuvens e sombras são uma das problemáticas que se busca resolver com a aplicação dos procedimentos de redução de falsos positivos.

Outrossim, no decurso do processo de avaliação da detecção de mudanças do produto PlanetScope, verificou-se a existência de áreas que, recorrentemente, são detectadas como mudanças.

Com isso, procedeu-se a uma análise nos polígonos a fim de verificar se são áreas em que, de fato, apresentam supressão da vegetação arbórea arbustiva (polígonos em amarelo), nas proximidades do limite da APP. Na Figura 38 é possível observar a diferença de coloração da área indicada em amarelo, detectada sobre as imagens do produto PlanetScope durante os meses de março e abril de 2019.

Figura 38: Comparação de coloração de área detectada como mudança.

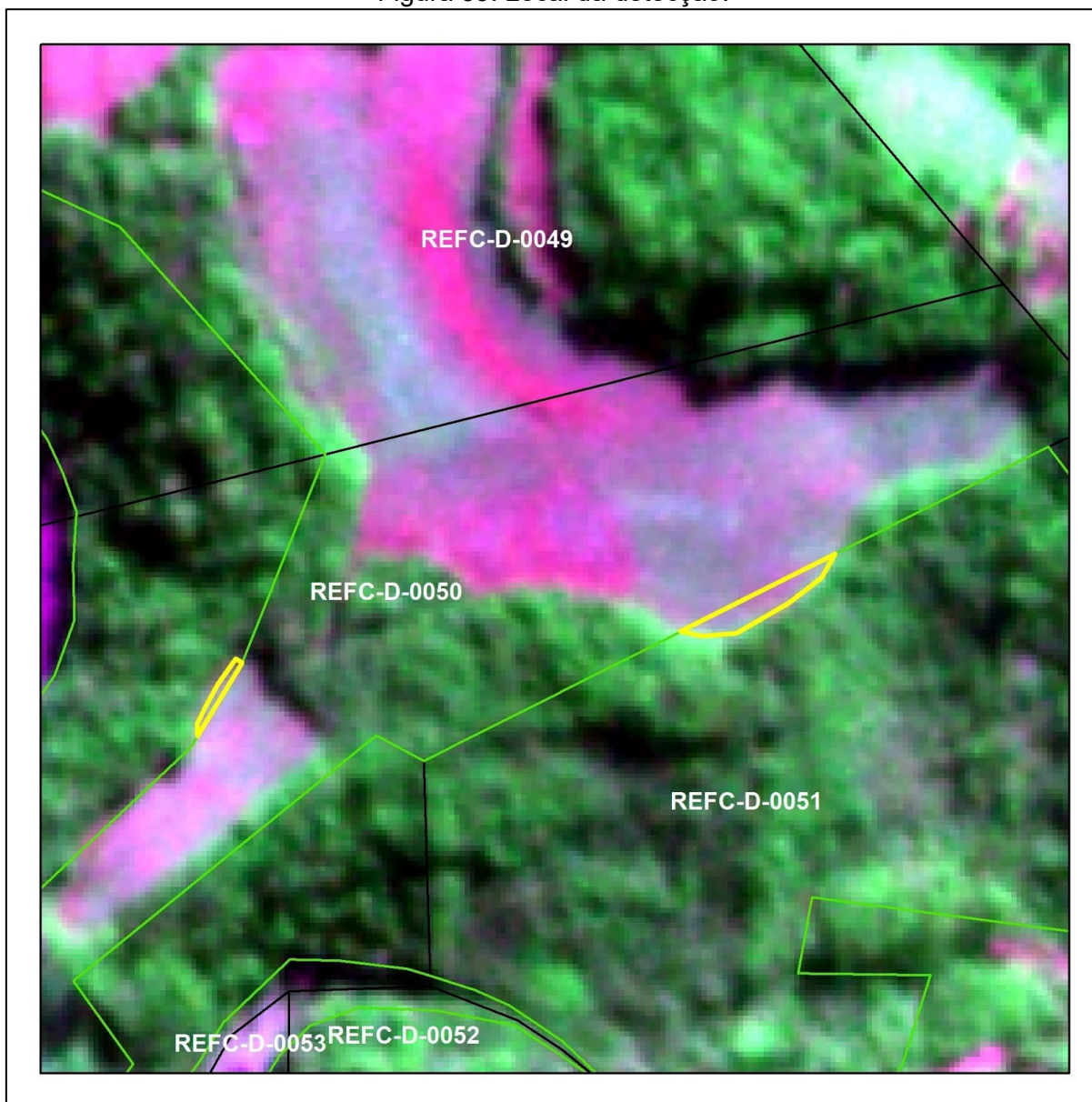


Fonte: Relatório Técnico P&D – agosto (2019).

Foi possível observar que, no mês 04, as áreas apresentaram coloração violeta (solo exposto), bem mais acentuada caso comparada ao mês anterior. Ao

verificar a localização destes polígonos, certificou-se que os mesmos estavam próximos ao limite da APP. Tal descrição pode ser conferida na Figura 39.

Figura 39: Local da detecção.



Fonte: Relatório Técnico P&D – agosto (2019).

Os polígonos em amarelo, apresentados na Figura 39, foram identificados durante o processo de detecção de mudanças para os meses 04-03 de 2019, 10-09 de 2018, 09-08 de 2018. A área total dos dois polígonos é de aproximadamente 1.300 m².

4.2.2 Produto Sentinel-2

Os resultados da detecção de mudanças dos produtos Sentinel-2 foram obtidos no período de dezembro de 2018 a maio de 2019. O propósito seria gerar uma comparação com os produtos Planet.

Na Tabela 13 é possível observar o número mensal de polígonos, oriundos dos produtos Sentinel-2, que, embora obtidos, ainda não apresentam a aplicação dos procedimentos de redução de falsos positivos.

Tabela 13: Resultado da detecção de mudanças: Produto Sentinel-2.

| Resultado da detecção de mudanças: Produto Sentinel-2 | | | |
|--|------------|------------------------------------|--|
| Ano | Mês | Subtração dos meses (T2-T1) | Número de Polígonos Sem Redução |
| 2018 | dezembro | - | - |
| 2019 | janeiro | 01 - 12 | 10352 |
| | fevereiro | 02 - 01 | 13250 |
| | março | 03 - 02 | 4814 |
| | abril | 04 - 03 | 1250 |
| | maio | 05 - 04 | 9691 |
| | | TOTAL | 39.357 |

Observa-se que, para o período comparativo de dezembro de 2018 a maio de 2019, houve um número menor de polígonos resultantes da detecção de mudança, comparativo aos obtidos pelo produto PlanetScope para o mesmo período. A diferença total no número de polígonos para o período é de 47.577 polígonos, ou seja, o total detectado pelos produtos Sentinel-2 para período foi de 39.357 e para os produtos PlanetScope foi de 86.934.

4.3 REDUÇÃO DE FALSOS POSITIVOS NO PRODUTO PLANET

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos no processo de redução de falsos positivos. Na Tabela 14 estão descritos os valores mensais, totais e as diferenças obtidas em cada redução aplicado.

A primeira redução de falsos positivos, obtidos pela extração dos polígonos próximos do Nível da Água - NA do reservatório, apresentou uma redução significativa no número de polígonos gerados pela detecção de mudanças mensais. A Tabela 14

apresenta na terceira coluna os meses que foram subtraídos na quarta coluna o número de polígonos gerados sem esse procedimento e, por fim, na quinta coluna o número de polígonos remanescentes após esse procedimento.

Tabela 14: Resultado da aplicação das reduções: Produto Planet.

| Resultado da aplicação das reduções: Produto Planet | | | | Número de Polígonos Com Redução | | |
|--|-----------|-----------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|-----------------------|
| Ano | Mês | Subtração dos meses (T2-T1) | Número de Polígono Sem redução | Polígonos próximos do NA do Reservatório | Área <= 9,1 m ² | compactness <= 0,1499 |
| 2017 | Julho | - | - | - | - | - |
| | Agosto | 08-07 | 11280 | 7932 | 4122 | 4052 |
| | Setembro | 09-08 | 14285 | 7386 | 4381 | 3833 |
| | Outubro | 10-09 | 16318 | 10574 | 5725 | 5199 |
| | Novembro | 11-10 | 6508 | 4340 | 1605 | 1566 |
| | Dezembro | 12-11 | 6844 | 5038 | 1890 | 1859 |
| 2018 | Janeiro | 01-12 | - | - | - | - |
| | Fevereiro | 02-01 | 5499 | 3718 | 1794 | 1678 |
| | Março | 03-02 | 9724 | 6440 | 3578 | 3352 |
| | Abril | 04-03 | 3273 | 2208 | 1222 | 1154 |
| | Maiο | 05-04 | 7055 | 4605 | 2754 | 2514 |
| | Junho | 06-05 | 3399 | 2304 | 1326 | 1258 |
| | Julho | 07-06 | 10476 | 6192 | 3766 | 3482 |
| | Agosto | 08-07 | 11790 | 7175 | 4087 | 3736 |
| | Setembro | 09-08 | 14834 | 8674 | 4763 | 4357 |
| | Outubro | 10-09 | 22611 | 13931 | 7589 | 7580 |
| | Novembro | 11-10 | 15110 | 11165 | 4513 | 4183 |
| | Dezembro | 12-11 | 12237 | 9321 | 3978 | 3872 |
| 2019 | Janeiro | 01-12 | 22106 | 10957 | 4673 | 4141 |
| | Fevereiro | 02-01 | 20651 | 14718 | 7587 | 6944 |
| | Março | 03-02 | 20471 | 16656 | 7447 | 7240 |
| | Abril | 04-03 | 12502 | 9925 | 5171 | 4893 |
| | Maiο | 05-04 | 11204 | 8893 | 4603 | 4366 |
| | | Total | 258,177.00 | 172,152.00 | 86,574.00 | 81,259.00 |
| | | | Diferença | 86,025.00 | 85,578.00 | 5,315.00 |

Ao analisarmos a eficiência desse procedimento, observa-se que a redução mensal foi relativamente grande. Houve um decréscimo de 86.025 polígonos o que representa cerca de 33,32% sobre o total detectado sem a redução sobre os polígonos próximos do nível da água do reservatório. Tal diminuição é consideravelmente pequena, quando comparada com a área total da APP.

A segunda redução espacial é pela aplicação da área mínima. Esse procedimento elimina os polígonos isolados, os quais representam uma área um pouco maior que 1 pixel de aproximadamente 3x3 metros.

Esse procedimento apresentou uma redução significativa no número de polígonos, conforme a sexta coluna da Tabela 14 eliminando 85578 polígonos que representam cerca de 49,71% sobre o total resultante da primeira redução. Observou-se que muitos polígonos resultantes de (ruídos e *outliers*) foram eliminados, aumentando o nível de confiabilidade da informação gerada, refinando, assim, os dados que serviram como dado de entrada (*input*) nas análises estatísticas para hierarquização dos conglomerados detectados.

A terceira redução espacial é relativa à aplicação do índice de *compactness*, o qual utilizou-se como limiar o valor de 0,1499, sendo extraído todos os polígonos com valor menor ou igual. Na sétima coluna da Tabela 14, este procedimento eliminou 5315 polígonos, o que representa cerca de 6,54% sobre o total resultante do segundo procedimento de redução. Portanto, soma-se o total resultante de 81.259 polígonos que são os alertas de ocorrências a serem hierarquizados.

4.4 REDUÇÃO DE FALSOS POSITIVOS NO PRODUTO SENTINEL-2

Utilizando os mesmos métodos nos produtos Planet, foram processadas as reduções de falsos positivos sobre o produto Sentinel-2, seguindo as mesmas etapas.

Na Tabela 15 são apresentados os valores mensais, totais e as diferenças totais obtidas em cada procedimento de redução de falsos positivos aplicados.

Analisando o resultado total do procedimento, observa-se que, para a primeira redução (polígonos próximos do nível da água do reservatório) houve uma redução maior no número de polígonos.

Além do mais, na análise da eficiência desse procedimento, observou-se que a redução mensal foi relativamente grande. Trata-se de uma diminuição total de cerca de 9641 polígonos o que representa cerca de 24,49% sobre o total detectado sem a redução.

Tabela 15: Resultado da aplicação das reduções: Produto Sentinel-2.

| Resultado da Aplicação dos procedimentos de redução de falsos positivos: Produto Sentinel-2 | | | | | | |
|--|------------|------------------------------------|--|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| Ano | Mês | Subtração dos meses (T2-T1) | Número de Polígonos Sem Redução | Polígonos próximos do NA do Reservatório | Área <= 25 m² | (compactness) <= 0,1899 |
| 2018 | dezembro | - | - | - | - | - |
| 2019 | janeiro | 01 - 12 | 10352 | 7715 | 5372 | 4771 |
| | fevereiro | 02 - 01 | 13250 | 10192 | 7611 | 7261 |
| | março | 03 - 02 | 4814 | 4248 | 3570 | 3545 |
| | abril | 04 - 03 | 1250 | 1199 | 1042 | 950 |
| | maio | 05 - 04 | 9691 | 6362 | 4851 | 4712 |
| | | TOTAL | 39357 | 29716 | 22446 | 21239 |
| | | | Diferença | 9641 | 7270 | 1207 |

A segunda redução espacial é obtida pela aplicação da área mínima. Com esse procedimento, são eliminados os polígonos isolados, os quais representam uma área menor ou igual a 25 metros quadrados que representam as frações de polígonos estão próximos ao nível d'água.

Conforme a Tabela 15, esse procedimento apresentou uma significativa redução no número de polígonos. Isso significa que foram eliminados 7.270 polígonos, o que representa cerca de 24,46% sobre o total resultante da aplicação do primeiro procedimento de redução.

A terceira redução espacial é pela aplicação do índice de *compactness*, ou seja, foi utilizado o limiar de 0,1899, sendo extraído todos os polígonos com valor menor ou igual. Na sétima coluna descrita na tabela 15, pode-se perceber que, esse procedimento eliminou 1.207 polígonos, o que representou o índice de 5,37% sobre o resultado da segunda redução. Sendo assim, constatou-se um total resultante de 21.239 polígonos que são os alertas de ocorrências a serem hierarquizados.

Realizado o processo de redução dos falsos positivos, na Tabela 16, são apresentadas as diferenças entre os resultados obtidos pelos produtos Sentinel-2 x PlanetScope.

Os valores positivos indicam que o resultado obtido pelo produto Sentinel-2 teve menos polígonos que o produto PlanetScope. Esse resultado é observado em todo o período nos polígonos sem redução e com a aplicação do primeiro procedimento de redução de falsos positivos.

Os valores negativos indicam que os resultados obtidos pelo produto Sentinel-2 obtiveram um número maior de polígonos que o produto PlanetScope. Caso esse observado apenas no segundo e terceiro procedimento de redução nos meses de janeiro, fevereiro e maio.

Tabela 16: Diferenças entre os resultados: Sentinel-2 X Planet.

| Diferenças (Sentinel-2 - Planet) | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Ano | Mês | Número de Polígonos Sem Redução | Polígonos próximos do NA do Reservatório | Área $\leq 9,1$ m ² | (compactness) $\leq 0,1499$ |
| 2018 | dezembro | - | - | - | - |
| 2019 | janeiro | 11754 | 3242 | -699 | -630 |
| | fevereiro | 7401 | 4526 | -24 | -317 |
| | março | 15657 | 12408 | 3877 | 3695 |
| | abril | 11252 | 8726 | 4129 | 3943 |
| | maio | 1513 | 2531 | -248 | -346 |
| | TOTAL DIFERENÇA | 47577 | 31433 | 7035 | 6345 |

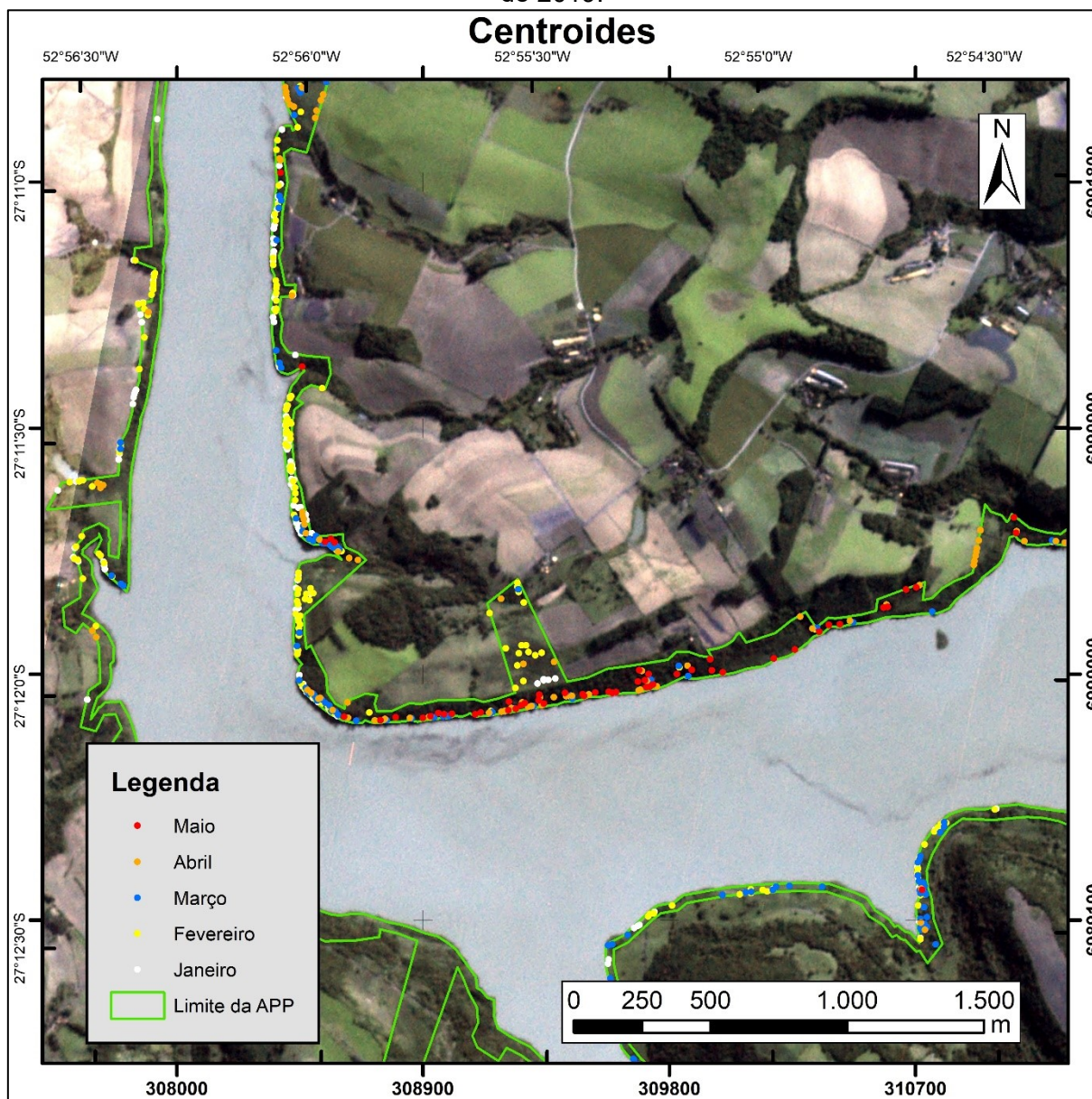
Observa-se que os diferentes resultados encontrados para cada produto vão diminuindo à medida que os procedimentos de redução de falsos positivos vão sendo aplicados. Salienta-se, por fim que os resultados do produto Sentinel-2, após todos os procedimentos de redução de falsos positivos, ainda apresentaram para o período 6345 polígonos a menos.

4.5 ETAPA DE HIERARQUIZAÇÃO DOS ALERTAS DE OCORRÊNCIAS DO PRODUTO PLANET

Após a execução do terceiro procedimento de redução de falsos positivos obteve-se os polígonos como resultado final da detecção de mudanças. Com tais polígonos iniciou-se o processo de geração conglomerados. Para isso, foi necessária a determinação dos centroides dos mesmos, sendo detalhado, nessa seção, os resultados obtidos pelo produto PlanetScope.

Na Figura 40, é possível observar os centroides para o período de janeiro a maio de 2019. Estes, representam a base para o processamento posterior no software SatScan.

Figura 40: Exemplo de distribuição de centroides para o período de janeiro de 2019 a maio de 2019.



Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Acrescenta-se ainda, que o número total de centroides gerados é igual ao número de polígonos. Conforme representado na Tabela 17 foi necessário fazer o cálculo das coordenadas geográficas destes pontos e sua configuração de formatação, para então ser realizado o processamento no software SatScan.

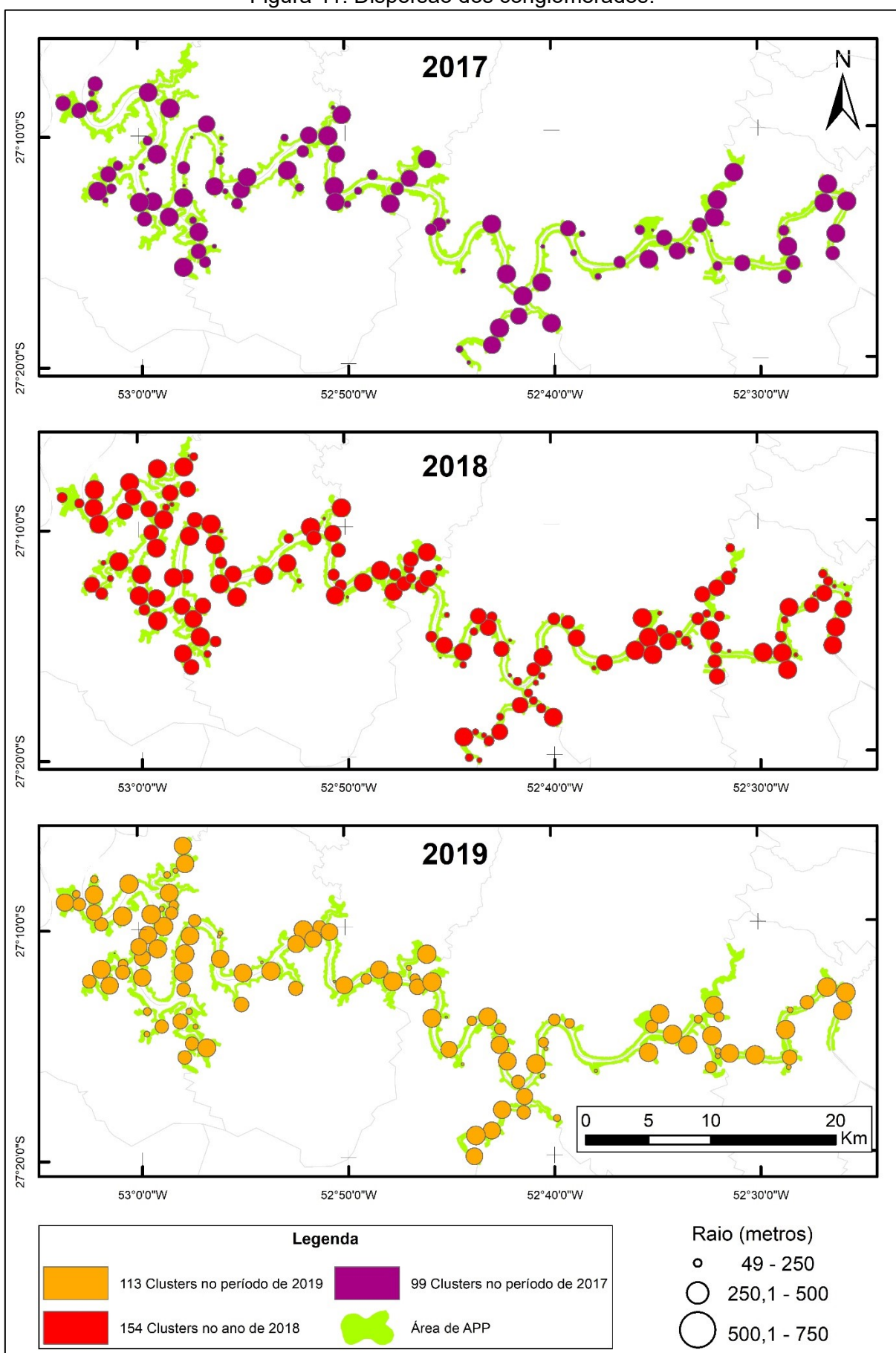
Tabela 17: Centroides gerados para o produto Planet

| Centroides Produto Planet | | Número de Centroides |
|----------------------------------|------------|-----------------------------|
| Ano | Mês | |
| 2017 | Julho | - |
| | Agosto | 4052 |
| | Setembro | 3833 |
| | Outubro | 5199 |
| | Novembro | 1566 |
| | Dezembro | 1859 |
| 2018 | Janeiro | - |
| | Fevereiro | 1678 |
| | Março | 3352 |
| | Abril | 1154 |
| | Maio | 2514 |
| | Junho | 1258 |
| | Julho | 3482 |
| | Agosto | 3736 |
| | Setembro | 4357 |
| | Outubro | 7580 |
| | Novembro | 4183 |
| | Dezembro | 3872 |
| 2019 | Janeiro | 4141 |
| | Fevereiro | 6944 |
| | Março | 7240 |
| | Abril | 4893 |
| | Maio | 4366 |
| Total | | 81.259 |

Com esses centroides foi possível produzir os arquivos de entrada para o processo de hierarquização dos alertas de ocorrências, separados por ano (casos e coordenadas). Essa abordagem foi realizada com objetivo de identificar os novos focos.

A partir disto, obteve-se um número diferente de conglomerados para o período de julho a dezembro de 2017, 2018 em sua totalidade e o período de janeiro a maio de 2019. Na Figura 41 é apresentado o número total de conglomerados encontrado em cada período do processo.

Figura 41: Dispersão dos conglomerados.



É importante salientar que os conglomerados produzidos foram filtrados para um nível de relevância estatística, calculada para cada aglomerado e que devem estar entre os 95% de confiança, ou seja, para ser significativo devem atender um 'p' valor de no máximo 0,05.

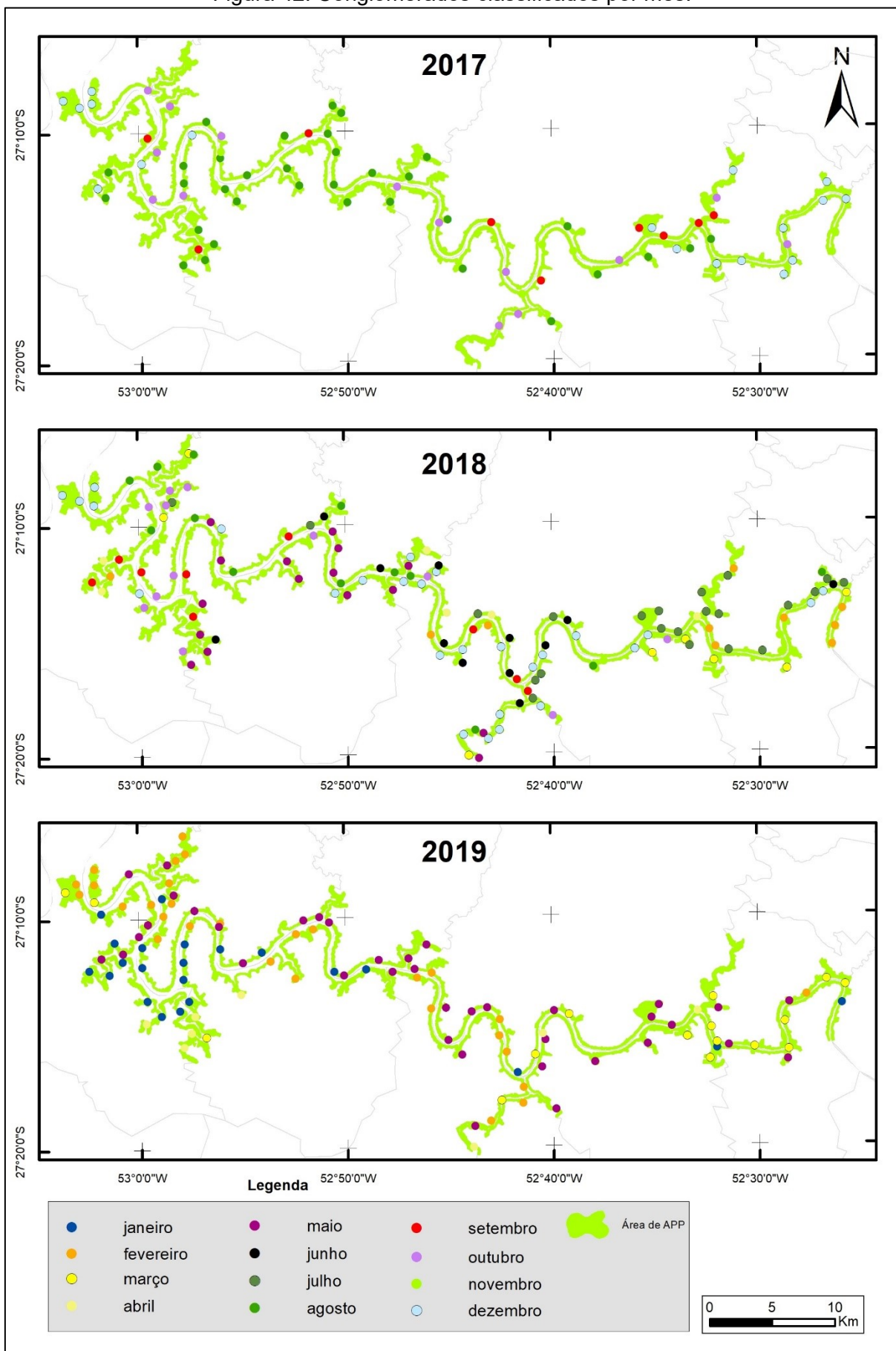
Através da Figura 41, observou-se que existem alguns conglomerados sobrepostos. Entretanto, é importante ressaltar que a sobreposição dos conglomerados é ocasionada por centroides gerados em uma mesma região em datas distintas. Dessa forma, são resultantes do processo para os períodos e anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente: 99, 154 e 113 conglomerados significativos.

Resultante da observação acerca da sobreposição e número de conglomerados encontrados, constatou-se que uma camada vetorial de pontos dos conglomerados foi gerada apenas para representação. Estes pontos foram classificados em categorias de acordo com a data final dos alertas de ocorrências que originaram o conglomerado. A Figura 42 demonstra em distintas cores os conglomerados mensais e justificando a sobreposição dos conglomerados próximos.

Para fins de análise, foram utilizados dados dos meses de julho a dezembro (2017), 2018 (exceto janeiro - pelo fato da detecção de mudanças entre o mês de dezembro de 2017 e janeiro de 2018 que impossibilitaram a geração dos produtos). Por fim, para o ano de 2019 o período demonstrado é de janeiro a maio.

Os detalhes relativos a cada conglomerado como data, localização das coordenadas geográficas, seu centroide, raio, número de casos observados, número de casos esperados, RVG e *p-valor* para cada mês são apresentados nos APÊNDICES. Para o período de 2017 destaca-se o APÊNDICE A, 2018 o APÊNDICE B e 2019 o APÊNDICE C.

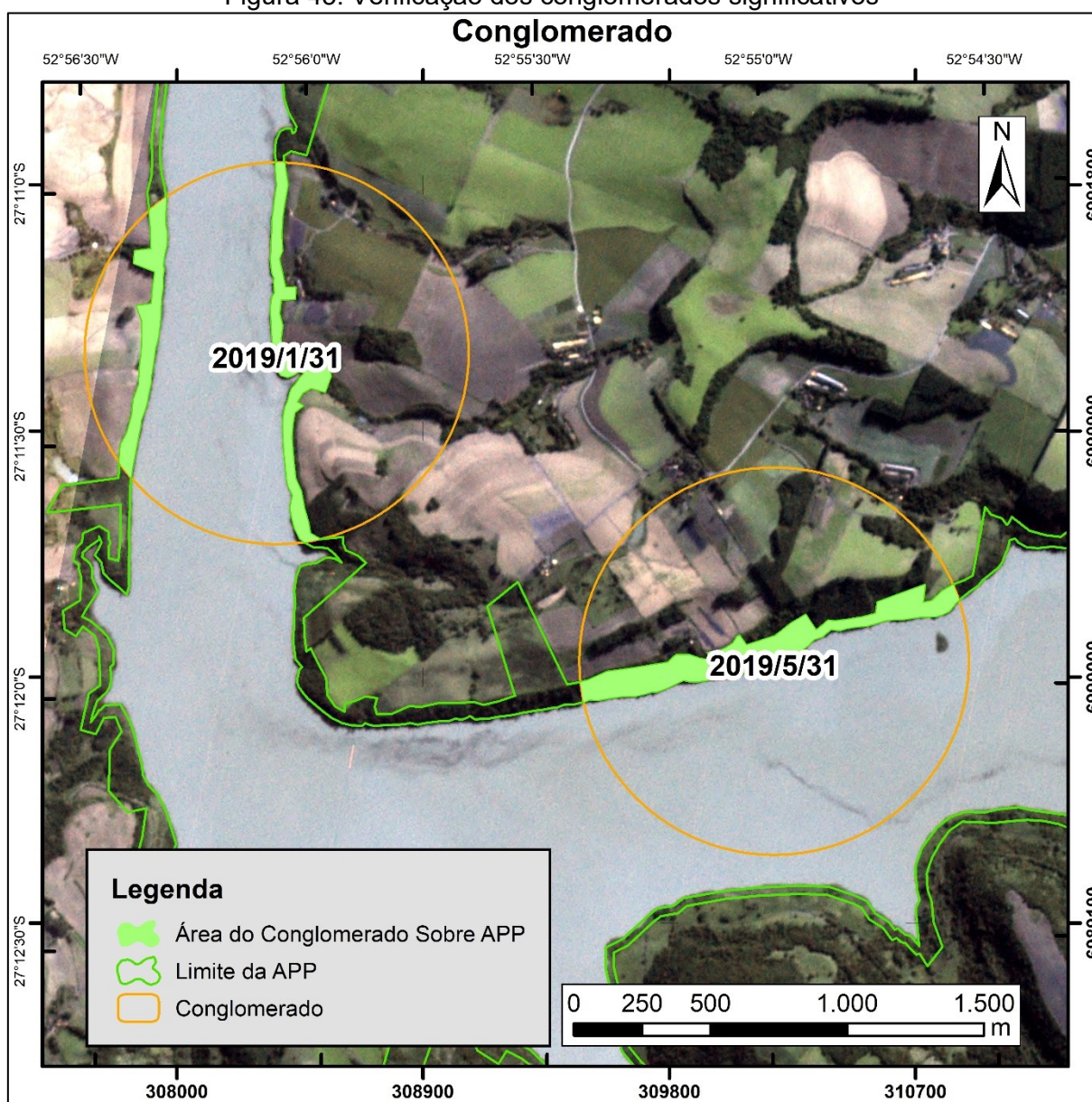
Figura 42: Conglomerados classificados por mês.



Todos os conglomerados apresentados tem no máximo 750 metros de raio. Essa configuração foi definida considerando-se a proposta de utilização de uma Aeronave Remotamente Pilotada – RPA, de forma que a vistoria *in loco* possa ser realizada exclusivamente sobre a área destacada em verde na Figura 43.

Ao confrontar a Figura 40 e com a Figura 43, com a data final dos conglomerados, é possível verificar que nos pontos que existiam na região apenas no mês de janeiro e maio de 2019, foram detectados sinais que originaram um conglomerado estatisticamente significativo.

Figura 43: Verificação dos conglomerados significativos



Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Com a região do conglomerado a ser vistoriada e definida é possível também informar qual parte das propriedades, adquiridas durante a fase de aquisição das propriedades afetadas, estão inseridas sobre o conglomerado significativo, para que, assim, os fiscais de campo possam ter mais facilidade no planejamento logístico.

Para produzir a tabela que demonstra quais as propriedades devem ser vistoriadas, foram recortadas as feições de propriedades sobre o arquivo shapefile. Dessa forma, foi possível fazer os cálculos das latitudes e longitudes destes polígonos resultantes do processo.

Na Tabela 18, é apresentada o registro das propriedades que estão sobre os dois conglomerados da Figura 43 e que tem alertas de ocorrências detectados sobre as mesmas, estando separadas as propriedades de cada conglomerado pelo mês na primeira coluna.

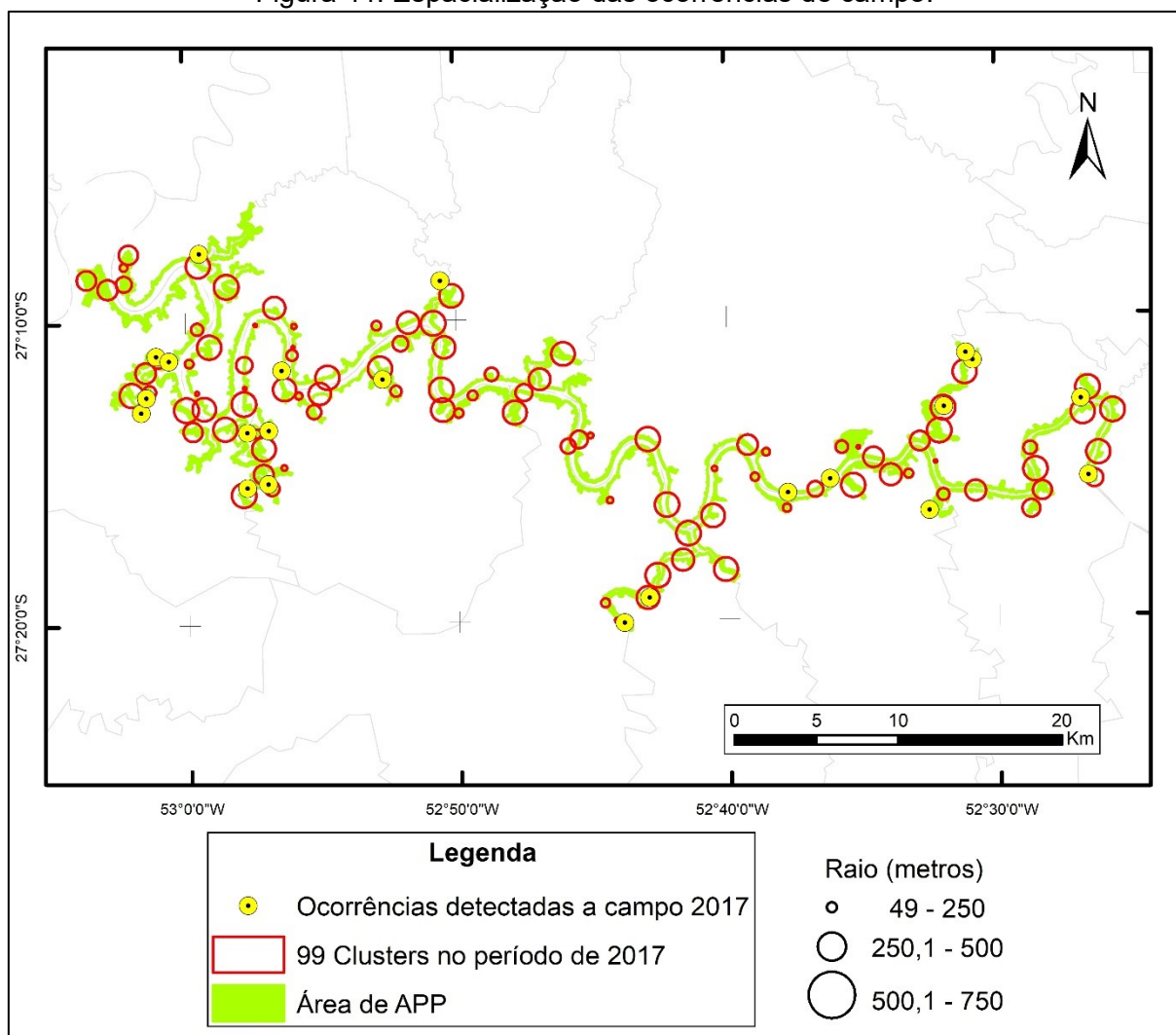
Tabela 18: Propriedades com Alertas de Ocorrências.

| Mês | PROCESSO | UF | MUNICÍPIO | LATITUDE | LONGITUDE |
|------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | REFC-D-0223 | SC | Caxambu do Sul | -27.18332 | -52.93431 |
| 1 | REFC-D-0225 | SC | Caxambu do Sul | -27.18603 | -52.93435 |
| 1 | REFC-D-0226 | SC | Caxambu do Sul | -27.19067 | -52.93373 |
| 1 | REFC-D-0227 | SC | Caxambu do Sul | -27.19434 | -52.934 |
| 1 | REFC-D-0228 | SC | Caxambu do Sul | -27.19444 | -52.93359 |
| 1 | REFC-E-0402 | RS | Rio dos Índios | -27.18439 | -52.93883 |
| 1 | REFC-E-0403 | RS | Rio dos Índios | -27.18597 | -52.93911 |
| 1 | REFC-E-0404 | RS | Rio dos Índios | -27.18801 | -52.93922 |
| 1 | REFC-E-0405 | RS | Rio dos Índios | -27.18937 | -52.93939 |
| 1 | REFC-E-0406 | RS | Rio dos Índios | -27.19114 | -52.93983 |
| 1 | REFC-E-0407 | RS | Rio dos Índios | -27.19271 | -52.94 |
| | | | | | |
| Mês | PROCESSO | UF | MUNICÍPIO | LATITUDE | LONGITUDE |
| 5 | REFC-D-0235 | SC | Caxambu do Sul | -27.19975 | -52.92173 |
| 5 | REFC-D-0236 | SC | Caxambu do Sul | -27.19934 | -52.91933 |
| 5 | REFC-D-0237 | SC | Caxambu do Sul | -27.199 | -52.9178 |
| 5 | REFC-D-0238 | SC | Caxambu do Sul | -27.19887 | -52.91669 |
| 5 | REFC-D-0239 | SC | Caxambu do Sul | -27.19869 | -52.91615 |
| 5 | REFC-D-0240 | SC | Caxambu do Sul | -27.19864 | -52.91559 |
| 5 | REFC-D-0240.10 | SC | Caxambu do Sul | -27.19827 | -52.91587 |
| 5 | REFC-D-0241 | SC | Caxambu do Sul | -27.19812 | -52.91518 |
| 5 | REFC-D-0242 | SC | Caxambu do Sul | -27.19796 | -52.91368 |
| 5 | REFC-D-0243 | SC | Caxambu do Sul | -27.19734 | -52.91166 |
| 5 | REFC-D-0244 | SC | Caxambu do Sul | -27.19725 | -52.91019 |

Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

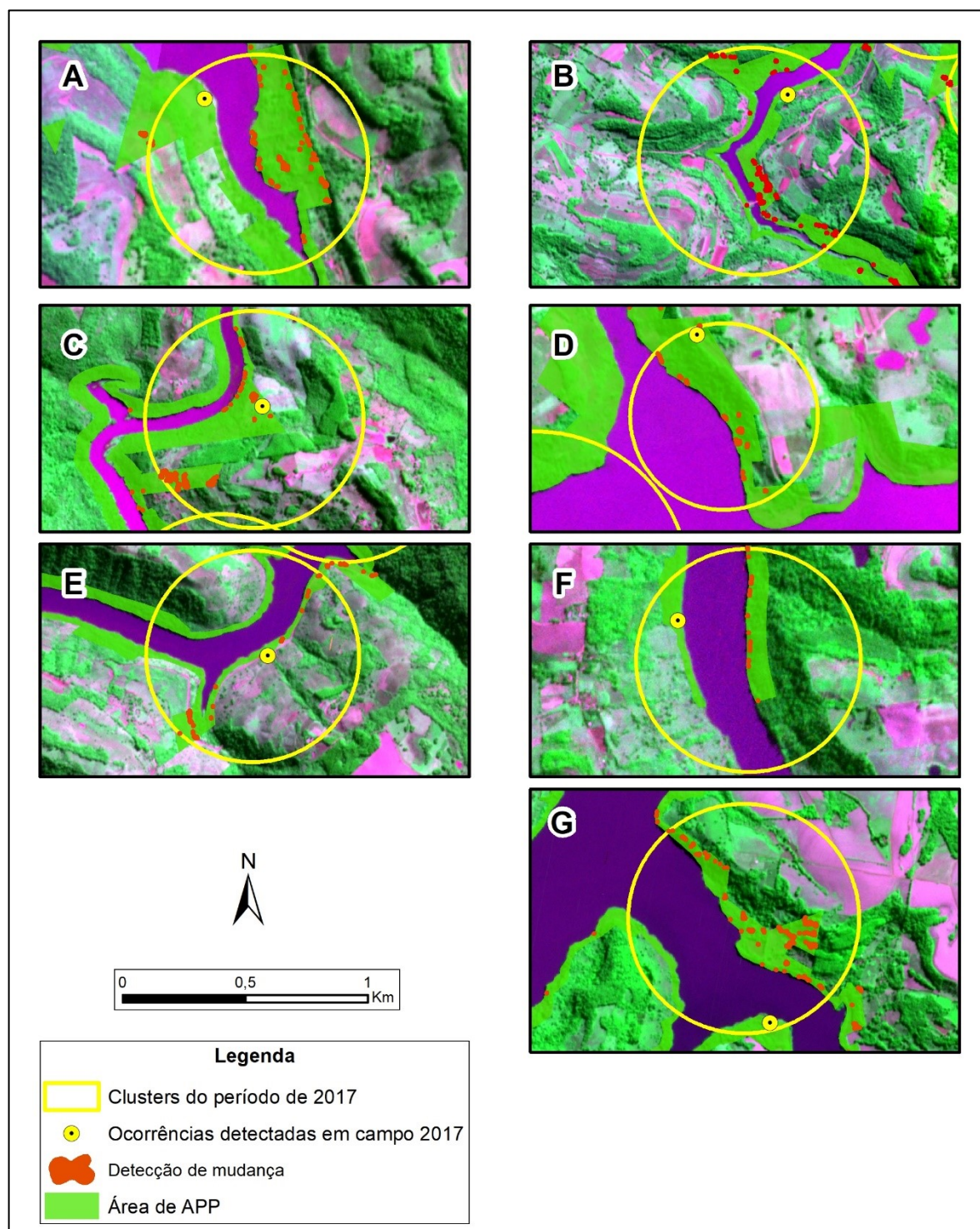
Com as ocorrências presentes no relatório fornecido pela empresa Foz do Chapecó, buscou-se investigar as ocorrências contidas no período dos meses de julho a dezembro de 2017 para realização de uma validação dos conglomerados gerados neste período. A Figura 44 representa a dispersão espacial destas 26 ocorrências detectadas a campo e sobrepostas aos conglomerados deste período.

Figura 44: Espacialização das ocorrências de campo.



Com a sobreposição de camadas em ambiente SIG, observa-se que apenas algumas das 26 ocorrências detectadas em campo no segundo semestre de 2017 estão sobrepostas aos conglomerados. A partir desta constatação, foi realizada uma operação de recorte dos pontos de ocorrências, inseridos sobre os conglomerados, gerando, assim, sete ocorrências detectadas em campo. A referida análise pode ser constatada, conforme a Figura 45:

Figura 45: Ocorrências detectadas em campo sobre conglomerados.



Essas ocorrências detectadas nos conglomerados apresentadas na Figura 45 validam o processo proposto ao identificar e hierarquizar os alertas de possíveis ocorrências de supressão vegetal.

Sendo assim, a metodologia proposta ao utilizar os produtos do sensoriamento remoto, aliado à modelagem estatística de permutação espaço-

temporal para produção de conglomerados, auxilia na extração de informação das series temporais de imagens de satélite.

O resultado dos conglomerados significativos do ano de 2019 não utilizou co-variáveis, e sim, apenas o número de alertas. Esses dados são apresentados no APÊNDICE C que demonstram os conglomerados significativos, seu raio, coordenada central, o número de alertas esperados e o número de alertas encontrados.

Optou-se, nesse sentido, por não utilizar co-variáveis, pelo fato da análise de detecção ser feita um bloco único para as duas margens do rio. Além disso, considerando que a utilização da co-variável distância de estradas afetaria os pontos do outro lado do reservatório, entendeu-se que a utilização dessas co-variáveis poderia explicar o fenômeno subtraindo conglomerados da vistoria.

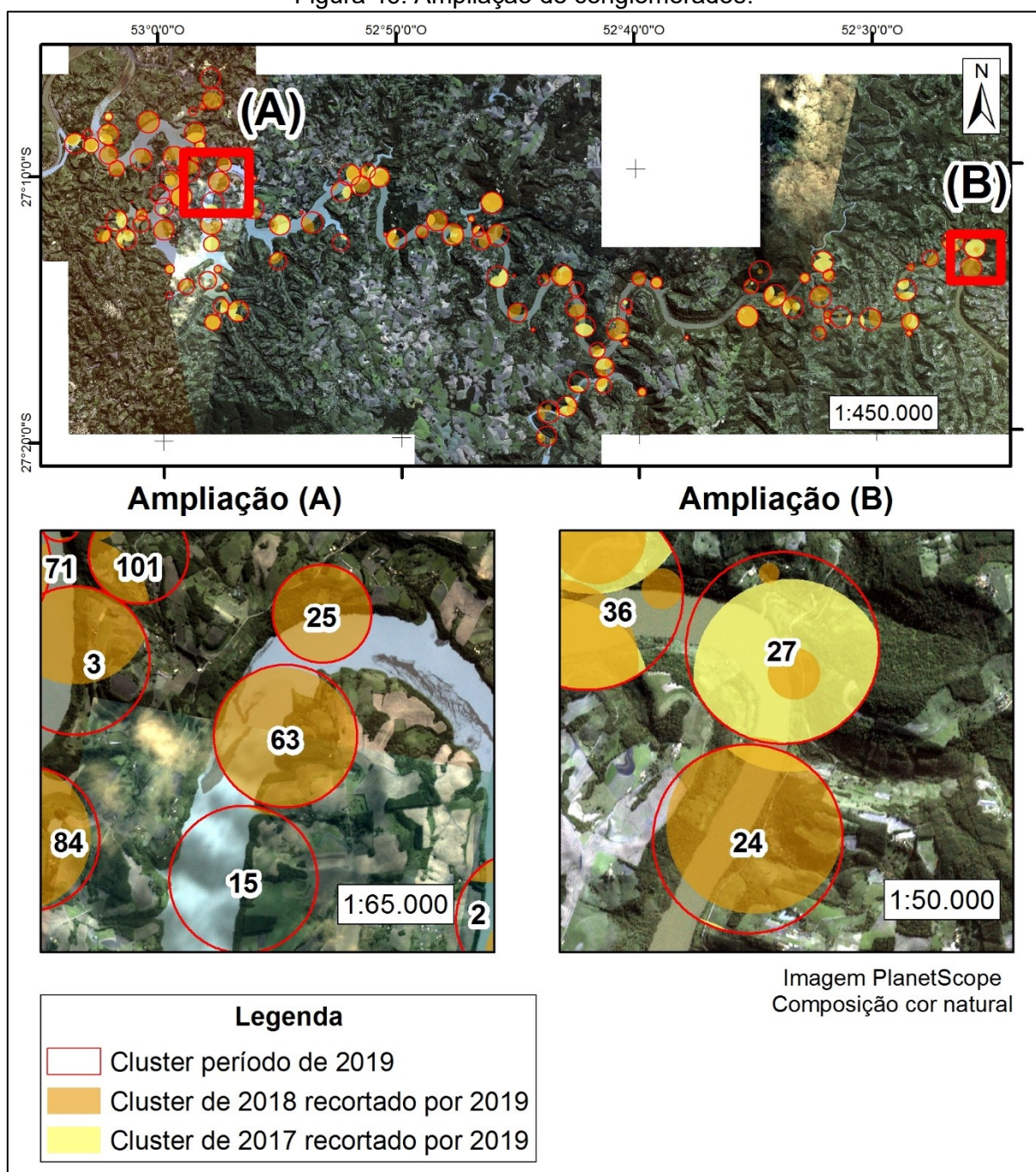
A produção da análise espacial dos conglomerados consistiu em verificar os conglomerados gerados em 2019 sobrepostos aos gerados anteriormente, para, assim, verificar os locais em que estão ativos e que seriam então os conglomerados ativos no ano de 2019. Na Figura 46 é demonstrado um panorama geral e duas ampliações dessa sobreposição.

Na ampliação da região oeste da área de estudo, denominada ampliação parte (A), é possível observar nos conglomerados de número 63 e 25 uma grande sobreposição do conglomerado detectado no ano de 2018 com o detectado em 2019, o que tornaria esse conglomerado ativo. Já no conglomerado de número 15 foi identificado um novo foco de supressão vegetal o qual resultou nesse novo conglomerado.

Na ampliação da região leste da área, denominada ampliação (B), observou-se uma sobreposição de conglomerados. A citar, 2018 é menor do que 2017. Por outro lado, o conglomerado detectado em 2019 foi maior.

Durante essa análise, verificou-se vários conglomerados com sobreposição. Para tanto, realizou-se o recorte dos mesmos que estavam inseridos sobre os de 2019, gerando, assim o APÊNDICE D. Neste APÊNDICE foram apresentados os 128 conglomerados ativos encontrados em 2018 e recorrentes em 2019 para o período de janeiro a maio.

Figura 46: Ampliação de conglomerados.



Os novos focos seriam os conglomerados sem nenhuma ou com uma pequena sobreposição que não os classificariam em uma migração, entre os conglomerados de 2019 sobre os do ano de 2018. Desse modo, gerou-se a Tabela 19, somente com casos que são classificados em novos focos por não existir um conglomerado anteriormente nessa região.

Tabela 19: Conglomerados identificados como novos focos – Produto Planet.

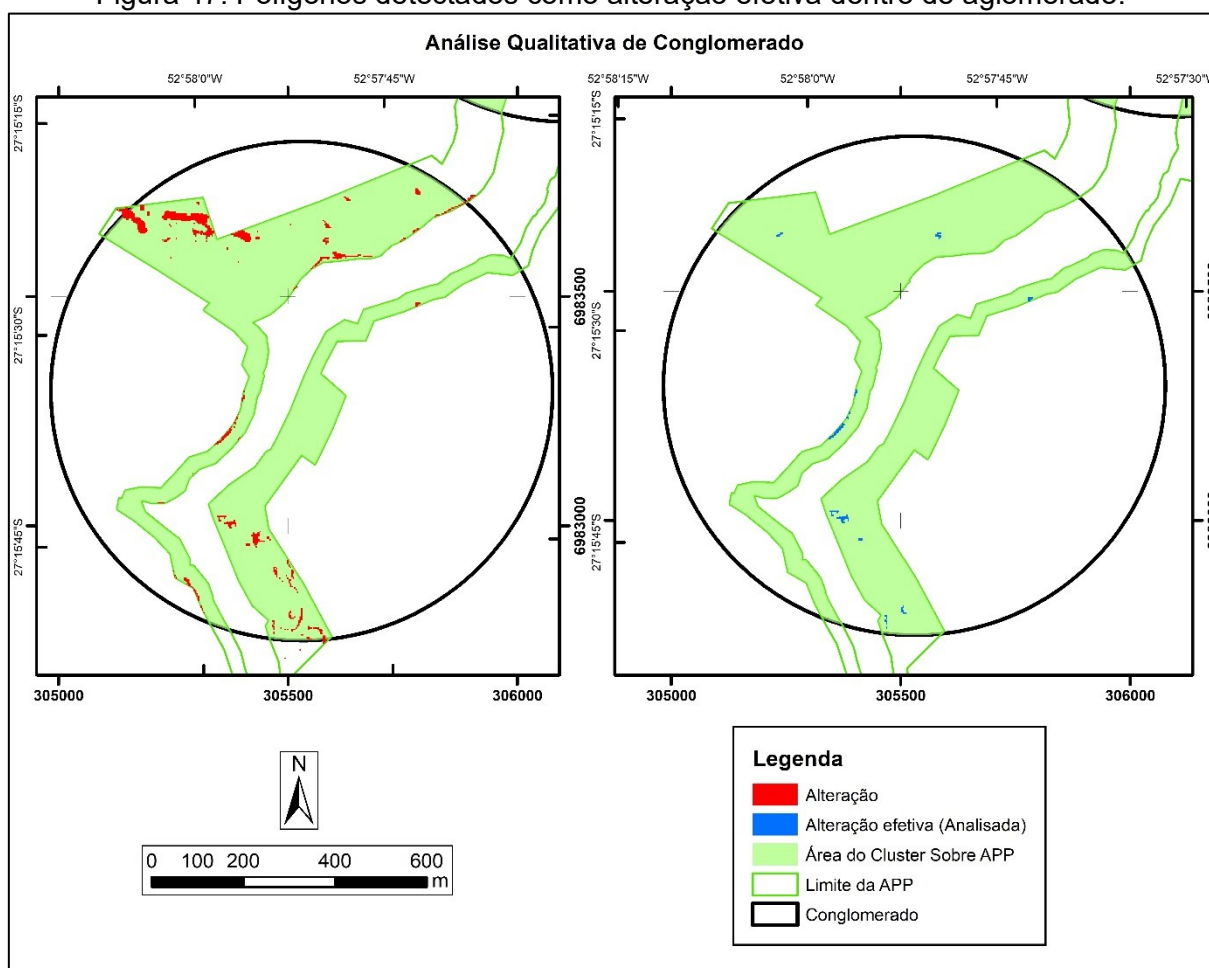
| Conglomerado | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | p-valor |
|--------------|--------|---------------|----------------|-----------|-----------------|------|-------|-------------|
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | Obs.. | Esp. | | |
| 6 | jan-19 | -27,187 | -52,997 | 0,641 | 87 | 27 | 42,48 | 1E-17 |
| 15 | jan-19 | -27,185 | -52,963 | 0,740 | 85 | 32 | 30,63 | 2,165E-14 |
| 31 | fev-19 | -27,140 | -53,050 | 0,305 | 70 | 28 | 21,51 | 0,000000005 |
| 44 | jan-19 | -27,234 | -52,764 | 0,726 | 39 | 12 | 18,24 | 0,0000004 |
| 72 | abr-19 | -27,242 | -52,995 | 0,231 | 21 | 5 | 13,15 | 0,0004 |
| 83 | jan-19 | -27,183 | -53,020 | 0,041 | 14 | 3 | 11,73 | 0,003 |
| 95 | abr-19 | -27,252 | -52,674 | 0,401 | 81 | 47 | 10,38 | 0,018 |
| 99 | jan-19 | -27,192 | -52,901 | 0,110 | 11 | 2 | 9,97 | 0,026 |
| 100 | fev-19 | -27,107 | -52,963 | 0,689 | 51 | 25 | 9,94 | 0,030 |
| 104 | fev-19 | -27,242 | -52,709 | 0,464 | 27 | 10 | 9,71 | 0,037 |
| 105 | jan-19 | -27,210 | -52,965 | 0,541 | 50 | 25 | 9,60 | 0,043 |
| 110 | mai-19 | -27,179 | -53,000 | 0,660 | 23 | 8 | 9,46 | 0,048 |

Quanto aos possíveis focos de supressão vegetal, foram constatados seis novos casos no mês de janeiro, quatro no mês de fevereiro, nenhum no mês de março, dois no mês de abril e um no mês de maio, totalizando 12 novos casos.

Por conseguinte, foi realizada uma avaliação de qualitativa de alguns conglomerados, gerados para os meses de abril e maio de 2019. Para tanto, foi verificado quais os polígonos, referentes a alertas de ocorrências, faziam parte do conglomerado e que poderiam ser identificados como mudanças efetivas (em azul), por meio da análise qualitativa.

Na Figura 47, é possível observar alguns polígonos que, por representar mudanças na cobertura, são detectados como alteração (em vermelho), a partir do processo de detecção de mudanças entre os meses de abril e março de 2019.

Figura 47: Polígonos detectados como alteração efetiva dentro de aglomerado.



A partir da análise qualitativa, pôde-se observar que nem todo alerta representa uma mudança efetiva em campo. Em alguns casos, um conglomerado pode apresentar um único caso efetivo de mudança na cobertura.

Como sugerido na contextualização, a utilização do RPA tem por finalidade a realização de uma varredura fotográfica em toda a área da APP sob o conglomerado, o que possibilita uma redução considerável dos custos operacionais em campo.

É importante mencionar que essas análises qualitativas foram realizadas sem aplicação da camada UDM para reduzir a interferência de nuvens e sombras. Assim, constatou-se que grande parte dos alertas de mudanças podem representar falsos positivos relacionados a sombras e nuvens.

Realizado o levantamento dos conglomerados ativos e estatisticamente significativo, os fiscais devem receber duas informações que são fundamentais para a visita *in loco* e planejamento do plano de voo do RPA: a área em metros quadrados (m²) ou hectares (ha) e sua localização.

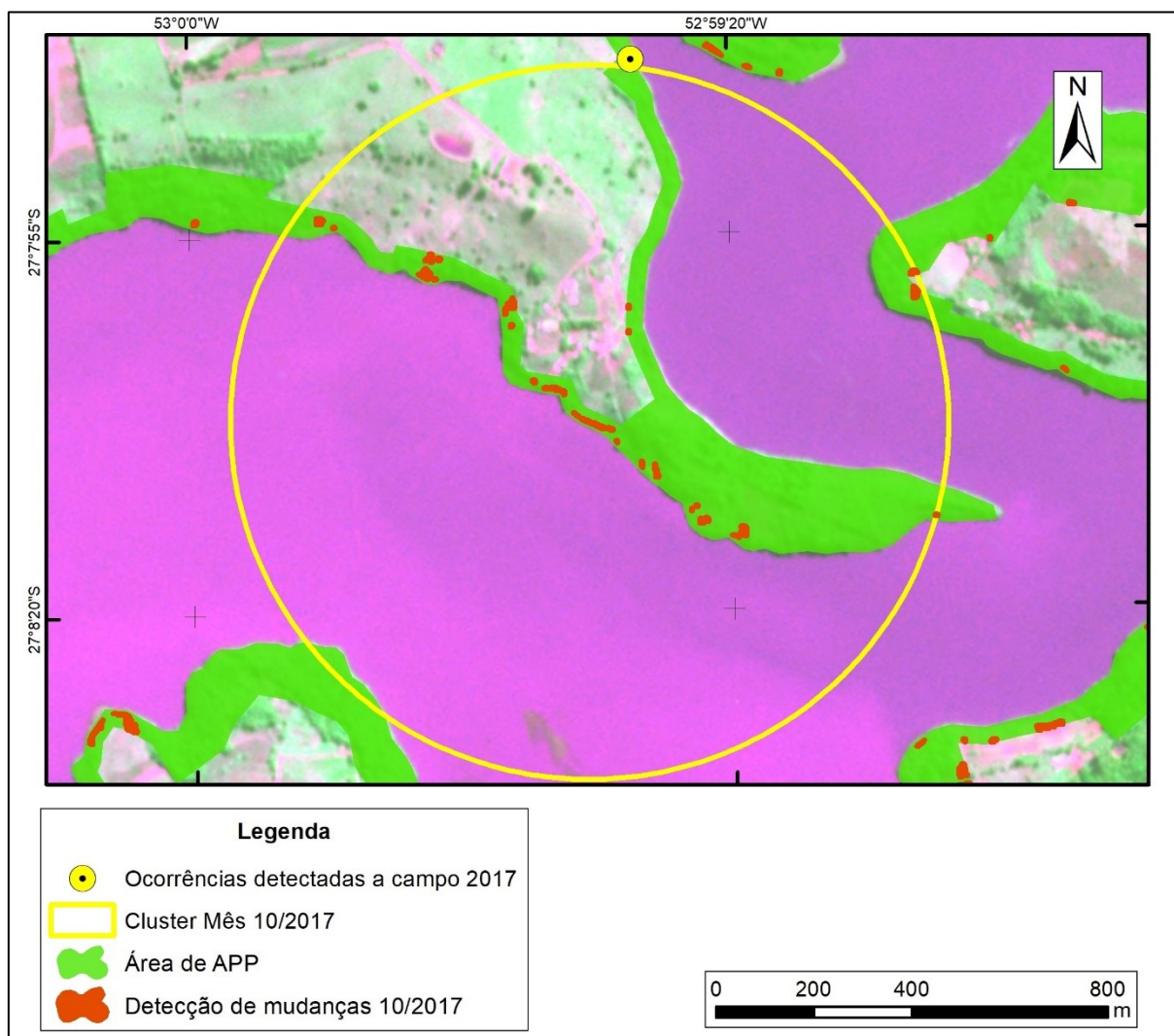
Destaca-se que em todos os conglomerados gerados no período de 2019, o levantamento dos conglomerados ativos foi uma forma de priorização das áreas com maior probabilidade de ocorrências.

A principal desvantagem é que os conglomerados são sempre definidos como círculos (BALIEIRO, 2008), com configurações específicas podendo ser também representados na forma elipsoidal. As duas geometrias, no entanto, quando aplicadas sobre os alertas de ocorrências deste estudo, mostram-se limitantes, uma vez que o conglomerado inteiro não é o alerta de ocorrência em si. Sendo assim, o conglomerado por si só não é uma feição utilizável para o monitoramento, mas uma técnica que ajuda na priorização dos locais a serem vistoriados, não substituindo os dados de centroides e polígonos de ocorrência.

Ressalta-se, ainda, que as fronteiras dos conglomerados segundo Kulldorff e Nagawalla (1995) são incertas, pois no presente estudo estas localizações estão limitadas ao valor estabelecido para o raio máximo de busca espacial de 750 m.

No caso exposto ao norte do conglomerado, no ponto em amarelo, apresenta-se uma ocorrência detectada no mesmo período em campo em 2017. Entretanto, essa não está inserida no conglomerado que foi gerado próximo ao período detectado em campo. Podendo assim, observar que a fronteira do conglomerado pode conter uma incerteza e não ter chegado até a região.

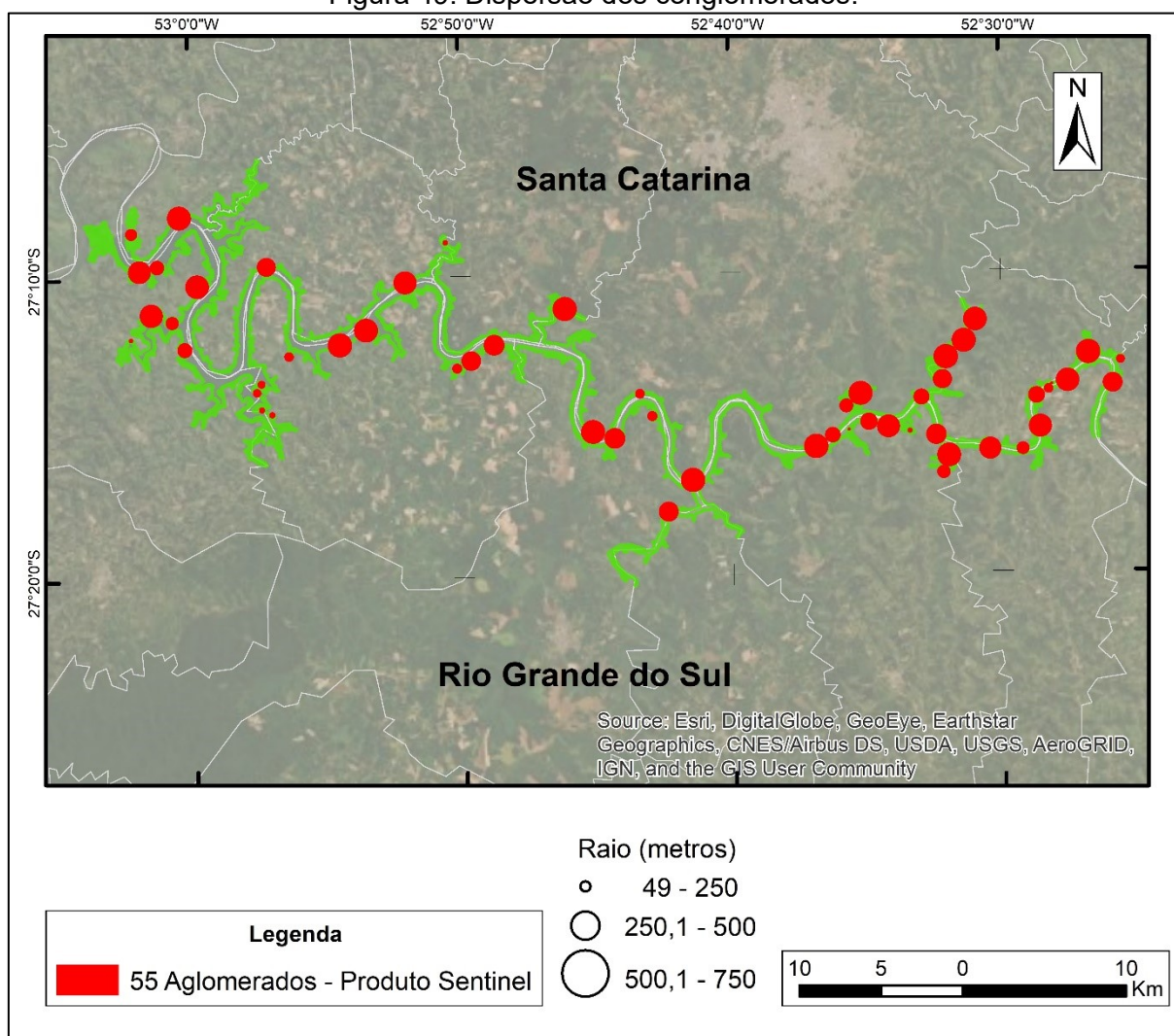
Figura 48: Limitação do conglomerado.



4.6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRODUTOS PLANET E SENTINEL-2

Com os centroides gerados a partir dos polígonos resultantes do processo de redução de falsos positivos, realizou-se o processo de configuração dos arquivos para realizar a aplicação da estatística espacial para o produto Sentinel-2. Na Figura 49 é apresentada a dispersão espacial dos conglomerados sobre a área de estudo.

Figura 49: Dispersão dos conglomerados.



O processo de hierarquização destes alertas gerou 55 conglomerados, apresentados na Tabela 20 com sua data, localização, raio, número de casos observados e esperados, o teste estatístico e o *p-valor* final.

Destaca-se que os conglomerados estão ordenados em sequência do mais para o menos significativo, até o limite de *p-valor* < 0,05, considerando os casos onde o *p-valor* é igual aos conglomerados seguintes o valor de RVG é fator que determina sua relevância.

Tabela 20: Conglomerados resultantes do produto Sentinel-2.

| Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019 - Produto Sentinel-2 | | | | | | | | |
|---|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|-----|----------|
| Cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | p-valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | **Esp. | | |
| 1 | 30/04/2019 | -27,2148 | -52,534 | 0,748 | 67 | 6 | 105 | 1,00E-17 |
| 2 | 30/04/2019 | -27,2059 | -52,523 | 0,737 | 38 | 4 | 48 | 1,00E-17 |
| 3 | 31/03/2019 | -27,2503 | -52,582 | 0,529 | 110 | 36 | 48 | 1,00E-17 |
| 4 | 30/04/2019 | -27,1942 | -52,516 | 0,725 | 47 | 8 | 46 | 1,00E-17 |
| 5 | 30/04/2019 | -27,2366 | -52,478 | 0,513 | 33 | 4 | 40 | 1,00E-17 |
| 6 | 31/03/2019 | -27,1963 | -52,892 | 0,735 | 58 | 15 | 36 | 2,00E-15 |
| 7 | 30/04/2019 | -27,2574 | -52,605 | 0,478 | 30 | 4 | 35 | 3,33E-15 |
| 8 | 31/05/2019 | -27,2345 | -52,587 | 0,738 | 97 | 37 | 33 | 6,03E-14 |
| 9 | 30/04/2019 | -27,237 | -52,55 | 0,492 | 36 | 6 | 32 | 1,66E-13 |
| 10 | 30/04/2019 | -27,2172 | -52,426 | 0,278 | 24 | 3 | 32 | 2,14E-13 |
| 11 | 30/04/2019 | -27,2129 | -52,446 | 0,749 | 49 | 13 | 30 | 3,67E-12 |
| 12 | 30/04/2019 | -27,2272 | -52,536 | 0,586 | 30 | 5 | 29 | 4,83E-12 |
| 13 | 30/04/2019 | -27,2656 | -52,507 | 0,676 | 35 | 7 | 29 | 1,23E-11 |
| 14 | 31/03/2019 | -27,2043 | -52,909 | 0,743 | 49 | 14 | 26 | 4,92E-10 |
| 15 | 31/05/2019 | -27,1703 | -52,868 | 0,708 | 38 | 10 | 24 | 2,85E-09 |
| 16 | 30/04/2019 | -27,2529 | -52,57 | 0,704 | 27 | 5 | 23 | 9,07E-09 |
| 17 | 31/01/2019 | -27,2814 | -52,691 | 0,745 | 90 | 40 | 23 | 9,65E-09 |
| 18 | 30/04/2019 | -27,2659 | -52,487 | 0,396 | 15 | 1 | 23 | 1,02E-08 |
| 19 | 31/01/2019 | -27,2284 | -52,459 | 0,718 | 54 | 22 | 17 | 1,15E-05 |
| 20 | 31/05/2019 | -27,171 | -52,996 | 0,724 | 33 | 10 | 17 | 1,44E-05 |
| 21 | 31/05/2019 | -27,2541 | -52,753 | 0,737 | 44 | 16 | 17 | 1,44E-05 |
| 22 | 30/04/2019 | -27,2545 | -52,594 | 0,099 | 10 | 1 | 17 | 2,44E-05 |
| 23 | 31/01/2019 | -27,1624 | -53,032 | 0,696 | 51 | 20 | 16 | 2,75E-05 |
| 24 | 30/04/2019 | -27,2785 | -52,536 | 0,412 | 39 | 13 | 16 | 3,59E-05 |
| 25 | 31/05/2019 | -27,186 | -52,769 | 0,742 | 74 | 35 | 16 | 5,22E-05 |
| 26 | 31/01/2019 | -27,214 | -52,828 | 0,602 | 32 | 10 | 15 | 1,53E-04 |
| 27 | 31/03/2019 | -27,1485 | -52,842 | 0,167 | 25 | 7 | 15 | 2,21E-04 |
| 28 | 31/05/2019 | -27,1606 | -52,953 | 0,581 | 28 | 8 | 15 | 2,54E-04 |
| 29 | 30/04/2019 | -27,2301 | -52,431 | 0,608 | 19 | 4 | 15 | 2,73E-04 |
| 30 | 31/01/2019 | -27,2579 | -52,739 | 0,638 | 34 | 11 | 14 | 2,94E-04 |
| 31 | 31/05/2019 | -27,1329 | -53,007 | 0,735 | 24 | 6 | 14 | 4,84E-04 |
| 32 | 30/04/2019 | -27,2577 | -52,541 | 0,626 | 19 | 4 | 14 | 4,91E-04 |
| 33 | 31/01/2019 | -27,2635 | -52,615 | 0,75 | 50 | 22 | 14 | 0,001 |
| 34 | 31/01/2019 | -27,16 | -53,021 | 0,445 | 34 | 12 | 13 | 0,001 |
| 35 | 28/02/2019 | -27,2691 | -52,533 | 0,733 | 256 | 184 | 13 | 0,002 |
| 36 | 31/03/2019 | -27,2103 | -52,94 | 0,293 | 28 | 9 | 13 | 0,002 |
| 37 | 31/05/2019 | -27,1866 | -53,025 | 0,713 | 63 | 31 | 13 | 0,003 |
| 38 | 30/04/2019 | -27,2555 | -52,557 | 0,16 | 8 | 1 | 13 | 0,003 |
| 39 | 31/01/2019 | -27,2181 | -52,836 | 0,307 | 26 | 8 | 12 | 0,003 |
| 40 | 31/01/2019 | -27,2055 | -52,813 | 0,636 | 37 | 14 | 12 | 0,004 |
| 41 | 31/03/2019 | -27,1908 | -53,012 | 0,402 | 38 | 15 | 12 | 0,004 |
| 42 | 30/04/2019 | -27,2396 | -52,957 | 0,19 | 11 | 2 | 11 | 0,011 |
| 43 | 31/05/2019 | -27,2301 | -52,96 | 0,265 | 22 | 6 | 11 | 0,011 |
| 44 | 31/03/2019 | -27,2254 | -52,957 | 0,247 | 28 | 10 | 11 | 0,012 |
| 45 | 31/03/2019 | -27,2536 | -52,476 | 0,705 | 87 | 50 | 11 | 0,012 |

Continuação: Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019 - Produto Sentinel-2

| Clusters | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de Casos | | RVG | <i>p</i> -valor |
|----------|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|-----|-----------------|
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | **Esp. | | |
| 46 | 30/04/2019 | -27,2001 | -53,038 | 0,138 | 20 | 6 | 11 | 0,012 |
| 47 | 30/04/2019 | -27,2301 | -52,469 | 0,09 | 6 | 0 | 11 | 0,013 |
| 48 | 31/03/2019 | -27,2414 | -52,596 | 0,43 | 30 | 11 | 11 | 0,017 |
| 49 | 31/03/2019 | -27,2059 | -53,004 | 0,462 | 25 | 8 | 11 | 0,024 |
| 50 | 31/01/2019 | -27,233 | -52,471 | 0,298 | 16 | 4 | 11 | 0,025 |
| 51 | 31/01/2019 | -27,1415 | -53,036 | 0,369 | 97 | 58 | 11 | 0,028 |
| 52 | 31/01/2019 | -27,2987 | -52,707 | 0,611 | 35 | 14 | 11 | 0,033 |
| 53 | 31/03/2019 | -27,2458 | -52,716 | 0,309 | 18 | 5 | 10 | 0,036 |
| 54 | 31/03/2019 | -27,2424 | -52,951 | 0,195 | 20 | 6 | 10 | 0,036 |
| 55 | 31/05/2019 | -27,2334 | -52,724 | 0,301 | 14 | 3 | 10 | 0,046 |

*obs. = observado

**esp. = esperado

Observa-se que, com o número menor de alertas de ocorrência, os produtos Sentinel-2 apresentaram um número total de conglomerados menor do que o obtido no mesmo período com produtos PlanetScope.

O número de conglomerados a serem vistoriados, mensalmente, em campo, seriam de 12 para o mês de janeiro, 1 em fevereiro, 12 em março, 20 em abril e 10 em maio.

Ressalta-se que, ao realizar as análises de consistência dos conglomerados encontrados pelos produtos Sentinel-2 X PlanetScope, observou-se que para os 55 conglomerados, apenas 29,09% não coincidiram com os resultados gerados pelos produtos PlanetScope.

Por conta disso, tais conglomerados que não coincidiram com os gerados pelos resultados obtidos a partir dos produtos Planet foram separados em uma tabela, os quais podem ser vistoriados a campo para então validar se seriam novos focos ou falsos positivos resultantes da hierarquização. A Tabela 21, apresenta estes 16 conglomerados.

Tabela 21: Conglomerados não coincidentes com o Produto Planet

| Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019 - Produto Sentinel-2 - não coincidentes | | | | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|-----|----------|
| cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | p-valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | **Esp. | | |
| 1 | 2019/4/30 | -27,2148 | -52,5341 | 0,748 | 67 | 6 | 104 | 1,00E-17 |
| 2 | 2019/4/30 | -27,2059 | -52,5230 | 0,737 | 38 | 4 | 48 | 1,00E-17 |
| 3 | 2019/3/31 | -27,2503 | -52,5821 | 0,529 | 110 | 36 | 48 | 1,00E-17 |
| 4 | 2019/4/30 | -27,1942 | -52,5158 | 0,725 | 47 | 8 | 45 | 1,00E-17 |
| 7 | 2019/4/30 | -27,2574 | -52,6046 | 0,478 | 30 | 4 | 35 | 3,33E-15 |
| 18 | 2019/4/30 | -27,2659 | -52,4870 | 0,396 | 15 | 1 | 23 | 1,01E-08 |
| 22 | 2019/4/30 | -27,2545 | -52,5944 | 0,099 | 10 | 1 | 16 | 2,44E-05 |
| 24 | 2019/4/30 | -27,2785 | -52,5362 | 0,412 | 39 | 13 | 16 | 3,59E-05 |
| 27 | 2019/3/31 | -27,1485 | -52,8424 | 0,167 | 25 | 7 | 14 | 0,0002 |
| 33 | 2019/1/31 | -27,2635 | -52,6149 | 0,750 | 50 | 22 | 13 | 0,001 |
| 36 | 2019/3/31 | -27,2103 | -52,9401 | 0,293 | 28 | 9 | 12 | 0,002 |
| 39 | 2019/1/31 | -27,2181 | -52,8362 | 0,307 | 26 | 8 | 12 | 0,003 |
| 47 | 2019/4/30 | -27,2301 | -52,4689 | 0,090 | 6 | 0 | 11 | 0,013 |
| 48 | 2019/3/31 | -27,2414 | -52,5960 | 0,430 | 30 | 11 | 11 | 0,017 |
| 53 | 2019/3/31 | -27,2458 | -52,7160 | 0,309 | 18 | 5 | 10 | 0,036 |
| 54 | 2019/3/31 | -27,2424 | -52,9509 | 0,195 | 20 | 6 | 10 | 0,036 |

Ressalta-se que uma análise consistente dos conglomerados se faz necessária. Sendo assim, torna-se importante a vistoria em campo, etapa essa não executada nessa pesquisa.

Não obstante a isso os resultados demonstram que a utilização do modelo espaço-temporal foi capaz de modelar os alertas de ocorrências na área de APP do reservatório da UHE foz do Chapecó com produtos Sentinel-2. No entanto, destaca-se a que a utilização dos produtos Sentinel-2 em comparação com produto Planet para o período de 2019, apresentou uma redução de 44 conglomerados.

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados para monitorar a supressão vegetal utilizando imagens do sensoriamento remoto demonstraram que é possível realizar este tipo de monitoramento.

A hipótese da pesquisa foi aceita, sendo possível monitorar as supressões vegetais nas Áreas de Preservação Permanente – APP de reservatórios hídricos utilizando produtos do sensoriamento remoto. No entanto, melhorias metodológicas com relação a obtenção dos dados de entrada e pré-processamento devem ser realizadas para um resultado mais aprimorado.

Com relação aos alertas de supressão vegetal gerados, ressalta-se que, apesar do número de polígonos ser elevado mensalmente, a estratégia de hierarquização torna a aplicação do monitoramento mais direcionado a regiões com relevância estatística. Com isso, o serviço de fiscalização em grandes áreas acaba sendo otimizado.

Na verificação das limitações da pesquisa, destaca-se a validação dos conglomerados como uma das etapas mais frágeis e que necessita de mais aprimoramento.

Este estudo demonstrou, ainda, que a utilização do modelo espaço-temporal foi capaz de modelar os alertas de ocorrências na área de APP do reservatório da UHE foz do Chapecó com produtos Planet e Sentinel-2.

Ambos produtos do sensoriamento remoto se mostraram aplicáveis para monitoramento de supressões vegetais no entorno de reservatórios hídricos. No entanto, os resultados relativos às detecções de mudanças necessitam de mais estudos aprofundados, destacando cada nível de detalhamento proporcionado pelos sistemas sensores.

O uso de sensoriamento remoto demonstrou-se efetivo desde que utilizando com boas práticas, prudência e especificações dos produtos trabalhando com redundância. Sendo assim, essa ferramenta englobada reforça que o geoprocessamento pode facilitar a implementação de geotecnologias e práticas no sistema de monitoramento realizado em áreas de preservação permanente ao longo de reservatório de usinas hidrelétricas.

A metodologia utilizada nesse estudo demonstrou que é possível que empresas geradoras de energia possam utilizar em suas áreas de proteção ambiental

o sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento. Ressalta-se, ainda, que essa metodologia pode, também, ser adaptada a outras regiões.

Esse trabalho corrobora com a afirmação feita por Méger et al., (2019), na qual além da detecção de mudanças pode-se elencar uma segunda técnica que auxilia nessa extração de informações da Série Temporal de Imagens de Satélite (*Satellite Image Time Serie*) – SITS. Tal técnica de detecção de conglomerados (*clusters*) significativos estatisticamente avalia-se dentro de um espaço e tempo definido.

Conforme a contextualização da pesquisa, com relação às imagens PlanetScope e especificações dos sistemas sensores utilizados neste trabalho, observou-se que, o fato da órbita síncrona ao sol não ser padrão de todos os satélites da constelação PlanetScope, assim como não ter sido aplicado parâmetros de aquisição das cenas tornou as imagens menos eficientes para estudos temporais. Tal parâmetro resultou, em contrapartida, em imagens com diferentes ângulos de visada e com grande variação de sombras, ou seja, os falsos positivos observados na análise qualitativa. Por sua vez, por meio do sistema sensor Sentinel-2, observou-se que as interferências ocasionadas por sombras foram reduzidas nos produtos deste sistema. Isso deve-se ao fato do referido sensor usar apenas a órbitas síncrona ao sol, a qual garante que o ângulo da luz solar sobre a superfície da Terra seja constantemente mantido.

Com relação a utilização de valores mínimos, obtidos na extração das amostras de vegetação arbórea arbustiva, mostrou-se conservadora, mapeando a floresta estacional decidual com certa redundância, não deixando de fora fragmentos de floresta e vegetação arbórea arbustiva. Essa utilização tem-se mostrado como uma alternativa em mapeamentos com poucas amostras que requerem uma certa margem de segurança.

Quanto às informações relativas aos limiares determinados nos procedimentos de redução de falsos positivos, constatou-se que dos quais foram utilizados o polígonos próximos do nível da água do reservatório, a área mínima, com índice de *Compactness* e informações espectrais da floresta estacional decidual, foi importante para a redução dos falsos positivos resultantes de cada produto do sensoriamento remoto.

A aplicação do procedimento de redução de falsos positivos para os polígonos próximos do Nível da Água - NA do reservatório visa subtrair das análises, por meio

do processo de extração, os pixels próximos ao NA do reservatório. Isso porque essas zonas estariam mais susceptíveis de serem influenciadas pelo regime das variações do nível da água no reservatório, mostrando-se, assim, um procedimento de redução de falso positivo adequado para os pixels de transição entre o reservatório e APP.

Nesse sentido, foi possível definir, para os produtos da constelação PlanetScope, uma área mínima a ser detectada (mínimo de $9,1\text{m}^2$), sendo extraído todos os polígonos com área menor. Já no produto Sentinel-2, pelo fato da resolução espacial ser de 10 metros, foi possível utilizar como área mínima 25m^2 .

Quanto à aplicação do índice de *compactness*, uma avaliação sobre a relação da área do polígono detectado como mudança e com a área de um círculo equivalente determinou que o limiar deveria ser de, no mínimo, 0,1499, extraindo-se todos os polígonos com valor de *compactness* menor a este. Já no produto Sentinel-2 o limiar encontrado para feições similares foi de 0,1899.

No que se refere às informações relativas à florestas decíduais, constatou-se que as mesmas estavam diretamente ligadas a sazonalidade dos limiares já definidos, sendo necessário aplicar um limiar específico para cada mês.

Ressalta-se que os limiares apresentados neste trabalho são relativos à peculiaridade da região em estudo. Entende-se, também, que a replicação deste método necessita da adaptação de alguns pontos, ou seja, contexto temporal, tipo de fitofisionomia predominante da região, produção de amostras de vegetação, estudo da sazonalidade, determinação de limiares e definição do método de detecção de mudanças. Ressalta-se, por fim, que a não adaptação destes pontos pode acarretar em resultados insatisfatórios.

Com relação aos produtos Planet já ortoretificados, é necessário que os usuários, durante sua utilização, tenham muita atenção pelo fato de utilizarem modelos globais para realizar suas correções tanto de ortorretificação como correções atmosféricas.

A maior problemática da utilização dos modelos globais foi encontrada nos valores de reflectância dos pixels entre cena que demonstraram uma limitação das mesmas já processadas e utilizadas em áreas de grande conjunto. Reitera-se, com isso, a necessidade de um estudo acerca da influência da distância de visibilidade utilizada na correção atmosférica.

Espera-se que cada operação, utilizando dados de sensoriamento remoto, avalie a necessidade e precisão que o produto final requer, sendo indicado que, em

casos de disponibilidade, os usuários façam seu próprio processamento para aferir qual resultado final é mais coerente com a realidade e conseqüente tomada de decisões.

A redução dos falsos positivos nos polígonos detectados como mudanças foi fundamental para que o modelo de hierarquização conseguisse gerar conglomerados de forma coerente sem prejudicar o processamento estatístico. No entanto, conclui-se que para uma análise mais profunda, que certifique a consistência dos mesmos, faz-se necessário uma vistoria *in loco* dos referidos conglomerados.

Tal vistoria pode ser realizada de várias formas, sendo necessário que a equipe de monitoramento avalie a melhor abordagem que venha a facilitar sua logística. O uso de Aeronave Remotamente Pilotada – RPA, sugerido requer uma série de conhecimentos e cuidados tanto técnicos de operação como da própria legislação de uso do espaço aéreo, sendo recomendado uma formação, através de cursos técnicos.

Nesse contexto, a utilização de sensoriamento remoto fica limitada a um estudo da viabilidade econômica que demonstre que as detecções feitas por sensoriamento remoto se revelam mais baratas que as realizadas por outros meios métodos sem o uso do sensoriamento remoto.

Pelo fato da camada UDM2 ser uma camada inserida no ano de 2019 como um dos produtos Planet, constatou-se se faz necessário mais estudos científicos que possam avaliar a sua porcentagem de eficiência. Isso porque, apesar dos sensores Planet entregarem uma resolução temporal com alta frequência de passagem do sensor sobre um mesmo local em um curto intervalo de tempo, essa lacuna de dados é facilmente preenchida, exceto em casos que o mês em questão apresente nuvens em quase todos os seus dias.

Recomenda-se, para tanto, na produção dos mosaicos, a utilização da função mediana, ou seja, a utilização do valor que divide ao meio a distribuição deste conjunto de valores de pixel, excluindo os valores extremos ocasionados por nuvens e/ou sombras, conforme detalhado no APÊNDICE E.

Durante o teste de produção dos mosaicos pela função mediana verificou-se a aplicabilidade para produtos com alta resolução temporal como os PlanetScope SR. Em contrapartida, a mesma sofre restrições devido ao alto custo computacional.

A recomendação é feita visto que uma quantidade de pixels sobrepostos, oferecida pelos sensores PlanetScope, seria uma alternativa para minimizar os efeitos

ocasionados por nuvens e sombras. Essa sendo etapa que deve anteceder a detecção de possíveis nuvens que venham a ser imageadas.

Para futuros estudos, recomenda-se uma comparação entre a utilização de técnicas de detecção de mudanças baseada em objeto e as técnicas de *machine learning*. Espera-se, dessa forma, para verificar a eficiência dos resultados e compará-los em um mesmo espaço e tempo. Sugere-se, também, uma análise das técnicas de co-registro junto ao processo de detecção de mudanças podendo verificar sua influência no processo de produção de alertas de supressão de vegetação arbórea arbustiva.

Destaca-se, por fim, que é possível comparar os resultados obtidos neste estudo com diferentes dados de sensores, bem como de resoluções temporais e espaciais para verificar a correlação e o nível de detalhamento possível com cada sistema sensor. Sendo, para tanto, oportuno em trabalhos futuros uma comparação entre o produto já ortoretificado e corrigido atmosféricamente com um produto processado totalmente pelo usuário.

REFERÊNCIAS

- ACHARD, F.; BEUCHLE, R.; MAYAUX, P.; STIBIG, H. J.; BODART, C.; BRINK, A.; ... SIMONETTI, D. **Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010**. *Global Change Biology*, 20,2540–2554. 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/gcb.12605>>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- ALBERTI, M.; WEEKS, R.; COE, S. **Urban land-cover change analysis in Central Puget Sound**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 70, n. 9, p. 1043– 1052, 2004.
- AUCH, R.; TAYLOR, J.; ACEVEDO, W. **Urban growth in American cities – Glimpses of U. S. Urbanization**. Washington: U.S. Geological Survey, 2004. 52p.
- AMITRANO, D.; CIERVO, F.; DI BIANCO, P.; DI MARTINO, G.; IODICE, A.; MITIDIERI, F.; RICCIO, D.; RUELLO, G.; PAPA, MN.; KOUSSOUBE, Y. **Monitoring soil erosion and reservoir sedimentation in semi-arid region through remote sensed SAR data: a case study in Yatenga Region, Burkina Faso**. 2015. In: Proceedings of the 12th International Association for Engineering Geology and the Environment Congress, New Delhi, India, vol 3, pp 539–542
- ASSUNÇÃO, R. M. **Estatística Espacial com Aplicações em Epidemiologia, Economia e Sociologia**. São Carlos, SP, Universidade Federal de São Carlos, 2001.
- BALIERO, Antônio Alcirley da Silva. **Detecção De Conglomerados Dos Alertas De Desmatamentos No Estado Do Amazonas Usando Estatística De Varredura Espaço-Temporal**. p. 87, 2008. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/4015>>. Acessado em 15 de out. 2019.
- BLASCHKE, T. **Object based image analysis for remote sensing**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, n. 1, p. 2–16, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- BRASIL. **Decreto Federal n. 23.793, de 23 de janeiro de 1934**. Instituiu o Código Florestal, 1934.
- _____. **Resolução CONAMA n. 303**, de 20 de março de 2002. Dispôs sobre parâmetros, definições e limites de APP hidrográfica, 2002.
- _____. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispôs sobre a proteção da vegetação nativa e alterou o Código Florestal, 2012.
- _____. **Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Alterou alguns conceitos da Lei n. 12.651, 2012.
- _____. **Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Alterou o Código Florestal, 1965.
- _____. **Lei n. 6.938, de 1981**. Instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente. 1981.

_____. **Lei n. 7.803, de 18 de julho de 1989.** Alterou alguns conceitos do Código Florestal. 1989.

BONTEMPS, S.; BOGAERT, P.; TITEUX, N.; DEFOURNY, P. **An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution.** 2008. Remote Sensing of Environment 112:3181–3191

BORGES, L. A. C. **Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das áreas de preservação permanente (APP).** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - UFLA, Lavras/MG, 2008. 210p.

BORGES, Luís Antônio Coimbra. **Aspectos Técnicos e Legais que Fundamentam o Estabelecimento das Áreas de Preservação Permanente (APP).** Revista da Gestão Costeira Integrada, v. 9, n. 1, p. 193.:il, 2008a.

BOUWMEESTER, J.; AALBERS, GT.; UBBELS, WJ.; **Preliminary mission results and project evaluation of the delfi-c3 nano-satellite.** 2008. Technical report. TU Delft.

BRUZZONE, L.; BOVOLO, F. **Methods in Remote Sensing Digital Image Processing and Classification: Change Detection Techniques.** In: 2009, p. 185. Disponível em: <<http://rslab.disi.unitn.it/>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

CAUWELS, P.; PESTALOZZI, N.; SORNETTE, D. **Dynamics and spatial distribution of global nighttime lights.** 2014. EPJ Data Science 3(1):1–26.

CARVALHO, D. F. D.; DURIGON, V. L.; ANTUNES M. A. H.; ALMEIDA, W. S. D.; OLIVEIRA, P. T. S. D. **Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5.** 2014. Pesquisa Agropecuária Brasileira 49:215 – 224

CARREIRAS, João M.B.; JONES Joshua.; RICHARD, Lucas M.; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Mapping major land cover types and retrieving the age of secondary forests in the Brazilian Amazon by combining single-date optical and radar remote sensing data.** In Remote Sensing of Environment, Volume 194, 2017, Pages 16-32, ISSN 0034-4257.

CAUWELS, P.; PESTALOZZI, N.; SORNETTE, D. **Dynamics and spatial distribution of global nighttime lights.** 2014. EPJ Data Science 3(1):1–26.

COTA, M. A. **Áreas de preservação permanente (APPs): as resoluções CONAMA e o papel das técnicas de geoprocessamento na delimitação das classes de preservação.** 2008. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. **Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review.** 2004. International Journal of Remote Sensing 25(9):1565–1596.

_____, **CubeSat Design Specification Rev. 13 - The CubeSat program**. Cal Poly SLO. 2014. Disponível em:

<https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf>. Acesso em: 20 de out. 2019.

DEVRIES, B.; VERBESSELT, J.; KOOISTRA, L.; HEROLD, M. **Robust monitoring of small- scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series**. *Remote Sensing of Environment*, 161, 107–121. 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.012>. Acesso em: 20 de out. 2019.

DE JONG, R.; VERBESSELT, J.; SCHAEPMAN, M.E.; DE BRUIN, S. **Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change**. 2012. *Global Change Biol.* 18 (no. 2), 642–655.

DUEDE, E.; ZHORIN, V. **Convergence of economic growth and the great recession as seen from a celestial observatory**. *EPJ Data Science* 5:1–29. 2016.

DUTRIEUX, L. P.; VERBESSELT, J.; KOOISTRA, L.; Herold, M. **Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.%202015.03.015>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

DOGAN, O.; PERISSIN, D. **Detection of multitransition abrupt changes in multitemporal sar images**. 2014. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7(8):3239–3247.

ESA – The European Space Agency. **The Copernicus Sentinel-2**. 2019. Disponível em: <<https://Sentinel-2.esa.int/web/Sentinel-2/missions/Sentinel-2>> acesso em 24 de out. de 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization. **National Forest Monitoring and Assessment – Manual for integrated field data collection**. NFMA paper 37/N. Roma. 2009.

FENG, J.; WANG, T.; QI, S.; XIE, C. **Land degradation in the source region of the Yellow River, northeast Qinghai-Xizang Plateau: classification and evaluation**. 2005. In: *Environmental geology*, vol 47, pp 459–466.

FRIEDL, M. A.; MCIVER, D. K.; HODGES, J. C. F.; ZHANG, X. Y.; MUCHONEY, D.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E.; GOPAL, S.; SCHNEIDER, A.; COOPER, A.; BACCINI, A.; GAO, F.; SCHAAF, C. **Global Land Cover Mapping From Modis: Algorithms And Early Results**. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p.287-302, 2002.

FORKEL, M.; CARVALHAIS, N.; VERBESSELT, J.; MAHECHA, M.D.; NEIGH, C.S.R.; REICHSTEIN, M. **Trend change detection in NDVI time series: effects of inter-annual variability and methodology**. 2013. *Remote Sens.* 5 (no. 5), 2113–2144.

GRIFFITHS, P.; KUEMMERLE, T.; KENNEDY, R. E.; ABRUDAN, I. V.; KNORN, J.; HOSTERT, P. **Using annual time-series of Landsat images to assess the effects of forest restitution in post-socialist Romania.** *Remote Sensing of Environment*, 118, 199–214. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.006>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

HAMUNYELA, Eliakim; VERBESSELT, Jan; HEROLD, Martin. **Using spatial context to improve early detection of deforestation from Landsat time series.** 2016. *Remote Sensing of Environment*, v. 172, p. 126–138, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.006>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

HUETE A. R. A. **Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI).** *Remote Sensing of Environment*, [S.l.], v. 25, p. 295-309, 1988.
 HUETE, A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. **A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS.** *Remote Sensing of Environment*, 59:440-451, 1997.

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. A. **Cubesat enabled Spatio-Temporal Enhancement Method (CESTEM) utilizing Planet, Landsat and MODIS data.** 2018. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 209, n. July 2017, p. 211–226, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.067>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

HUSSAIN, M.; CHEN, D.; CHENG, A.; WEI, H.; STANLEY, D. **Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 80, p. 91–106, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Avaliação da qualidade de dados geoespaciais.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 96 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf>> . Acesso em: 20 jun. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Manual técnico da vegetação Brasileira.** 2012. Rio de Janeiro, Editora do IBGE, 275 p,

ILSEVER, M.; UNSALAN, C. **Texture analysis based change detection methods.** In: *Two-Dimensional Change Detection Methods: Remote Sensing Applications*. 2012. Springer, London, chap 4, pp 35–39.

IM, Jungho.; RHEE, Jinyoung.; JENSEN, John R.; HODGSON, Michael. **An Automated Binary Change Detection Model Using A Calibration Approach.** *Remote Sensing of Environment*, v. 106, n. 1, p. 89–105, 2007. DOI: 10.1016/j.rse.2006.07.019.

IM, J.; JENSEN, J.R. **A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification.** 2005. *Remote Sensing of Environment* 99, 326–340.

INPE - Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007 – 2008.** São José dos Campos: INPE, Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acessado em: 09 de mar. 2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CONASAT**, Nano Satélites. 2019. Disponível em: <<http://www.crn.inpe.br/conasat1/nanosatt.php>>. Acessado em: 09 de mar. 2019.

INPE - Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **PRODES: Deforestation estimates in the Brazilian Amazon.** 2015. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 09 de mar. 2019

INGLADA, J.; FAVARD, J.C.; YESOU, H.; CLANDILLON, S.; BESTAULT, C. **Lava flow map- ping during the Nyiragongo January, 2002 eruption over the city of Goma (D.R. Congo) in the frame of the international charter space and major disasters.** 2003. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Geoscience And Remote Sensing (IGARSS'03), Toulouse, France, vol 3, pp 1540–1542 Jaccard P (1902) Lois de distribution florale dans la zone alpine. Bulletin de la Soci´et´e Vaudoise des Sciences Naturelles 38:69–130.

IFFSC - Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. **Espécies arbóreas raras de Santa Catarina.** André Luís de Gasper. [et al.] (editores).Volume VII - Blumenau: Edifurb, 2017. 256 p.: il. ISBN: 978-85-7114-254-1.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. **Interpreting vegetation indices.** 1991. Prev. Vet. Med. 11(December (no. 3–4)), 185–200.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Trad: EIPHANIO, José Carlos Neves (Coo) et al. São José dos Campos – SP: Parêntese, 2011.

KAYASTHA, N.; THOMAS, V.; GALBRAITH, J.; BANSKOTA, A. **Monitoring wetland change using inter-annual Landsat time-series data.** 2012. Wetlands 32(6):1149–1162.

KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; COHEN, W. B. **Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms.** 2010. Remote Sensing of Environment, 114(12), 2897–2910. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

KLAPPROTH J. C.; JOHNSON, J. E. **Understanding the science behind riparian forest buffers: effects on water quality.** Virgínia: Virginia Cooperative Extension, Publication Virginia Polytechnic Institute and State University, p. 420-451. 2000.

KLEIN, R.M. **Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina.** 1978. In: Reitz, R. (Org), Flora Ilustrada Catarinense. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, pp. 1–24.

KRYLOV, V.A.; MOSER, G.; SERPICO, S.B.; ZERUBIA, J. **False discovery rate approach to image change detection**. 2013. In: Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 13), Melbourne, Australia, pp 3820– 3824.

KULLDORFF, M.; FREEDMAN, L.S. 1997. **Breast cancer clusters in the northeast United States: a geographic analysis**. Am J Epidemiol 146: 161-170.

KULLDORFF, M.; NAGARWALLA, N. **Spatial disease cluster: detection and inference**. Statistics in Medicine. v. 14, p. 799-810. 1995

KULLDORFF, M. **A spatial scan statistic**. Communications in Statistics. – Theory and Methods. v. 26, p.1481 – 1496, 1997.

KULLDORFF, M.; HEFFERNAN, R.; HARTMAN, J.; ASSUNÇÃO, R. M.; MOSTASHARI, F. **A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks**. PLoS Medicine, 2:216-224, 2005.

KULLDORFF, M. and Information Management Services, Inc. SatScan™ v7.0: **Software for the spatial and space-time scan statistics**. 2006. Disponível em: <<http://www.SatScan.org/>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

LEFEBVRE, A.; CORPETTI, T.; HUBERT-MOY, L. **Object-oriented approach and texture analysis for change detection in very high resolution images**. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International,

LIMA, D. R. M.; DLUGOSZ, F. L.; IURK, M. C.; PESCK, V. A. **Uso de NDVI e SAVI para Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye**. Use of NDVI and SAVI for Characterization of the Earth's Coverage and Temporal Analysis in Images RapidEye. Revista Espacios, v. 38, n.36. ISSN 0798 1015, 2017. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n36/a17v38n36p07.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

LI, L.; LEUNG, M. **Robust change detection by fusing intensity and texture differences**. 2001. In: Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'01), Kauai, HI, USA, vol 1, pp 777–784.

LIU, Z.; HE, C.; ZHANG, Q.; HUANG, Q.; YANG, Y. **Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008**. 2012. Landscape and Urban Planning 106(1):62 – 72.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. **Change detection techniques**. 2004. International Journal of Remote Sensing 25(12):2365–2407.

LU, M.; CHEN, J.; TANG, H.; RAO, Y.; YANG, P.; WU, W. **Land cover change detection by integrating object-based data blending model of Landsat and MODIS**. 2016. Remote Sensing of Environment 184:374 – 386.

LU, MENG.; PEBESMA, E.; SANCHEZ, A.; VERBESSELT, J. **Spatio-temporal change detection from multidimensional arrays: Detecting deforestation from MODIS time series**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 117, p. 227–236, 2016. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.007>> Acesso em: 05 jun. 2019.

LU, D.; MAUSEL, P.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. **Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: A comparative study**. International Journal of Remote Sensing, 26(1), 101–114. 2005

LUNETTA, R. S.; EDIRIWICKREMA, J.; JOHNSON, D. M.; LYON, J. G.; MCKERROW, A. **Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA**. Remote Sensing of Environment, 82, 258–270. 2002.

MATHER, Paul M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3^a. ed. England: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester., 2004.

MACEDO, Rodrigo de Campos. **Modelagem dinâmica espacial e valoração das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira**. p. 236, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3EPSPRS>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

MARIN, C.; BOVOLO, F.; BRUZZONE, L. **Building change detection in multitemporal very high resolution sar images**. 2015. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 53(5):2664–2682.

MÉGER, N.; RIGOTTI, C.; POTHIER, C.; NGUYEN, T.; LODGE, F.; GUEGUEN, L.; ANDÉOLI, R.; DOIN, M. P.; DACTU, M. **Ranking evolution maps for Satellite Image Time Series exploration: application to crustal deformation and environmental monitoring**, Data Mining and Knowledge Discovery, Springer, v. 33, n. 1, p. 131–167, 2019.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MOURA, F. R. **Detecção de Clusters Espaciais via Algoritmo Scan Multi-Objetivo**. 2006 51 p. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Departamento de Estatística da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG.

MYINT, Soe W.; GOBER, O.; BRAZEL, A.; GROSSMAN-CLARKE, S.; WENG, Q. **Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery**. Remote Sensing of Environment, v. 115, n. 5, p. 1145–1161, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.017>> Acesso em: 25 fev. 2019.

MORISSETTE, J. T.; KHORRAM, S. **Accuracy assessment curves for satellite-based change detection**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66, 875–880. 2000

NIEMEYER, I.; MARPU, P.R. **Change detection using object features**. 2008. In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G.J. (Eds.), *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 185–201.

PLANET LABS. **Planet Imagery Product**. p. 91, 2018. Disponível em: <https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_s creen.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2018.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p

RELATÓRIO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **Relatório Técnico Etapa 3** – 03/2019 – mês de março de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 76. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **Relatório Técnico Etapa 4** – 06/2019 – mês de abril a junho de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 29. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **13º relatório mensal** – 06/2019 – mês de junho de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 23. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **14º relatório mensal** – 07/2019 – mês de julho de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 28. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **15º relatório mensal** – 08/2019 – mês de agosto de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 24. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **16º relatório mensal** – 09/2019 – mês de setembro de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 30. 2019.

_____. PROGRAMA P&D – Foz Do Chapeco Energia **17º relatório mensal** – 10/2019 – mês de outubro de 2019 projeto cooperado PD-02949-0001/2018 Sistema Para Detecção Automatizada De Ocorrências Patrimoniais E Ambientais No Entorno De Reservatórios De Usinas Hidrelétrica: p. 24. 2019.

QUEGAN, S.; TOAN, T.L.; YU, J.J.; RIBBES, F.; FLOURY, N. **Multitemporal ERS-SAR analysis applied to forest mapping**. 2000. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38(2):741–753.

REICHE, J.; de BRUIN, S.; HOEKMAN, D.; VERBESSELT, J.; HEROLD, M. **A Bayesian approach to combine Landsat and ALOS PALSAR time series for near real-time deforestation detection**. Remote Sensing, 7, 4973–4996. 2015a. Disponível em: <<http://doi.org/10.3390/rs70504973>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

REICHE, Johannes.; VERBESSELT, J.; HAROLD, M. **Fusing Landsat and SAR time series to detect deforestation in the tropics**. Remote Sensing of Environment, v. 156, p. 276–293, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.001>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

REICHE, J.; VERBESSELT, J.; HOEKMAN, D.; HEROLD, M. **Fusing Landsat And Sar Time Series To Detect Deforestation In The Tropics**. Remote Sensing of Environment, 156, 276–293. 2015b. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.001>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

ROKNI, K.; AHMAD, A.; SOLAIMANI, K.; HAZINI, S. **A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques**. 2015. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 34:226 – 234.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. Proceedings... Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351).

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: MMA, 2018. 83 p. (Série Relatórios Técnicos - IFN). Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/inventario-florestal-nacional-ifn/resultados-ifn/3992-resultados-ifn-rs-2018/file>>. Acesso em: 11 de nov. de 2019

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Santa Catarina**. Brasília, DF. MMA, 2018. 106 p. (Série Relatórios Técnicos - IFN). Disponível em: <<http://www.orestal.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 11 de nov. de 2019.

SCHÄFFER, Wigold Bertoldo.; ROSA, Marcos Reis.; AQUINO, Luiz Carlos Servulo de.; MEDEIROS, João de Deus. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco**. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Série Biod ed. Brasília-DF: ISBN 978-85-7738-155-5, 2011.

SILVA, A. B. **Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Unicamp, 2003. 236 p

_____. **SatSCanTM user guide**. 2018. Disponível em: <https://www.SatSCan.org/cgi-bin/SatSCan/register.pl/SatSCan_Users_Guide.pdf?todo=process_userguide_download>. Acesso em: 31 de jul. de 2018.

SOUZA, C. Jr.; SIQUEIRA, J.; SALES, M.; FONSECA, A.; RIBEIRO, J.; NUMATA, I.; BARLOW, J. **Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon**. 2013. *Remote Sensing*, 5(11), 5493–5513. Disponível em: <<http://doi.org/10.3390/rs5115493>> Acesso em: 11 de mar. de 2019.

SU, X.; DELEDALLE, C.A.; TUPIN, F.; SUN, H. **Two-step multitemporal nonlocal means for synthetic aperture radar images**. 2014. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52(10):6181–6196.

VALENTI, Eduardo da Silva. **Modelo Cartográfico Digital Temático para Simulação e Previsão de Inundações no Município de Porto Alegre - Rs**. p. 140, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto – UFRGS. 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/dissert.rochelle_dos_santos.pdf> Acesso em: 13 de mar. de 2019.

VERBESSELT, J.; ZEILEIS, A.; HEROLD, M. **Near real-time disturbance detection using satellite image time series**. *Remote Sens.* 2012. *Environ.* 123, 98–108.

VINA, A.; ECHAVARRIA, R.; RUNDQUIST, F. **Satellite change detection analysis of deforestation rates and patterns along the Colombia-Ecuador border**. 2004. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33:118–125.

WULDER, M.A.; ORTLEPP, S.M.; WHITE, J.C.; COOPS, N.C.; COGGINS, S.B. **Monitoring tree-level insect population dynamics with multi-scale and multi-source remote sensing**. 2008. *Journal of Spatial Science* 53, 49–61.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001. 227 p.

ZHU, X.; LIU, D. **Accurate mapping of forest types using dense seasonal landsat time-series**. 2014. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 96:1 – 11.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R.; TOWNSHEND, J.R.G.; DIMICELIX, M.L.; CARROL, M.; EASTMAN, E. C.; HANSEN, M.C.; & DEFRIES, RBC -. **Detection of land cover changes using MODIS 250m Data**. *Remote Sensing of Environment. Revista Brasileira de Cartografia*, No 57/02, 2005. (ISSN 1808-0936) 102 R.S, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, November 2002.

APÊNDICE A – Conglomerados do período de julho a dezembro de 2017

Resultou em 99 conglomerados relativos ao período de julho a dezembro de 2017, sendo 34 conglomerados detectados no mês de agosto, 9 no mês de setembro, 14 no mês de outubro, 24 no mês de novembro e 18 no mês de dezembro. Os mesmos estão ordenados pela significância estatística do mais significativo para o menos até o limite de p valor $< 0,05$, sendo seu segundo fator de ordenamento o valor de RVG, iniciando do maior valor para o menor.

| Conglomerados do período de julho a dezembro de 2017 | | | | | | | | |
|--|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|-------|--------|-----------------|
| Cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | <i>p</i> -valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | *Esp. | | |
| 1 | 31/08/2017 | -27,2380 | -52,6543 | 0,616 | 338 | 108 | 155,17 | 1E-15 |
| 2 | 31/12/2017 | -27,1424 | -53,0605 | 0,590 | 137 | 32 | 93,90 | 1E-15 |
| 3 | 31/12/2017 | -27,1448 | -53,0375 | 0,481 | 135 | 34 | 85,11 | 1E-15 |
| 4 | 31/12/2017 | -27,2083 | -52,4443 | 0,744 | 162 | 57 | 63,69 | 1E-15 |
| 5 | 31/12/2017 | -27,1990 | -52,5200 | 0,729 | 56 | 9 | 54,24 | 1E-15 |
| 6 | 31/12/2017 | -27,2208 | -52,4290 | 0,746 | 169 | 68 | 53,10 | 1E-15 |
| 7 | 31/12/2017 | -27,2648 | -52,4728 | 0,575 | 77 | 18 | 52,60 | 1E-15 |
| 8 | 31/08/2017 | -27,1866 | -52,7675 | 0,715 | 96 | 28 | 48,14 | 1E-15 |
| 9 | 31/08/2017 | -27,2055 | -52,8427 | 0,748 | 106 | 35 | 45,43 | 1E-15 |
| 10 | 30/11/2017 | -27,2440 | -52,4380 | 0,728 | 47 | 8 | 43,96 | 1E-15 |
| 11 | 31/08/2017 | -27,3064 | -52,6687 | 0,724 | 114 | 41 | 42,46 | 1E-15 |
| 12 | 31/08/2017 | -27,1932 | -52,8804 | 0,733 | 120 | 46 | 40,22 | 1E-15 |
| 13 | 30/09/2017 | -27,2342 | -52,7159 | 0,733 | 68 | 18 | 40,15 | 1E-15 |
| 14 | 31/08/2017 | -27,2186 | -52,7977 | 0,725 | 96 | 33 | 38,91 | 1E-15 |
| 15 | 31/08/2017 | -27,1687 | -52,8473 | 0,748 | 92 | 31 | 38,38 | 1E-15 |
| 16 | 31/08/2017 | -27,2318 | -52,7512 | 0,168 | 60 | 16 | 34,82 | 1E-15 |
| 17 | 31/08/2017 | -27,2586 | -52,9480 | 0,447 | 94 | 35 | 33,81 | 2E-15 |
| 18 | 31/08/2017 | -27,1941 | -53,0250 | 0,620 | 82 | 28 | 33,77 | 2E-15 |
| 19 | 31/08/2017 | -27,1537 | -52,8359 | 0,716 | 96 | 36 | 33,73 | 2E-15 |
| 20 | 31/08/2017 | -27,2059 | -52,8707 | 0,338 | 64 | 18 | 33,62 | 2E-15 |
| 21 | 31/08/2017 | -27,2622 | -52,9654 | 0,744 | 106 | 42 | 33,56 | 3E-15 |
| 22 | 31/12/2017 | -27,2062 | -53,0337 | 0,732 | 87 | 31 | 32,55 | 9E-15 |
| 23 | 31/12/2017 | -27,2666 | -52,5339 | 0,365 | 59 | 17 | 31,46 | 3,6E-14 |
| 24 | 30/09/2017 | -27,2456 | -52,5768 | 0,624 | 48 | 12 | 29,68 | 3,5E-13 |
| 25 | 31/08/2017 | -27,2549 | -52,5552 | 0,271 | 96 | 39 | 28,83 | 1,04E-12 |
| 26 | 31/08/2017 | -27,2730 | -52,6306 | 0,250 | 76 | 27 | 28,42 | 1,75E-12 |
| 27 | 31/12/2017 | -27,2646 | -52,5140 | 0,634 | 43 | 10 | 26,88 | 1,24E-11 |
| 28 | 31/08/2017 | -27,2610 | -52,5895 | 0,730 | 94 | 40 | 25,74 | 5,31E-11 |
| 29 | 31/12/2017 | -27,2218 | -52,4474 | 0,733 | 57 | 19 | 23,28 | 1,21E-09 |
| 30 | 30/11/2017 | -27,2067 | -52,9178 | 0,672 | 16 | 1 | 23,21 | 1,32E-09 |
| 31 | 31/12/2017 | -27,1477 | -53,0476 | 0,607 | 76 | 31 | 23,04 | 1,64E-09 |
| 32 | 30/11/2017 | -27,2166 | -52,8420 | 0,714 | 22 | 3 | 22,93 | 1,88E-09 |
| 33 | 30/11/2017 | -27,2088 | -52,8235 | 0,295 | 18 | 2 | 22,17 | 4,96E-09 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|-----|-----|-------|----------|
| 34 | 30/09/2017 | -27,2313 | -52,5360 | 0,746 | 70 | 28 | 22,05 | 5,78E-09 |
| 35 | 31/12/2017 | -27,2554 | -52,5662 | 0,663 | 29 | 6 | 21,17 | 1,78E-08 |
| 36 | 31/08/2017 | -27,2004 | -52,7821 | 0,658 | 66 | 26 | 20,76 | 2,99E-08 |
| 37 | 31/08/2017 | -27,2129 | -53,0276 | 0,223 | 38 | 10 | 20,63 | 3,54E-08 |
| 38 | 31/10/2017 | -27,3093 | -52,7108 | 0,746 | 64 | 25 | 19,95 | 8,37E-08 |
| 39 | 31/12/2017 | -27,2400 | -52,5861 | 0,103 | 23 | 4 | 19,49 | 1,52E-07 |
| 40 | 30/11/2017 | -27,2557 | -52,6501 | 0,250 | 18 | 2 | 19,11 | 2,46E-07 |
| 41 | 30/09/2017 | -27,2508 | -52,9531 | 0,603 | 59 | 23 | 18,93 | 3,1E-07 |
| 42 | 30/09/2017 | -27,1681 | -52,8626 | 0,672 | 34 | 9 | 18,23 | 7,49E-07 |
| 43 | 31/08/2017 | -27,2368 | -52,9527 | 0,720 | 118 | 64 | 18,23 | 7,52E-07 |
| 44 | 30/11/2017 | -27,2269 | -52,9962 | 0,581 | 23 | 4 | 18,07 | 9,26E-07 |
| 45 | 31/08/2017 | -27,1820 | -52,8407 | 0,676 | 52 | 19 | 17,91 | 1,13E-06 |
| 46 | 31/08/2017 | -27,2184 | -52,8322 | 0,276 | 36 | 11 | 17,60 | 1,68E-06 |
| 47 | 31/12/2017 | -27,1891 | -52,9980 | 0,262 | 26 | 6 | 16,76 | 4,87E-06 |
| 48 | 30/11/2017 | -27,3215 | -52,7170 | 0,693 | 25 | 6 | 16,47 | 7,11E-06 |
| 49 | 30/11/2017 | -27,2283 | -52,9571 | 0,278 | 15 | 2 | 16,11 | 1,12E-05 |
| 50 | 31/08/2017 | -27,1695 | -52,8822 | 0,288 | 42 | 15 | 15,88 | 1,5E-05 |
| 51 | 30/11/2017 | -27,1881 | -53,0171 | 0,382 | 19 | 3 | 15,80 | 1,67E-05 |
| 52 | 31/08/2017 | -27,2676 | -52,7397 | 0,191 | 32 | 9 | 15,64 | 2,03E-05 |
| 53 | 31/10/2017 | -27,2705 | -52,7046 | 0,741 | 50 | 20 | 15,61 | 2,11E-05 |
| 54 | 31/10/2017 | -27,2530 | -52,4769 | 0,737 | 111 | 62 | 15,43 | 2,67E-05 |
| 55 | 30/11/2017 | -27,2256 | -52,9763 | 0,727 | 24 | 5 | 15,35 | 2,93E-05 |
| 56 | 30/09/2017 | -27,2370 | -52,5481 | 0,592 | 65 | 29 | 15,35 | 2,94E-05 |
| 57 | 30/11/2017 | -27,2509 | -52,6749 | 0,157 | 16 | 2 | 14,93 | 5,05E-05 |
| 58 | 31/12/2017 | -27,1355 | -53,0375 | 0,232 | 20 | 4 | 14,72 | 6,57E-05 |
| 59 | 30/11/2017 | -27,2864 | -52,6915 | 0,743 | 38 | 13 | 14,39 | 0,0001 |
| 60 | 30/11/2017 | -27,2041 | -52,9394 | 0,703 | 24 | 6 | 14,25 | 0,0001 |
| 61 | 31/12/2017 | -27,1684 | -52,9569 | 0,100 | 21 | 4 | 14,21 | 0,0001 |
| 62 | 30/11/2017 | -27,3242 | -52,7433 | 0,272 | 15 | 2 | 13,63 | 0,0003 |
| 63 | 31/10/2017 | -27,2187 | -52,5335 | 0,747 | 35 | 12 | 13,38 | 0,0004 |
| 64 | 31/12/2017 | -27,2414 | -52,4801 | 0,412 | 32 | 10 | 13,33 | 0,0004 |
| *65 | 31/10/2017 | -27,1354 | -52,9918 | 0,731 | 36 | 13 | 13,29 | 0,0004 |
| 66 | 31/10/2017 | -27,2339 | -52,7583 | 0,538 | 57 | 26 | 13,24 | 0,0004 |
| 67 | 31/08/2017 | -27,1852 | -52,9345 | 0,334 | 28 | 8 | 13,14 | 0,0005 |
| 68 | 30/11/2017 | -27,2583 | -52,4407 | 0,548 | 13 | 2 | 12,87 | 0,0007 |
| 69 | 31/08/2017 | -27,1979 | -52,9129 | 0,732 | 24 | 7 | 11,73 | 0,0030 |
| 70 | 31/08/2017 | -27,2077 | -52,9307 | 0,216 | 18 | 4 | 11,71 | 0,0030 |
| 71 | 31/10/2017 | -27,2144 | -52,9892 | 0,715 | 39 | 16 | 11,68 | 0,0032 |
| 72 | 31/10/2017 | -27,2076 | -52,7919 | 0,517 | 32 | 11 | 11,45 | 0,0042 |
| 73 | 30/11/2017 | -27,2056 | -52,9934 | 0,117 | 9 | 1 | 11,44 | 0,0043 |
| 74 | 31/10/2017 | -27,1803 | -52,9855 | 0,735 | 105 | 63 | 11,38 | 0,0046 |
| 75 | 31/10/2017 | -27,3009 | -52,6951 | 0,668 | 46 | 20 | 11,35 | 0,0048 |
| 76 | 31/10/2017 | -27,1471 | -52,9744 | 0,749 | 77 | 42 | 11,29 | 0,0052 |
| 77 | 30/09/2017 | -27,1703 | -52,9928 | 0,370 | 16 | 3 | 11,08 | 0,0067 |
| 78 | 31/12/2017 | -27,2748 | -52,4798 | 0,541 | 34 | 13 | 11,07 | 0,0068 |
| 79 | 31/08/2017 | -27,2031 | -52,9640 | 0,101 | 18 | 4 | 10,98 | 0,0077 |
| 80 | 31/08/2017 | -27,2473 | -52,9403 | 0,172 | 18 | 4 | 10,98 | 0,0077 |
| 81 | 30/11/2017 | -27,1808 | -52,9338 | 0,090 | 8 | 0,5 | 10,76 | 0,011 |
| 82 | 30/11/2017 | -27,3338 | -52,7361 | 0,151 | 12 | 2 | 10,64 | 0,015 |
| 83 | 31/08/2017 | -27,1973 | -52,8117 | 0,407 | 38 | 16 | 10,61 | 0,015 |
| 84 | 31/08/2017 | -27,1589 | -52,9450 | 0,672 | 38 | 16 | 10,61 | 0,015 |
| 85 | 30/11/2017 | -27,1797 | -52,8676 | 0,469 | 19 | 5 | 10,53 | 0,015 |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------|----------|-------|-----|----|-------|-------|
| 86 | 30/11/2017 | -27,2046 | -53,0227 | 0,394 | 14 | 3 | 10,44 | 0,018 |
| 87 | 30/11/2017 | -27,1286 | -53,0344 | 0,583 | 104 | 64 | 10,33 | 0,018 |
| 88 | 30/11/2017 | -27,2421 | -52,6430 | 0,230 | 11 | 1 | 10,23 | 0,021 |
| 89 | 31/08/2017 | -27,1903 | -52,9641 | 0,498 | 24 | 8 | 10,18 | 0,022 |
| 90 | 31/10/2017 | -27,2629 | -52,6129 | 0,472 | 29 | 11 | 10,09 | 0,026 |
| 91 | 30/11/2017 | -27,2148 | -53,0001 | 0,750 | 37 | 15 | 10,06 | 0,028 |
| 92 | 30/09/2017 | -27,2768 | -52,6762 | 0,713 | 41 | 18 | 10,05 | 0,028 |
| 93 | 30/09/2017 | -27,2398 | -52,5963 | 0,377 | 39 | 17 | 9,87 | 0,031 |
| 94 | 31/08/2017 | -27,1483 | -52,8427 | 0,160 | 34 | 14 | 9,85 | 0,031 |
| 95 | 30/11/2017 | -27,2375 | -52,7650 | 0,454 | 12 | 2 | 9,83 | 0,031 |
| 96 | 31/08/2017 | -27,2483 | -52,5386 | 0,099 | 20 | 6 | 9,77 | 0,034 |
| 97 | 31/08/2017 | -27,2167 | -52,9214 | 0,432 | 26 | 9 | 9,56 | 0,045 |
| 98 | 31/10/2017 | -27,1693 | -52,9331 | 0,157 | 23 | 7 | 9,54 | 0,049 |
| 99 | 31/10/2017 | -27,2119 | -52,9646 | 0,747 | 71 | 40 | 9,53 | 0,049 |

***obs. = observado**

****esp. = esperado**

APÊNDICE B – Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018

Resultou em 154 conglomerados relativos ao período de fevereiro a dezembro de 2018, sendo 10 conglomerados detectados no mês de fevereiro, 8 no mês de março, 6 no mês de abril, 16 no mês de maio, 12 no mês de junho, 22 no mês de julho, 13 no mês de agosto, 9 no mês de setembro, 12 no mês de outubro, 19 no mês de novembro e 27 no mês de dezembro. Os mesmos estão ordenados pela significância estatística do mais significativo para o menos até o limite de p valor < 0,05, sendo seu segundo fator de ordenamento o valor de RVG, iniciando do maior valor para o menor.

| Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018 | | | | | | | | |
|--|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|--------|---------|
| Cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | p-valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *obs. | **esp. | | |
| 1 | 31/12/2018 | -27,1376 | -53,0352 | 0,748 | 373 | 95,95 | 230,43 | 1E-15 |
| 2 | 31/07/2018 | -27,1672 | -52,8611 | 0,749 | 219 | 43,36 | 179,45 | 1E-15 |
| 3 | 30/06/2018 | -27,2383 | -52,6544 | 0,545 | 96 | 12,22 | 114,20 | 1E-15 |
| 4 | 31/07/2018 | -27,2453 | -52,5787 | 0,479 | 92 | 13,52 | 98,03 | 1E-15 |
| 5 | 31/07/2018 | -27,2359 | -52,5943 | 0,750 | 155 | 41,19 | 91,76 | 1E-15 |
| 6 | 31/12/2018 | -27,2077 | -52,8194 | 0,722 | 87 | 14,06 | 85,67 | 1E-15 |
| 7 | 31/05/2018 | -27,1719 | -52,8433 | 0,663 | 104 | 20,82 | 84,18 | 1E-15 |
| 8 | 31/12/2018 | -27,2500 | -52,5894 | 0,750 | 137 | 35,53 | 83,58 | 1E-15 |
| 9 | 31/12/2018 | -27,2108 | -52,7721 | 0,541 | 99 | 19,38 | 81,93 | 1E-15 |
| 10 | 31/07/2018 | -27,2352 | -52,5320 | 0,409 | 71 | 9,82 | 79,33 | 1E-15 |
| 11 | 31/07/2018 | -27,2768 | -52,6762 | 0,274 | 103 | 22,45 | 76,46 | 1E-15 |
| 12 | 31/12/2018 | -27,1509 | -53,0359 | 0,717 | 160 | 51,36 | 73,33 | 1E-15 |
| 13 | 31/07/2018 | -27,2295 | -52,4757 | 0,722 | 101 | 23,59 | 69,54 | 1E-15 |
| 14 | 31/12/2018 | -27,1429 | -53,0613 | 0,401 | 138 | 42,09 | 68,08 | 1E-15 |
| 15 | 30/06/2018 | -27,2978 | -52,6940 | 0,635 | 63 | 9,21 | 67,41 | 1E-15 |
| 16 | 31/05/2018 | -27,2451 | -52,9516 | 0,748 | 156 | 54,48 | 62,74 | 1E-15 |
| 17 | 30/04/2018 | -27,1863 | -52,7675 | 0,708 | 54 | 7,70 | 58,91 | 1E-15 |
| 18 | 30/09/2018 | -27,2321 | -52,9569 | 0,698 | 239 | 112,36 | 53,96 | 1E-15 |
| 19 | 31/05/2018 | -27,1929 | -52,8805 | 0,710 | 112 | 35,83 | 51,57 | 1E-15 |
| 20 | 30/04/2018 | -27,2338 | -52,7157 | 0,402 | 37 | 3,79 | 51,13 | 1E-15 |
| 21 | 28/02/2018 | -27,2443 | -52,4381 | 0,739 | 49 | 7,77 | 49,05 | 1E-15 |
| 22 | 31/12/2018 | -27,2281 | -52,4574 | 0,596 | 60 | 12,29 | 47,44 | 1E-15 |
| 23 | 31/08/2018 | -27,2094 | -52,8374 | 0,450 | 130 | 48,69 | 46,45 | 1E-15 |
| 24 | 31/08/2018 | -27,2002 | -52,9242 | 0,655 | 156 | 65,02 | 45,65 | 1E-15 |
| 25 | 30/06/2018 | -27,2486 | -52,9392 | 0,435 | 31 | 2,91 | 45,25 | 1E-15 |
| 26 | 31/03/2018 | -27,2680 | -52,5362 | 0,532 | 154 | 64,83 | 44,18 | 1E-15 |
| 27 | 31/05/2018 | -27,1976 | -52,7823 | 0,386 | 85 | 25,50 | 42,89 | 1E-15 |
| 28 | 28/02/2018 | -27,2413 | -52,7188 | 0,651 | 44 | 7,45 | 41,61 | 1E-15 |
| 29 | 31/08/2018 | -27,1606 | -52,9544 | 0,609 | 143 | 59,80 | 41,57 | 1E-15 |
| 30 | 30/06/2018 | -27,2681 | -52,7395 | 0,267 | 45 | 7,95 | 40,96 | 1E-15 |
| 31 | 30/06/2018 | -27,2147 | -52,4389 | 0,158 | 44 | 7,61 | 40,83 | 1E-15 |
| 32 | 28/02/2018 | -27,2312 | -52,4319 | 0,681 | 44 | 7,63 | 40,74 | 1E-15 |
| 33 | 31/12/2018 | -27,3002 | -52,6770 | 0,377 | 75 | 21,46 | 40,34 | 2E-15 |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------|----------|-------|-----|--------|-------|----------|
| 34 | 31/05/2018 | -27,1638 | -52,9415 | 0,746 | 90 | 29,61 | 39,72 | 4E-15 |
| 35 | 31/05/2018 | -27,2146 | -52,7950 | 0,701 | 77 | 23,69 | 37,50 | 4,5E-14 |
| 36 | 28/02/2018 | -27,2386 | -52,4793 | 0,274 | 30 | 3,61 | 37,13 | 6,8E-14 |
| 37 | 30/09/2018 | -27,2062 | -53,0384 | 0,617 | 116 | 46,89 | 36,02 | 2,32E-13 |
| 38 | 31/07/2018 | -27,2330 | -52,7267 | 0,639 | 68 | 19,91 | 35,47 | 4,29E-13 |
| 39 | 30/06/2018 | -27,2538 | -52,7546 | 0,664 | 123 | 51,67 | 35,41 | 4,57E-13 |
| 40 | 30/06/2018 | -27,1990 | -52,8051 | 0,741 | 94 | 34,20 | 35,30 | 5,2E-13 |
| 41 | 30/09/2018 | -27,1899 | -53,0164 | 0,737 | 122 | 52,17 | 33,88 | 2,52E-12 |
| 42 | 30/11/2018 | -27,2624 | -52,4816 | 0,732 | 128 | 56,02 | 33,86 | 2,58E-12 |
| 43 | 28/02/2018 | -27,2455 | -52,5398 | 0,749 | 46 | 10,11 | 33,81 | 2,72E-12 |
| 44 | 31/08/2018 | -27,2021 | -52,7935 | 0,473 | 95 | 36,27 | 32,79 | 8,45E-12 |
| 45 | 31/12/2018 | -27,2593 | -52,6004 | 0,748 | 109 | 44,86 | 32,68 | 9,55E-12 |
| 46 | 31/12/2018 | -27,2633 | -52,6750 | 0,724 | 173 | 87,34 | 32,68 | 9,57E-12 |
| 47 | 31/08/2018 | -27,1691 | -52,9899 | 0,602 | 43 | 9,35 | 31,98 | 2,08E-11 |
| 48 | 30/04/2018 | -27,2319 | -52,7520 | 0,200 | 40 | 8,12 | 31,90 | 2,27E-11 |
| 49 | 31/08/2018 | -27,1535 | -52,8361 | 0,738 | 186 | 97,37 | 31,86 | 2,39E-11 |
| 50 | 31/05/2018 | -27,2227 | -52,9492 | 0,636 | 85 | 31,09 | 31,62 | 3,10E-11 |
| 51 | 31/03/2018 | -27,1600 | -52,9796 | 0,743 | 98 | 39,65 | 30,37 | 1,26E-10 |
| 52 | 31/12/2018 | -27,1473 | -53,0475 | 0,373 | 84 | 31,43 | 30,05 | 1,79E-10 |
| 53 | 31/12/2018 | -27,2088 | -52,7866 | 0,572 | 37 | 7,61 | 29,15 | 4,85E-10 |
| 54 | 31/08/2018 | -27,2716 | -52,6339 | 0,175 | 33 | 6,03 | 29,13 | 5,00E-10 |
| 55 | 30/11/2018 | -27,2169 | -52,9214 | 0,749 | 121 | 55,70 | 28,63 | 8,72E-10 |
| 56 | 31/12/2018 | -27,2499 | -52,6477 | 0,675 | 43 | 10,52 | 28,07 | 1,62E-09 |
| 57 | 31/12/2018 | -27,3060 | -52,7102 | 0,290 | 31 | 5,73 | 27,08 | 4,90E-09 |
| 58 | 30/11/2018 | -27,1805 | -52,9859 | 0,742 | 212 | 122,31 | 27,02 | 5,20E-09 |
| 59 | 31/05/2018 | -27,2668 | -52,9591 | 0,613 | 62 | 21,02 | 26,10 | 1,45E-08 |
| 60 | 31/07/2018 | -27,2109 | -52,4439 | 0,374 | 50 | 14,79 | 25,70 | 2,27E-08 |
| 61 | 31/12/2018 | -27,2022 | -52,7601 | 0,094 | 23 | 3,23 | 25,39 | 3,21E-08 |
| 62 | 31/07/2018 | -27,2334 | -52,5423 | 0,311 | 33 | 7,01 | 25,13 | 4,30E-08 |
| 63 | 30/11/2018 | -27,2331 | -52,9857 | 0,746 | 215 | 127,95 | 24,64 | 7,40E-08 |
| 64 | 31/10/2018 | -27,3069 | -52,6673 | 0,729 | 82 | 34,06 | 24,14 | 1,29E-07 |
| 65 | 31/03/2018 | -27,2207 | -52,4287 | 0,202 | 37 | 9,07 | 24,11 | 1,33E-07 |
| 66 | 31/12/2018 | -27,2587 | -52,7395 | 0,705 | 87 | 37,28 | 24,04 | 1,43E-07 |
| 67 | 31/07/2018 | -27,2357 | -52,6657 | 0,482 | 33 | 7,40 | 23,75 | 1,98E-07 |
| 68 | 30/11/2018 | -27,2679 | -52,6253 | 0,650 | 38 | 9,68 | 23,66 | 2,20E-07 |
| 69 | 31/05/2018 | -27,1841 | -52,8390 | 0,567 | 41 | 11,15 | 23,54 | 2,50E-07 |
| 70 | 31/10/2018 | -27,2532 | -52,5737 | 0,681 | 44 | 12,64 | 23,52 | 2,56E-07 |
| 71 | 31/10/2018 | -27,1748 | -52,8586 | 0,576 | 73 | 29,23 | 23,07 | 4,22E-07 |
| 72 | 31/05/2018 | -27,2180 | -52,8322 | 0,102 | 24 | 4,05 | 22,78 | 5,87E-07 |
| 73 | 30/09/2018 | -27,2805 | -52,6957 | 0,335 | 128 | 66,34 | 22,52 | 7,81E-07 |
| 74 | 31/03/2018 | -27,2746 | -52,4774 | 0,736 | 63 | 23,81 | 22,13 | 1,20E-06 |
| 75 | 31/03/2018 | -27,2531 | -52,5592 | 0,389 | 76 | 31,80 | 22,04 | 1,34E-06 |
| 76 | 31/07/2018 | -27,2194 | -52,5455 | 0,622 | 27 | 5,43 | 21,73 | 1,89E-06 |
| 77 | 31/05/2018 | -27,2017 | -52,8432 | 0,460 | 37 | 9,97 | 21,50 | 2,42E-06 |
| 78 | 30/09/2018 | -27,2013 | -52,9622 | 0,568 | 66 | 26,14 | 21,29 | 3,09E-06 |
| 79 | 28/02/2018 | -27,2580 | -52,5349 | 0,456 | 26 | 5,19 | 21,08 | 3,87E-06 |
| 80 | 31/08/2018 | -27,1329 | -53,0067 | 0,736 | 38 | 10,68 | 20,92 | 4,66E-06 |
| 81 | 30/11/2018 | -27,2229 | -52,9661 | 0,661 | 86 | 39,25 | 20,74 | 5,65E-06 |
| 82 | 31/05/2018 | -27,2058 | -52,8712 | 0,193 | 23 | 4,15 | 20,56 | 6,91E-06 |
| 83 | 30/09/2018 | -27,1994 | -52,9983 | 0,744 | 107 | 53,78 | 20,42 | 8,08E-06 |
| 84 | 31/07/2018 | -27,2327 | -52,5803 | 0,169 | 21 | 3,44 | 20,42 | 8,12E-06 |
| 85 | 31/07/2018 | -27,2077 | -52,5244 | 0,555 | 19 | 2,81 | 20,12 | 1,13E-05 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|-----|--------|-------|----------|
| 86 | 31/10/2018 | -27,1522 | -52,9914 | 0,651 | 28 | 6,32 | 20,00 | 1,30E-05 |
| 87 | 31/12/2018 | -27,3169 | -52,7107 | 0,644 | 62 | 24,59 | 19,95 | 1,36E-05 |
| 88 | 31/12/2018 | -27,3202 | -52,7398 | 0,738 | 78 | 34,68 | 19,93 | 1,39E-05 |
| 89 | 30/11/2018 | -27,1785 | -52,9384 | 0,747 | 63 | 25,32 | 19,76 | 1,69E-05 |
| 90 | 30/04/2018 | -27,1906 | -53,0288 | 0,198 | 12 | 0,93 | 19,60 | 2,01E-05 |
| 91 | 31/12/2018 | -27,1914 | -52,7806 | 0,598 | 36 | 10,21 | 19,59 | 2,05E-05 |
| 92 | 28/02/2018 | -27,2573 | -52,4407 | 0,717 | 23 | 4,51 | 18,97 | 4,08E-05 |
| 93 | 31/05/2018 | -27,2576 | -52,9460 | 0,286 | 69 | 29,84 | 18,70 | 5,52E-05 |
| 94 | 31/10/2018 | -27,2167 | -52,9865 | 0,696 | 75 | 33,72 | 18,69 | 5,53E-05 |
| 95 | 31/07/2018 | -27,2606 | -52,5245 | 0,141 | 20 | 3,44 | 18,63 | 5,92E-05 |
| 96 | 30/11/2018 | -27,2788 | -52,5344 | 0,634 | 56 | 21,84 | 18,59 | 6,22E-05 |
| 97 | 31/10/2018 | -27,1408 | -52,9741 | 0,642 | 103 | 52,99 | 18,48 | 7,05E-05 |
| 98 | 31/07/2018 | -27,2201 | -52,4541 | 0,235 | 23 | 4,68 | 18,29 | 8,68E-05 |
| 99 | 31/07/2018 | -27,1492 | -52,9728 | 0,164 | 30 | 7,87 | 18,02 | 0,0001 |
| 100 | 30/09/2018 | -27,2442 | -52,7305 | 0,310 | 35 | 10,43 | 17,80 | 0,0001 |
| 101 | 28/02/2018 | -27,2019 | -53,0234 | 0,251 | 19 | 3,25 | 17,80 | 0,0001 |
| 102 | 30/06/2018 | -27,2761 | -52,7019 | 0,145 | 13 | 1,35 | 17,76 | 0,0002 |
| 103 | 31/05/2018 | -27,3192 | -52,7235 | 0,205 | 15 | 1,96 | 17,48 | 0,0002 |
| 104 | 31/03/2018 | -27,3352 | -52,7356 | 0,319 | 58 | 23,82 | 17,45 | 0,0002 |
| 105 | 31/12/2018 | -27,1690 | -52,9333 | 0,135 | 25 | 5,85 | 17,16 | 0,0003 |
| 106 | 31/05/2018 | -27,1918 | -52,9340 | 0,462 | 31 | 8,68 | 17,14 | 0,0003 |
| 107 | 31/08/2018 | -27,2056 | -52,4480 | 0,342 | 39 | 12,87 | 17,12 | 0,0003 |
| 108 | 31/08/2018 | -27,3166 | -52,7302 | 0,244 | 66 | 29,19 | 17,06 | 0,0003 |
| 109 | 31/12/2018 | -27,2721 | -52,6828 | 0,540 | 48 | 18,02 | 17,05 | 0,0003 |
| 110 | 31/03/2018 | -27,1140 | -52,9587 | 0,080 | 23 | 5,14 | 16,60 | 0,0006 |
| 111 | 30/04/2018 | -27,2369 | -52,5495 | 0,487 | 79 | 38,27 | 16,55 | 0,0006 |
| 112 | 31/12/2018 | -27,2148 | -53,0003 | 0,739 | 36 | 11,56 | 16,45 | 0,0007 |
| 113 | 31/07/2018 | -27,2137 | -52,4305 | 0,080 | 18 | 3,19 | 16,35 | 0,0008 |
| 114 | 30/11/2018 | -27,1536 | -53,0109 | 0,646 | 59 | 25,32 | 16,25 | 0,0008 |
| 115 | 30/06/2018 | -27,1977 | -52,7580 | 0,253 | 13 | 1,56 | 16,15 | 0,0009 |
| 116 | 30/11/2018 | -27,1433 | -53,0040 | 0,660 | 77 | 37,30 | 16,13 | 0,0010 |
| 117 | 30/04/2018 | -27,2126 | -53,0306 | 0,479 | 58 | 24,79 | 16,10 | 0,0010 |
| 118 | 31/10/2018 | -27,2569 | -52,9658 | 0,702 | 127 | 73,38 | 16,09 | 0,0010 |
| 119 | 30/06/2018 | -27,2563 | -52,6724 | 0,148 | 18 | 3,25 | 16,07 | 0,0010 |
| 120 | 30/11/2018 | -27,1222 | -52,9628 | 0,747 | 274 | 190,84 | 16,04 | 0,0011 |
| 121 | 31/10/2018 | -27,2249 | -52,9964 | 0,436 | 43 | 15,70 | 16,03 | 0,0011 |
| 122 | 30/11/2018 | -27,2639 | -52,4706 | 0,166 | 18 | 3,26 | 16,00 | 0,0011 |
| 123 | 30/06/2018 | -27,1610 | -52,8501 | 0,118 | 16 | 2,54 | 16,00 | 0,0011 |
| 124 | 30/11/2018 | -27,2071 | -52,9352 | 0,744 | 86 | 43,68 | 15,97 | 0,0011 |
| 125 | 31/07/2018 | -27,2817 | -52,6811 | 0,216 | 39 | 13,47 | 15,94 | 0,0012 |
| 126 | 30/11/2018 | -27,1862 | -52,5226 | 0,349 | 43 | 15,76 | 15,94 | 0,0012 |
| 127 | 31/07/2018 | -27,2946 | -52,6832 | 0,320 | 37 | 12,37 | 15,92 | 0,0012 |
| 128 | 31/03/2018 | -27,2625 | -52,5863 | 0,742 | 59 | 25,58 | 15,90 | 0,0012 |
| 129 | 28/02/2018 | -27,2025 | -52,5192 | 0,213 | 12 | 1,31 | 15,90 | 0,0012 |
| 130 | 31/12/2018 | -27,2166 | -52,8421 | 0,706 | 36 | 11,92 | 15,72 | 0,0015 |
| 131 | 31/07/2018 | -27,2573 | -52,5560 | 0,182 | 22 | 4,97 | 15,72 | 0,0015 |
| 132 | 30/06/2018 | -27,2508 | -52,7013 | 0,116 | 13 | 1,62 | 15,67 | 0,0016 |
| 133 | 31/08/2018 | -27,2049 | -52,7809 | 0,384 | 22 | 5,03 | 15,51 | 0,0019 |
| 134 | 31/08/2018 | -27,1148 | -52,9546 | 0,325 | 21 | 4,62 | 15,41 | 0,0021 |
| 135 | 31/07/2018 | -27,2619 | -52,4971 | 0,744 | 48 | 19,26 | 15,11 | 0,0030 |
| 136 | 30/11/2018 | -27,2506 | -52,4826 | 0,442 | 19 | 3,94 | 14,84 | 0,0040 |
| 137 | 31/12/2018 | -27,2197 | -52,4473 | 0,643 | 46 | 18,23 | 14,81 | 0,0041 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|----|-------|-------|--------|
| 138 | 31/05/2018 | -27,3371 | -52,7274 | 0,208 | 32 | 10,20 | 14,79 | 0,0042 |
| 139 | 30/09/2018 | -27,1750 | -52,8790 | 0,381 | 42 | 15,90 | 14,71 | 0,0046 |
| 140 | 30/11/2018 | -27,2012 | -52,8998 | 0,739 | 38 | 13,61 | 14,64 | 0,0050 |
| 141 | 30/11/2018 | -27,1722 | -52,9590 | 0,748 | 43 | 16,54 | 14,62 | 0,0051 |
| 142 | 30/09/2018 | -27,2890 | -52,6872 | 0,337 | 34 | 11,37 | 14,62 | 0,0052 |
| 143 | 31/07/2018 | -27,2480 | -52,5651 | 0,292 | 13 | 1,79 | 14,60 | 0,0053 |
| 144 | 31/10/2018 | -27,2053 | -52,7668 | 0,656 | 41 | 15,50 | 14,39 | 0,0066 |
| 145 | 31/12/2018 | -27,2570 | -52,7085 | 0,614 | 31 | 9,90 | 14,30 | 0,0074 |
| 146 | 30/11/2018 | -27,2148 | -52,5338 | 0,646 | 43 | 16,77 | 14,26 | 0,0077 |
| 147 | 31/12/2018 | -27,2627 | -52,7580 | 0,049 | 11 | 1,25 | 14,17 | 0,0085 |
| 148 | 31/10/2018 | -27,2020 | -52,9724 | 0,745 | 41 | 15,74 | 14,00 | 0,0100 |
| 149 | 30/11/2018 | -27,1625 | -53,0320 | 0,736 | 96 | 53,78 | 13,43 | 0,0170 |
| 150 | 31/08/2018 | -27,1232 | -52,9840 | 0,740 | 27 | 8,24 | 13,28 | 0,0240 |
| 151 | 28/02/2018 | -27,2474 | -52,7650 | 0,442 | 9 | 0,86 | 13,01 | 0,0340 |
| 152 | 31/12/2018 | -27,3233 | -52,7195 | 0,404 | 72 | 37,02 | 12,93 | 0,0360 |
| 153 | 31/10/2018 | -27,1513 | -52,9776 | 0,279 | 16 | 3,26 | 12,70 | 0,0410 |
| 154 | 31/10/2018 | -27,1382 | -52,9599 | 0,635 | 80 | 43,04 | 12,65 | 0,0420 |

***obs. = observado**

****esp. = esperado**

APÊNDICE C – Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019

Resultou em 113 conglomerados relativos ao período de janeiro a maio de 2019, sendo 22 conglomerados detectados no mês de janeiro, 29 no mês de fevereiro, 16 no mês de março, 8 no mês de abril e 38 no mês de maio. Os mesmos estão ordenados pela significância estatística do mais significativo para o menos até o limite de p valor $< 0,05$, sendo seu segundo fator de ordenamento o valor de RVG, iniciando do maior valor para o menor.

| Conglomerados do período de janeiro a maio de 2019 | | | | | | | | |
|--|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|-------|------------|
| Cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | p -valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | **Esp. | | |
| 1 | 31/05/2019 | -27,2334 | -52,7191 | 0,723 | 86 | 21,37 | 55,20 | 1E-15 |
| 2 | 31/01/2019 | -27,1887 | -52,9345 | 0,700 | 96 | 26,12 | 55,16 | 1E-15 |
| 3 | 28/02/2019 | -27,1646 | -52,9798 | 0,746 | 305 | 157,93 | 54,06 | 1E-15 |
| 4 | 31/05/2019 | -27,2565 | -52,7508 | 0,651 | 108 | 35,45 | 47,85 | 1E-15 |
| 5 | 31/05/2019 | -27,1875 | -52,7676 | 0,743 | 108 | 37,83 | 43,22 | 1E-15 |
| 6 | 31/01/2019 | -27,1870 | -52,9974 | 0,641 | 87 | 26,72 | 42,48 | 1E-15 |
| 7 | 31/05/2019 | -27,1687 | -52,8670 | 0,745 | 106 | 37,26 | 42,17 | 1E-15 |
| 8 | 31/03/2019 | -27,2453 | -52,4786 | 0,736 | 193 | 94,75 | 39,23 | 1E-15 |
| 9 | 31/03/2019 | -27,2654 | -52,4756 | 0,585 | 181 | 88,45 | 37,21 | 1E-15 |
| 10 | 28/02/2019 | -27,1409 | -53,0355 | 0,717 | 379 | 237,90 | 35,76 | 1E-15 |
| 11 | 31/05/2019 | -27,2606 | -52,5896 | 0,734 | 117 | 48,28 | 34,94 | 1E-15 |
| 12 | 31/05/2019 | -27,2068 | -52,7954 | 0,742 | 138 | 63,44 | 32,79 | 1E-15 |
| 13 | 28/02/2019 | -27,1196 | -52,9618 | 0,712 | 221 | 121,76 | 32,68 | 1E-15 |
| 14 | 31/03/2019 | -27,2491 | -52,5382 | 0,747 | 134 | 61,42 | 32,05 | 3E-15 |
| 15 | 31/01/2019 | -27,1846 | -52,9631 | 0,740 | 85 | 31,68 | 30,63 | 2,2E-14 |
| 16 | 31/05/2019 | -27,2478 | -52,5701 | 0,747 | 41 | 9,18 | 29,56 | 9,3E-14 |
| 17 | 31/03/2019 | -27,2271 | -52,5364 | 0,722 | 157 | 79,53 | 29,42 | 1,12E-13 |
| 18 | 31/05/2019 | -27,1916 | -53,0131 | 0,389 | 77 | 27,86 | 29,19 | 1,53E-13 |
| 19 | 31/05/2019 | -27,2090 | -52,8347 | 0,685 | 104 | 44,31 | 29,11 | 1,7E-13 |
| 20 | 31/05/2019 | -27,1705 | -52,9925 | 0,693 | 69 | 23,43 | 29,00 | 1,96E-13 |
| 21 | 31/05/2019 | -27,2418 | -52,5866 | 0,497 | 69 | 25,01 | 26,07 | 1,04E-11 |
| 22 | 31/01/2019 | -27,2067 | -53,0242 | 0,695 | 75 | 28,97 | 25,34 | 2,79E-11 |
| 23 | 31/01/2019 | -27,2013 | -52,9977 | 0,695 | 53 | 16,96 | 24,37 | 1,05E-10 |
| 24 | 31/01/2019 | -27,2321 | -52,4324 | 0,731 | 44 | 12,46 | 23,99 | 1,75E-10 |
| 25 | 31/05/2019 | -27,1607 | -52,9547 | 0,493 | 43 | 12,03 | 23,82 | 2,2E-10 |
| 26 | 28/02/2019 | -27,3155 | -52,7171 | 0,686 | 75 | 30,21 | 23,45 | 3,66E-10 |
| 27 | 31/03/2019 | -27,2189 | -52,4296 | 0,743 | 189 | 110,24 | 23,24 | 4,83E-10 |
| 28 | 31/03/2019 | -27,2388 | -52,6530 | 0,385 | 111 | 54,07 | 22,97 | 7,02E-10 |
| 29 | 31/03/2019 | -27,1462 | -53,0591 | 0,695 | 222 | 135,96 | 22,95 | 7,22E-10 |
| 30 | 31/03/2019 | -27,2717 | -52,5395 | 0,451 | 113 | 55,64 | 22,75 | 9,35E-10 |
| 31 | 28/02/2019 | -27,1403 | -53,0498 | 0,305 | 70 | 28,45 | 21,51 | 5,05E-09 |
| 32 | 28/02/2019 | -27,1297 | -53,0351 | 0,290 | 128 | 67,91 | 21,10 | 8,77E-09 |
| 33 | 31/01/2019 | -27,2639 | -52,5336 | 0,197 | 24 | 4,50 | 20,67 | 1,59E-08 |
| 34 | 31/01/2019 | -27,1973 | -53,0134 | 0,564 | 38 | 10,81 | 20,60 | 1,74E-08 |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------|----------|-------|-----|--------|-------|----------|
| 35 | 31/05/2019 | -27,1949 | -53,0306 | 0,729 | 126 | 67,13 | 20,53 | 1,92E-08 |
| 36 | 31/03/2019 | -27,2149 | -52,4448 | 0,745 | 165 | 96,59 | 20,03 | 3,77E-08 |
| 37 | 31/05/2019 | -27,2332 | -52,7527 | 0,089 | 21 | 3,64 | 19,45 | 8,29E-08 |
| 38 | 31/05/2019 | -27,2051 | -52,7775 | 0,392 | 51 | 18,46 | 19,30 | 1,01E-07 |
| 39 | 28/02/2019 | -27,2110 | -52,7757 | 0,619 | 65 | 27,33 | 18,68 | 2,35E-07 |
| 40 | 31/05/2019 | -27,1335 | -53,0073 | 0,743 | 49 | 17,79 | 18,45 | 3,19E-07 |
| 41 | 31/05/2019 | -27,1982 | -52,8063 | 0,698 | 84 | 39,94 | 18,42 | 3,34E-07 |
| 42 | 31/05/2019 | -27,2355 | -52,5322 | 0,393 | 81 | 37,93 | 18,42 | 3,34E-07 |
| 43 | 28/02/2019 | -27,2913 | -52,6903 | 0,655 | 148 | 86,00 | 18,41 | 3,36E-07 |
| 44 | 28/02/2019 | -27,2338 | -52,7643 | 0,726 | 39 | 12,34 | 18,24 | 4,25E-07 |
| 45 | 28/02/2019 | -27,1477 | -53,0476 | 0,511 | 102 | 52,64 | 18,15 | 4,79E-07 |
| 46 | 31/05/2019 | -27,2734 | -52,6323 | 0,126 | 32 | 8,86 | 17,95 | 6,27E-07 |
| 47 | 31/05/2019 | -27,3071 | -52,6642 | 0,285 | 44 | 15,44 | 17,53 | 1,11E-06 |
| 48 | 31/05/2019 | -27,2620 | -52,5241 | 0,723 | 46 | 16,62 | 17,47 | 1,21E-06 |
| 49 | 31/01/2019 | -27,1980 | -52,9644 | 0,740 | 71 | 32,28 | 17,28 | 1,57E-06 |
| 50 | 31/03/2019 | -27,2634 | -52,5035 | 0,749 | 116 | 64,04 | 17,00 | 2,28E-06 |
| 51 | 31/01/2019 | -27,2333 | -52,9675 | 0,605 | 44 | 15,76 | 16,94 | 2,46E-06 |
| 52 | 30/04/2019 | -27,2218 | -52,9180 | 0,586 | 35 | 10,82 | 16,92 | 2,55E-06 |
| 53 | 28/02/2019 | -27,1568 | -53,0128 | 0,747 | 89 | 45,01 | 16,72 | 3,33E-06 |
| 54 | 31/05/2019 | -27,1665 | -52,8541 | 0,504 | 35 | 10,92 | 16,69 | 3,46E-06 |
| 55 | 31/03/2019 | -27,2555 | -52,5577 | 0,729 | 179 | 112,60 | 16,65 | 3,65E-06 |
| 56 | 31/01/2019 | -27,2263 | -52,9603 | 0,254 | 45 | 16,51 | 16,64 | 3,72E-06 |
| 57 | 31/05/2019 | -27,1704 | -52,8460 | 0,674 | 105 | 56,73 | 16,42 | 5,03E-06 |
| 58 | 31/01/2019 | -27,2369 | -52,9825 | 0,533 | 53 | 21,62 | 16,16 | 7,09E-06 |
| 59 | 31/05/2019 | -27,2765 | -52,6755 | 0,194 | 54 | 22,49 | 15,81 | 1,15E-05 |
| 60 | 30/04/2019 | -27,2495 | -52,9584 | 0,530 | 34 | 10,82 | 15,76 | 1,23E-05 |
| 61 | 28/02/2019 | -27,1754 | -52,8592 | 0,671 | 66 | 30,94 | 14,96 | 3,63E-05 |
| 62 | 30/04/2019 | -27,2370 | -52,5491 | 0,325 | 45 | 17,74 | 14,64 | 5,57E-05 |
| 63 | 28/02/2019 | -27,1717 | -52,9586 | 0,716 | 99 | 54,65 | 14,51 | 6,72E-05 |
| 64 | 31/05/2019 | -27,1991 | -52,9164 | 0,710 | 27 | 7,76 | 14,44 | 7,32E-05 |
| 65 | 28/02/2019 | -27,1981 | -52,8937 | 0,734 | 58 | 26,12 | 14,41 | 7,69E-05 |
| 66 | 31/01/2019 | -27,1623 | -53,0301 | 0,534 | 26 | 7,51 | 13,81 | 0,0002 |
| 67 | 31/01/2019 | -27,2048 | -52,8168 | 0,422 | 21 | 5,10 | 13,81 | 0,0002 |
| 68 | 31/01/2019 | -27,2259 | -52,9940 | 0,314 | 16 | 3,00 | 13,78 | 0,0002 |
| 69 | 31/05/2019 | -27,2569 | -52,6725 | 0,144 | 26 | 7,60 | 13,59 | 0,0002 |
| 70 | 31/05/2019 | -27,2725 | -52,4764 | 0,195 | 18 | 3,96 | 13,23 | 0,0004 |
| 71 | 28/02/2019 | -27,1557 | -52,9896 | 0,748 | 44 | 18,08 | 13,22 | 0,0004 |
| 72 | 30/04/2019 | -27,2422 | -52,9946 | 0,231 | 21 | 5,32 | 13,15 | 0,0004 |
| 73 | 28/02/2019 | -27,1405 | -52,9749 | 0,717 | 91 | 50,63 | 13,01 | 0,0005 |
| 74 | 30/04/2019 | -27,3340 | -52,7315 | 0,672 | 137 | 85,77 | 12,98 | 0,0005 |
| 75 | 31/05/2019 | -27,2310 | -52,4747 | 0,235 | 27 | 8,39 | 12,96 | 0,0005 |
| 76 | 31/05/2019 | -27,2328 | -52,5803 | 0,746 | 43 | 17,79 | 12,75 | 0,0007 |
| 77 | 28/02/2019 | -27,2076 | -52,7638 | 0,748 | 27 | 8,56 | 12,58 | 0,0009 |
| 78 | 28/02/2019 | -27,2656 | -52,7038 | 0,710 | 43 | 18,13 | 12,28 | 0,0014 |
| 79 | 31/01/2019 | -27,2806 | -52,6953 | 0,529 | 32 | 11,56 | 12,15 | 0,0016 |
| 80 | 31/05/2019 | -27,2361 | -52,6653 | 0,462 | 31 | 11,08 | 11,99 | 0,0020 |
| 81 | 28/02/2019 | -27,2538 | -52,7098 | 0,692 | 39 | 15,86 | 11,96 | 0,0021 |
| 82 | 31/03/2019 | -27,1537 | -53,0355 | 0,634 | 56 | 27,03 | 11,83 | 0,0025 |
| 83 | 31/01/2019 | -27,1834 | -53,0198 | 0,041 | 14 | 2,70 | 11,73 | 0,0029 |
| 84 | 28/02/2019 | -27,1807 | -52,9849 | 0,726 | 140 | 90,42 | 11,67 | 0,0031 |
| 85 | 31/03/2019 | -27,2528 | -52,9465 | 0,722 | 146 | 95,80 | 11,36 | 0,0048 |
| 86 | 31/05/2019 | -27,2361 | -52,7320 | 0,377 | 12 | 2,06 | 11,22 | 0,0058 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|-----|-------|-------|--------|
| 87 | 28/02/2019 | -27,1244 | -52,9694 | 0,210 | 46 | 20,90 | 11,20 | 0,0059 |
| 88 | 28/02/2019 | -27,2108 | -52,8739 | 0,571 | 44 | 19,64 | 11,15 | 0,0064 |
| 89 | 31/03/2019 | -27,3006 | -52,7085 | 0,700 | 69 | 37,02 | 11,00 | 0,0078 |
| 90 | 28/02/2019 | -27,1787 | -52,8729 | 0,691 | 89 | 51,84 | 10,97 | 0,0081 |
| 91 | 28/02/2019 | -27,2258 | -52,4610 | 0,548 | 37 | 15,36 | 10,90 | 0,011 |
| 92 | 31/03/2019 | -27,2601 | -52,5336 | 0,246 | 44 | 19,95 | 10,77 | 0,013 |
| 93 | 31/01/2019 | -27,2062 | -52,8426 | 0,103 | 22 | 6,76 | 10,73 | 0,013 |
| 94 | 31/05/2019 | -27,1492 | -52,9713 | 0,366 | 118 | 75,19 | 10,40 | 0,018 |
| 95 | 30/04/2019 | -27,2524 | -52,6744 | 0,401 | 81 | 46,62 | 10,38 | 0,018 |
| 96 | 30/04/2019 | -27,2373 | -52,9553 | 0,199 | 23 | 7,45 | 10,38 | 0,018 |
| 97 | 31/05/2019 | -27,2672 | -52,7400 | 0,116 | 23 | 7,60 | 10,08 | 0,024 |
| 98 | 31/05/2019 | -27,1274 | -52,9763 | 0,267 | 14 | 3,17 | 9,98 | 0,026 |
| 99 | 31/01/2019 | -27,1916 | -52,9009 | 0,110 | 11 | 1,95 | 9,97 | 0,026 |
| 100 | 28/02/2019 | -27,1066 | -52,9633 | 0,689 | 51 | 25,43 | 9,94 | 0,03 |
| 101 | 28/02/2019 | -27,1550 | -52,9732 | 0,498 | 52 | 26,12 | 9,94 | 0,03 |
| 102 | 31/05/2019 | -27,1972 | -52,7822 | 0,207 | 25 | 8,86 | 9,79 | 0,033 |
| 103 | 28/02/2019 | -27,1701 | -52,9341 | 0,183 | 38 | 16,88 | 9,73 | 0,037 |
| 104 | 28/02/2019 | -27,2422 | -52,7092 | 0,464 | 27 | 10,07 | 9,71 | 0,037 |
| 105 | 31/01/2019 | -27,2105 | -52,9645 | 0,541 | 50 | 25,07 | 9,60 | 0,043 |
| 106 | 30/04/2019 | -27,2595 | -52,9644 | 0,546 | 46 | 22,35 | 9,56 | 0,045 |
| 107 | 31/03/2019 | -27,2678 | -52,6807 | 0,750 | 126 | 83,30 | 9,48 | 0,046 |
| 108 | 31/01/2019 | -27,1519 | -52,9811 | 0,208 | 22 | 7,36 | 9,46 | 0,047 |
| 109 | 31/05/2019 | -27,1725 | -52,9353 | 0,131 | 14 | 3,32 | 9,46 | 0,048 |
| 110 | 31/05/2019 | -27,1790 | -53,0000 | 0,660 | 23 | 7,91 | 9,46 | 0,048 |
| 111 | 31/01/2019 | -27,2035 | -53,0405 | 0,538 | 53 | 27,32 | 9,45 | 0,048 |
| 112 | 31/05/2019 | -27,3189 | -52,7300 | 0,747 | 48 | 23,83 | 9,45 | 0,05 |
| 113 | 28/02/2019 | -27,3027 | -52,6911 | 0,543 | 53 | 27,33 | 9,45 | 0,05 |

***obs. = observado**

****esp. = esperado**

**APÊNDICE D – Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018
ativos em 2019**

Resultou em 128 conglomerados relativos ao período de fevereiro a dezembro de 2018 que estão ativos em 2019, sendo 7 conglomerados detectados no mês de fevereiro, 8 no mês de março, 6 no mês de abril, 12 no mês de maio, 8 no mês de junho, 19 no mês de julho, 12 no mês de agosto, 8 no mês de setembro, 10 no mês de outubro, 15 no mês de novembro, 23 no mês de dezembro. Os mesmos estão ordenados pela significância estatística do mais significativo para o menos até o limite de p valor $< 0,05$, sendo seu segundo fator de ordenamento o valor de RVG, iniciando do maior valor para o menor.

| Conglomerados do período de fevereiro a dezembro de 2018 ativos em 2019 | | | | | | | | |
|---|------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|--------|--------|-----------------|
| Cluster | Data | Localização | | Raio (Km) | Número de casos | | RVG | <i>p</i> -valor |
| | | Latitude (DD) | Longitude (DD) | | *Obs. | **Esp. | | |
| 1 | 31/12/2018 | -27,1376 | -53,0352 | 0,748 | 373 | 95,95 | 230,43 | 1E-15 |
| 2 | 31/07/2018 | -27,1672 | -52,8611 | 0,749 | 219 | 43,36 | 179,45 | 1E-15 |
| 3 | 30/06/2018 | -27,2383 | -52,6544 | 0,545 | 96 | 12,22 | 114,20 | 1E-15 |
| 4 | 31/07/2018 | -27,2453 | -52,5787 | 0,479 | 92 | 13,52 | 98,03 | 1E-15 |
| 5 | 31/07/2018 | -27,2359 | -52,5943 | 0,750 | 155 | 41,19 | 91,76 | 1E-15 |
| 6 | 31/12/2018 | -27,2077 | -52,8194 | 0,722 | 87 | 14,06 | 85,67 | 1E-15 |
| 7 | 31/05/2018 | -27,1719 | -52,8433 | 0,663 | 104 | 20,82 | 84,18 | 1E-15 |
| 8 | 31/12/2018 | -27,2500 | -52,5894 | 0,750 | 137 | 35,53 | 83,58 | 1E-15 |
| 9 | 31/12/2018 | -27,2108 | -52,7721 | 0,541 | 99 | 19,38 | 81,93 | 1E-15 |
| 10 | 31/07/2018 | -27,2352 | -52,5320 | 0,409 | 71 | 9,82 | 79,33 | 1E-15 |
| 11 | 31/07/2018 | -27,2768 | -52,6762 | 0,274 | 103 | 22,45 | 76,46 | 1E-15 |
| 12 | 31/12/2018 | -27,1509 | -53,0359 | 0,717 | 160 | 51,36 | 73,33 | 1E-15 |
| 13 | 31/07/2018 | -27,2295 | -52,4757 | 0,722 | 101 | 23,59 | 69,54 | 1E-15 |
| 14 | 31/12/2018 | -27,1429 | -53,0613 | 0,401 | 138 | 42,09 | 68,08 | 1E-15 |
| 15 | 30/06/2018 | -27,2978 | -52,6940 | 0,635 | 63 | 9,21 | 67,41 | 1E-15 |
| 16 | 31/05/2018 | -27,2451 | -52,9516 | 0,748 | 156 | 54,48 | 62,74 | 1E-15 |
| 17 | 30/04/2018 | -27,1863 | -52,7675 | 0,708 | 54 | 7,70 | 58,91 | 1E-15 |
| 18 | 30/09/2018 | -27,2321 | -52,9569 | 0,698 | 239 | 112,36 | 53,96 | 1E-15 |
| 19 | 31/05/2018 | -27,1929 | -52,8805 | 0,710 | 112 | 35,83 | 51,57 | 1E-15 |
| 20 | 30/04/2018 | -27,2338 | -52,7157 | 0,402 | 37 | 3,79 | 51,13 | 1E-15 |
| 21 | 28/02/2018 | -27,2443 | -52,4381 | 0,739 | 49 | 7,77 | 49,05 | 1E-15 |
| 22 | 31/12/2018 | -27,2281 | -52,4574 | 0,596 | 60 | 12,29 | 47,44 | 1E-15 |
| 23 | 31/08/2018 | -27,2094 | -52,8374 | 0,450 | 130 | 48,69 | 46,45 | 1E-15 |
| 24 | 31/08/2018 | -27,2002 | -52,9242 | 0,655 | 156 | 65,02 | 45,65 | 1E-15 |
| 25 | 30/06/2018 | -27,2486 | -52,9392 | 0,435 | 31 | 2,91 | 45,25 | 1E-15 |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------|----------|-------|-----|--------|-------|----------|
| 26 | 31/03/2018 | -27,2680 | -52,5362 | 0,532 | 154 | 64,83 | 44,18 | 1E-15 |
| 27 | 31/05/2018 | -27,1976 | -52,7823 | 0,386 | 85 | 25,50 | 42,89 | 1E-15 |
| 28 | 28/02/2018 | -27,2413 | -52,7188 | 0,651 | 44 | 7,45 | 41,61 | 1E-15 |
| 29 | 31/08/2018 | -27,1606 | -52,9544 | 0,609 | 143 | 59,80 | 41,57 | 1E-15 |
| 30 | 30/06/2018 | -27,2681 | -52,7395 | 0,267 | 45 | 7,95 | 40,96 | 1E-15 |
| 31 | 30/06/2018 | -27,2147 | -52,4389 | 0,158 | 44 | 7,61 | 40,83 | 1E-15 |
| 32 | 28/02/2018 | -27,2312 | -52,4319 | 0,681 | 44 | 7,63 | 40,74 | 1E-15 |
| 35 | 31/05/2018 | -27,2146 | -52,7950 | 0,701 | 77 | 23,69 | 37,50 | 4,5E-14 |
| 36 | 28/02/2018 | -27,2386 | -52,4793 | 0,274 | 30 | 3,61 | 37,13 | 6,8E-14 |
| 37 | 30/09/2018 | -27,2062 | -53,0384 | 0,617 | 116 | 46,89 | 36,02 | 2,32E-13 |
| 38 | 31/07/2018 | -27,2330 | -52,7267 | 0,639 | 68 | 19,91 | 35,47 | 4,29E-13 |
| 39 | 30/06/2018 | -27,2538 | -52,7546 | 0,664 | 123 | 51,67 | 35,41 | 4,57E-13 |
| 40 | 30/06/2018 | -27,1990 | -52,8051 | 0,741 | 94 | 34,20 | 35,30 | 5,2E-13 |
| 41 | 30/09/2018 | -27,1899 | -53,0164 | 0,737 | 122 | 52,17 | 33,88 | 2,52E-12 |
| 42 | 30/11/2018 | -27,2624 | -52,4816 | 0,732 | 128 | 56,02 | 33,86 | 2,58E-12 |
| 43 | 28/02/2018 | -27,2455 | -52,5398 | 0,749 | 46 | 10,11 | 33,81 | 2,72E-12 |
| 44 | 31/08/2018 | -27,2021 | -52,7935 | 0,473 | 95 | 36,27 | 32,79 | 8,45E-12 |
| 45 | 31/12/2018 | -27,2593 | -52,6004 | 0,748 | 109 | 44,86 | 32,68 | 9,55E-12 |
| 46 | 31/12/2018 | -27,2633 | -52,6750 | 0,724 | 173 | 87,34 | 32,68 | 9,57E-12 |
| 47 | 31/08/2018 | -27,1691 | -52,9899 | 0,602 | 43 | 9,35 | 31,98 | 2,08E-11 |
| 48 | 30/04/2018 | -27,2319 | -52,7520 | 0,200 | 40 | 8,12 | 31,90 | 2,27E-11 |
| 51 | 31/03/2018 | -27,1600 | -52,9796 | 0,743 | 98 | 39,65 | 30,37 | 1,26E-10 |
| 52 | 31/12/2018 | -27,1473 | -53,0475 | 0,373 | 84 | 31,43 | 30,05 | 1,79E-10 |
| 53 | 31/12/2018 | -27,2088 | -52,7866 | 0,572 | 37 | 7,61 | 29,15 | 4,85E-10 |
| 54 | 31/08/2018 | -27,2716 | -52,6339 | 0,175 | 33 | 6,03 | 29,13 | 5E-10 |
| 55 | 30/11/2018 | -27,2169 | -52,9214 | 0,749 | 121 | 55,70 | 28,63 | 8,72E-10 |
| 57 | 31/12/2018 | -27,3060 | -52,7102 | 0,290 | 31 | 5,73 | 27,08 | 4,9E-09 |
| 58 | 30/11/2018 | -27,1805 | -52,9859 | 0,742 | 212 | 122,31 | 27,02 | 5,2E-09 |
| 59 | 31/05/2018 | -27,2668 | -52,9591 | 0,613 | 62 | 21,02 | 26,10 | 1,45E-08 |
| 60 | 31/07/2018 | -27,2109 | -52,4439 | 0,374 | 50 | 14,79 | 25,70 | 2,27E-08 |
| 61 | 31/12/2018 | -27,2022 | -52,7601 | 0,094 | 23 | 3,23 | 25,39 | 3,21E-08 |
| 62 | 31/07/2018 | -27,2334 | -52,5423 | 0,311 | 33 | 7,01 | 25,13 | 4,3E-08 |
| 63 | 30/11/2018 | -27,2331 | -52,9857 | 0,746 | 215 | 127,95 | 24,64 | 7,4E-08 |
| 64 | 31/10/2018 | -27,3069 | -52,6673 | 0,729 | 82 | 34,06 | 24,14 | 1,29E-07 |
| 65 | 31/03/2018 | -27,2207 | -52,4287 | 0,202 | 37 | 9,07 | 24,11 | 1,33E-07 |
| 66 | 31/12/2018 | -27,2587 | -52,7395 | 0,705 | 87 | 37,28 | 24,04 | 1,43E-07 |
| 67 | 31/07/2018 | -27,2357 | -52,6657 | 0,482 | 33 | 7,40 | 23,75 | 1,98E-07 |
| 70 | 31/10/2018 | -27,2532 | -52,5737 | 0,681 | 44 | 12,64 | 23,52 | 2,56E-07 |
| 71 | 31/10/2018 | -27,1748 | -52,8586 | 0,576 | 73 | 29,23 | 23,07 | 4,22E-07 |
| 73 | 30/09/2018 | -27,2805 | -52,6957 | 0,335 | 128 | 66,34 | 22,52 | 7,81E-07 |
| 74 | 31/03/2018 | -27,2746 | -52,4774 | 0,736 | 63 | 23,81 | 22,13 | 1,2E-06 |
| 75 | 31/03/2018 | -27,2531 | -52,5592 | 0,389 | 76 | 31,80 | 22,04 | 1,34E-06 |
| 76 | 31/07/2018 | -27,2194 | -52,5455 | 0,622 | 27 | 5,43 | 21,73 | 1,89E-06 |
| 77 | 31/05/2018 | -27,2017 | -52,8432 | 0,460 | 37 | 9,97 | 21,50 | 2,42E-06 |
| 78 | 30/09/2018 | -27,2013 | -52,9622 | 0,568 | 66 | 26,14 | 21,29 | 3,09E-06 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|-----|--------|-------|----------|
| 79 | 28/02/2018 | -27,2580 | -52,5349 | 0,456 | 26 | 5,19 | 21,08 | 3,87E-06 |
| 80 | 31/08/2018 | -27,1329 | -53,0067 | 0,736 | 38 | 10,68 | 20,92 | 4,66E-06 |
| 81 | 30/11/2018 | -27,2229 | -52,9661 | 0,661 | 86 | 39,25 | 20,74 | 5,65E-06 |
| 82 | 31/05/2018 | -27,2058 | -52,8712 | 0,193 | 23 | 4,15 | 20,56 | 6,91E-06 |
| 83 | 30/09/2018 | -27,1994 | -52,9983 | 0,744 | 107 | 53,78 | 20,42 | 8,08E-06 |
| 84 | 31/07/2018 | -27,2327 | -52,5803 | 0,169 | 21 | 3,44 | 20,42 | 8,12E-06 |
| 86 | 31/10/2018 | -27,1522 | -52,9914 | 0,651 | 28 | 6,32 | 20,00 | 1,3E-05 |
| 87 | 31/12/2018 | -27,3169 | -52,7107 | 0,644 | 62 | 24,59 | 19,95 | 1,36E-05 |
| 88 | 31/12/2018 | -27,3202 | -52,7398 | 0,738 | 78 | 34,68 | 19,93 | 1,39E-05 |
| 89 | 30/11/2018 | -27,1785 | -52,9384 | 0,747 | 63 | 25,32 | 19,76 | 1,69E-05 |
| 90 | 30/04/2018 | -27,1906 | -53,0288 | 0,198 | 12 | 0,93 | 19,60 | 2,01E-05 |
| 91 | 31/12/2018 | -27,1914 | -52,7806 | 0,598 | 36 | 10,21 | 19,59 | 2,05E-05 |
| 93 | 31/05/2018 | -27,2576 | -52,9460 | 0,286 | 69 | 29,84 | 18,70 | 5,52E-05 |
| 95 | 31/07/2018 | -27,2606 | -52,5245 | 0,141 | 20 | 3,44 | 18,63 | 5,92E-05 |
| 96 | 30/11/2018 | -27,2788 | -52,5344 | 0,634 | 56 | 21,84 | 18,59 | 6,22E-05 |
| 97 | 31/10/2018 | -27,1408 | -52,9741 | 0,642 | 103 | 52,99 | 18,48 | 7,05E-05 |
| 99 | 31/07/2018 | -27,1492 | -52,9728 | 0,164 | 30 | 7,87 | 18,02 | 0,0001 |
| 101 | 28/02/2018 | -27,2019 | -53,0234 | 0,251 | 19 | 3,25 | 17,80 | 0,0001 |
| 103 | 31/05/2018 | -27,3192 | -52,7235 | 0,205 | 15 | 1,96 | 17,48 | 0,0002 |
| 104 | 31/03/2018 | -27,3352 | -52,7356 | 0,319 | 58 | 23,82 | 17,45 | 0,0002 |
| 105 | 31/12/2018 | -27,1690 | -52,9333 | 0,135 | 25 | 5,85 | 17,16 | 0,0003 |
| 106 | 31/05/2018 | -27,1918 | -52,9340 | 0,462 | 31 | 8,68 | 17,14 | 0,0003 |
| 107 | 31/08/2018 | -27,2056 | -52,4480 | 0,342 | 39 | 12,87 | 17,12 | 0,0003 |
| 108 | 31/08/2018 | -27,3166 | -52,7302 | 0,244 | 66 | 29,19 | 17,06 | 0,0003 |
| 109 | 31/12/2018 | -27,2721 | -52,6828 | 0,540 | 48 | 18,02 | 17,05 | 0,0003 |
| 110 | 31/03/2018 | -27,1140 | -52,9587 | 0,080 | 23 | 5,14 | 16,60 | 0,0006 |
| 111 | 30/04/2018 | -27,2369 | -52,5495 | 0,487 | 79 | 38,27 | 16,55 | 0,0006 |
| 113 | 31/07/2018 | -27,2137 | -52,4305 | 0,080 | 18 | 3,19 | 16,35 | 0,0008 |
| 114 | 30/11/2018 | -27,1536 | -53,0109 | 0,646 | 59 | 25,32 | 16,25 | 0,0008 |
| 116 | 30/11/2018 | -27,1433 | -53,0040 | 0,660 | 77 | 37,30 | 16,13 | 0,0010 |
| 117 | 30/04/2018 | -27,2126 | -53,0306 | 0,479 | 58 | 24,79 | 16,10 | 0,0010 |
| 118 | 31/10/2018 | -27,2569 | -52,9658 | 0,702 | 127 | 73,38 | 16,09 | 0,0010 |
| 119 | 30/06/2018 | -27,2563 | -52,6724 | 0,148 | 18 | 3,25 | 16,07 | 0,0010 |
| 120 | 30/11/2018 | -27,1222 | -52,9628 | 0,747 | 274 | 190,84 | 16,04 | 0,0011 |
| 121 | 31/10/2018 | -27,2249 | -52,9964 | 0,436 | 43 | 15,70 | 16,03 | 0,0011 |
| 122 | 30/11/2018 | -27,2639 | -52,4706 | 0,166 | 18 | 3,26 | 16,00 | 0,0011 |
| 127 | 31/07/2018 | -27,2946 | -52,6832 | 0,320 | 37 | 12,37 | 15,92 | 0,0012 |
| 128 | 31/03/2018 | -27,2625 | -52,5863 | 0,742 | 59 | 25,58 | 15,90 | 0,0012 |
| 130 | 31/12/2018 | -27,2166 | -52,8421 | 0,706 | 36 | 11,92 | 15,72 | 0,0015 |
| 131 | 31/07/2018 | -27,2573 | -52,5560 | 0,182 | 22 | 4,97 | 15,72 | 0,0015 |
| 133 | 31/08/2018 | -27,2049 | -52,7809 | 0,384 | 22 | 5,03 | 15,51 | 0,002 |
| 134 | 31/08/2018 | -27,1148 | -52,9546 | 0,325 | 21 | 4,62 | 15,41 | 0,002 |
| 135 | 31/07/2018 | -27,2619 | -52,4971 | 0,744 | 48 | 19,26 | 15,11 | 0,003 |
| 136 | 30/11/2018 | -27,2506 | -52,4826 | 0,442 | 19 | 3,94 | 14,84 | 0,004 |
| 137 | 31/12/2018 | -27,2197 | -52,4473 | 0,643 | 46 | 18,23 | 14,81 | 0,004 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|----------|----------|-------|----|-------|-------|-------|
| 138 | 31/05/2018 | -27,3371 | -52,7274 | 0,208 | 32 | 10,20 | 14,79 | 0,004 |
| 139 | 30/09/2018 | -27,1750 | -52,8790 | 0,381 | 42 | 15,90 | 14,71 | 0,005 |
| 140 | 30/11/2018 | -27,2012 | -52,8998 | 0,739 | 38 | 13,61 | 14,64 | 0,005 |
| 141 | 30/11/2018 | -27,1722 | -52,9590 | 0,748 | 43 | 16,54 | 14,62 | 0,005 |
| 142 | 30/09/2018 | -27,2890 | -52,6872 | 0,337 | 34 | 11,37 | 14,62 | 0,005 |
| 143 | 31/07/2018 | -27,2480 | -52,5651 | 0,292 | 13 | 1,79 | 14,60 | 0,005 |
| 144 | 31/10/2018 | -27,2053 | -52,7668 | 0,656 | 41 | 15,50 | 14,39 | 0,007 |
| 145 | 31/12/2018 | -27,2570 | -52,7085 | 0,614 | 31 | 9,90 | 14,30 | 0,007 |
| 148 | 31/10/2018 | -27,2020 | -52,9724 | 0,745 | 41 | 15,74 | 14,00 | 0,010 |
| 149 | 30/11/2018 | -27,1625 | -53,0320 | 0,736 | 96 | 53,78 | 13,43 | 0,017 |
| 150 | 31/08/2018 | -27,1232 | -52,9840 | 0,740 | 27 | 8,24 | 13,28 | 0,024 |
| 152 | 31/12/2018 | -27,3233 | -52,7195 | 0,404 | 72 | 37,02 | 12,93 | 0,036 |
| 153 | 31/10/2018 | -27,1513 | -52,9776 | 0,279 | 16 | 3,26 | 12,70 | 0,041 |

***obs. = observado**

****esp. = esperado**

APÊNDICE E – Alternativas de pré-processamento que podem auxiliar na redução de falsos

Durante o processo de avaliação da detecção de mudanças, constatou-se que existem parcelas que não representam mudanças na cobertura, alvo da análise. Parte destes pixels normalmente são classificados como nuvens, sombras projetadas pelas nuvens ou pela topografia acentuada da região, como também neblina. Estes pixels podem impedir a detecção com precisão do que está na superfície da terra.

Em busca de uma alternativa para reduzir estes efeitos ocasionados por estes pixels, existe a possibilidade de realizar o mapeamento das nuvens, por meio de uma interpretação visual, extraídas as estatísticas e analisados os polígonos gerados sobre as nuvens para gerar uma máscara de forma manual. No entanto, esta estratégia é complexa e depende de um analista mensalmente fazendo esse mapeamento. Com isso buscou-se mais alternativas.

De acordo com as informações disponibilizadas pela Planet Labs, e utilizando o software SIG, Qgis, foi inserido o produto chamado de *Máscara de Dados Utilizáveis* - UDM2, o qual se procurou realizar uma avaliação da qualidade dos dados finais, disponibilizados ao usuário.

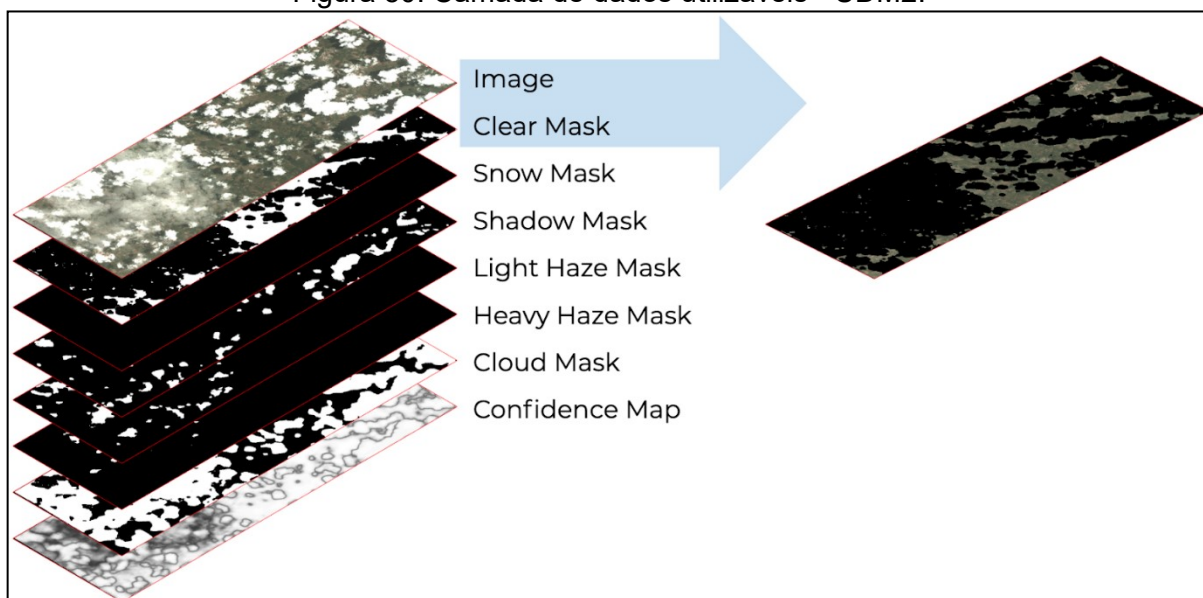
Esta *Máscara de Dados Utilizáveis*, produzidas pela empresa Planet, utiliza técnicas de segmentação de imagens e de *Machine Learning* para identificar quais pixels da imagem são claros ou nublados, ou estão contaminados por neblina leve ou pesada ou neve. As camadas são disponibilizadas no formato GeoTIFF, o qual auxilia na visualização de quais partes da imagem contêm esses elementos e quais partes estão aptas a utilização.

Durante o processo de pesquisa das cenas, estão disponíveis – para cada cena, seis novas categorias dentro do metadados para pesquisar no API da Planet, sendo então necessário informar quais camadas deseja-se ter informação.

A Figura 50 apresenta essas camadas (Neve, Sombra, Neblina leve, Neblina pesada, Nuvem e Mapa de confiança). A partir dessa nova camada, manipuladas em software SIG, foi possível extrair os pixels livres da influência indesejada dessas intempéries (nuvens, neblina e sombra) para processo de detecção de mudanças, não sobrecarregando as etapas posteriores de processamento.

Com o uso de uma operação de overlay multiplicativo, é possível extrair os pixels livres de nuvens, neblina e sombra para poder verificar sua integridade e confiabilidade dos dados durante o processo de detecção de mudanças.

Figura 50: Camada de dados utilizáveis - UDM2.

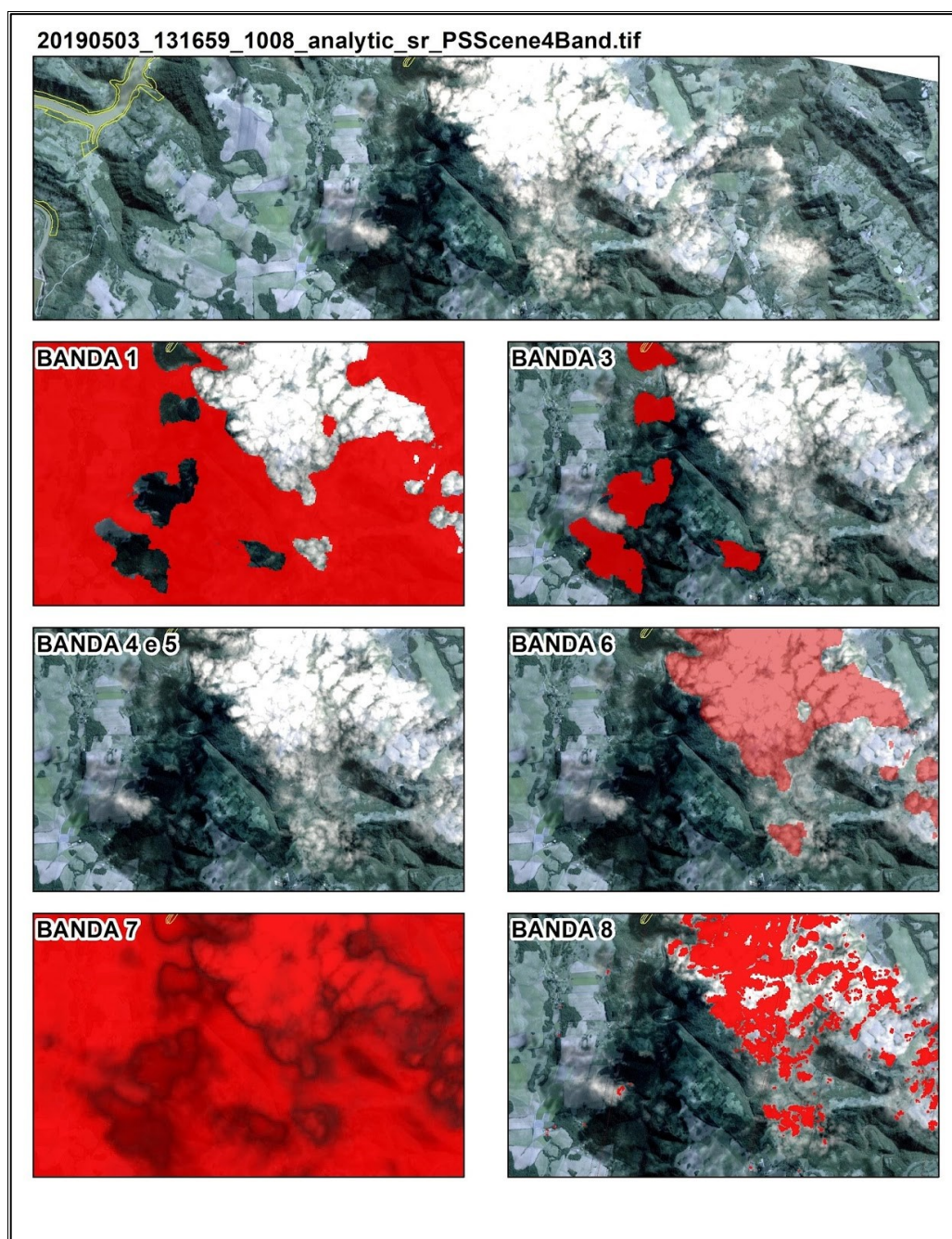


Fonte: Planet Labs 2019b.

Ressalta-se que neste estudo não foram realizados os testes com a camada UDM2, sendo apenas realizado uma avaliação visual sobre as interferências que são passíveis de serem mascaradas por conta desta camada.

Com isso foi gerado a Figura 51 a qual foi selecionado uma área com influência direta de nuvem, sombra e neblina. Nesta área, a imagem foi sobreposta às bandas da camada UDM2, sendo na banda 1, em vermelho a área determinada pelo UDM2 como pixels mapeados como livre de interferências atmosféricas. Na banda 3, em vermelho a sombra projetada da nuvem. Para a banda 4 e 5, não tiveram áreas detectadas como neblina grossa e fina. Já na banda 6 foram detectadas as nuvens, em vermelho, embora algumas nuvens finas não fossem mascaradas por essa banda. Na banda 7 o mapa todo em vermelho é a banda de porcentagem de confiança dos pixels, determinado por algoritmo da própria Planet, sendo os pixels nas áreas mais escuras menos confiáveis e os pixels nas áreas mais claras os com mais porcentagem de confiabilidade. Para a banda 8, apenas os pixels não utilizáveis.

Figura 51: Bandas da camada UDM2.



Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

O processamento da camada UDM2 tem por finalidade mascarar áreas afetadas pelas nuvens e sombras, com o objetivo de reduzir o número de falsos-positivos.

Utilizando a banda 01, que traz o valor de 1 para os pixels que estão totalmente limpos de interferências atmosféricas e 0 para os que apresentam nuvem ou sombra, pôde mascarar os pixels com essas feições nas imagens, realizando uma

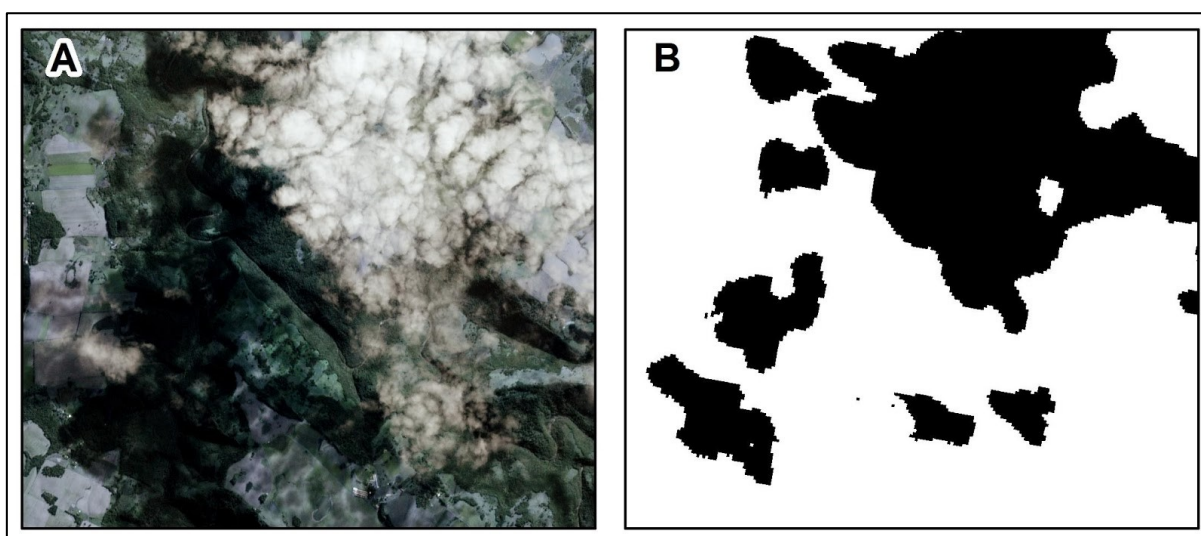
operação de sobreposição multiplicativa entre a imagem de qualidade (UDM 2) e a imagem original da Planet.

A multiplicação zerou os pixels impuros da imagem original, criando regiões sem dados (NoData) na imagem ao passo que manteve os valores do dado matricial (*raster*) original que são pixels sem alteração. Na Figura 51 é possível observar a região mascarada em vermelho.

Destaca-se que esse processamento deve ser realizado anteriormente à produção dos mosaicos, garantindo uma menor influência dos ruídos que as nuvens e sombras possam ocasionar nos processos seguintes.

Na Figura 52 (A) a imagem original, demonstrando uma região com nuvem e sombra. Já em (B) a área da imagem (A) a ser mascarada pelo algoritmo de multiplicação de bandas, sendo para os pixels em preto a região que ficará sem dados.

Figura 52: Lado (A) imagem original; Lado (B) região da máscara em preto.



Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Para a multiplicação ocorrer a imagem original deve estar totalmente sobreposta com a UDM assim os pixels impuros (equivalentes a zero no UDM2) são capazes de zerar os pixels que contenham nuvens ou sombras na imagem original, como os pixels puros, que recebem o valor de 1 no UDM2, quando multiplicados pela imagem original, não tendo seu valor alterado.

Para a realização dessa operação foi utilizado um algoritmo de sobreposição multiplicativo, sendo utilizado neste estudo a aplicação pelo software Rstudio. Na Figura 53 é possível observar o código utilizado para realizar esta operação espacial.

Figura 53: Código para o processamento do overlay multiplicativo para uma imagem.

```
1 require(raster)
2 |
3 indir <- "C:/1_projetos/p_foz/raster/udm"
4 l <- list.files(indir, full.names = T)
5 r1 <- stack(l[1])
6
7
8 udm <- stack(l[2])
9 udm <- udm$X20190503_131659_1008_udm2_PSScene4Band.1
10
11
12 r2 <- overlay(x = r1, y = udm, fun=function(x,y) return(x*y))
13 #plot(r2)
14 writeRaster(r2, "C:/1_projetos/p_foz/raster/udm/teste3", overwrite = T, format = "GTiff", progress = T)
15
```

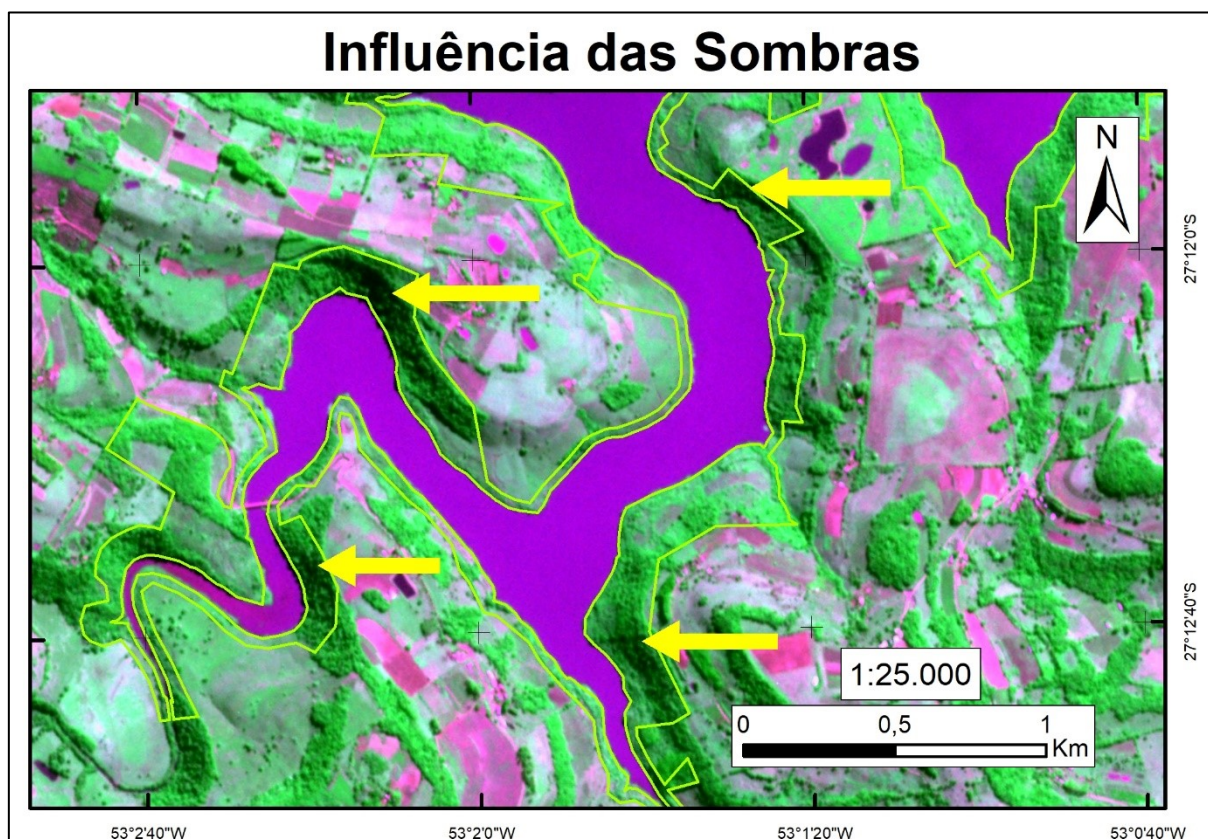
Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Ressalta-se que são necessários mais estudos, principalmente sobre a banda 7 que traz valores da confiança da classificação do pixel, em um intervalo de 0 a 100, sendo necessário determinar a partir de um estudo, um potencial limiar. Capaz de auxiliar na remoção de sombras ocasionadas pela topografia acentuada da região e que não são detectadas pela banda 1.

Durante a análise da aplicação da redução de falsos positivos, verificou-se uma grande influência das sombras nos polígonos resultantes da detecção de mudanças. Com isso, buscou-se mais uma alternativa que reduzisse a influência de sombras, para então definir uma abordagem que auxiliasse na minimização de seus efeitos na análise. Na Figura 54 observa-se um exemplo da interferência da sombra ocasionada pela topografia da região indicado pelas setas amarelas.

Como a constelação de satélites de Planet conta com centenas de nano satélites, a aquisição da imagem se dá em diferentes horários do dia e com ângulos diferentes de imageamento, permitindo para o mesmo pixel, nas quatro bandas, uma considerável quantidade de atributos nos níveis de cinza.

Figura 54: Exemplo da interferência das sombras sobre a área de interesse.



A fim de escolher o atributo mais representativo para cada pixel, como também minimizar a influência de nuvens, neblina e sombras, nos alertas das ocorrências, foi testado uma nova metodologia para construir o mosaico de imagens da área de interesse em linguagem de programação R.

Trata-se de uma abordagem temporal pixel a pixel, que consiste na análise de todas as cenas obtidas para uma mesma área, e a partir delas, construir um novo mosaico com os valores da mediana desses pixels que se sobrepõe.

Destaca-se que os mosaicos disponibilizados para o estudo contam com cenas filtradas apenas nos parâmetros de nuvens, sendo assim contem imagens de horários e orbitas diferentes o que aumenta o número de falsos positivos ocasionados pela sombra da topografia neste caso.

Com este procedimento espera-se eliminar os pixels que apresentam respostas espectrais muito elevadas ou muito baixas, que possivelmente pudessem representar nuvens, neblina ou sombras respectivamente, na Figura 55 é possível observar o script utilizado no teste.

Figura 55: Script para gerar o mosaico pela Mediana.

```
1 install.packages("raster")
2 require(raster)
3
4
5
6 #listar os raster da pasta
7 r <- list.files("D:/leon_v1/meu_pc/p_foz/2019/teste", full.names = T)
8
9 #carregar os raster para construir o mosaico
10 r1 <- brick(r[1])
11 r2 <- brick(r[2])
12 r3 <- brick(r[3])
13 r4 <- brick(r[4])
14
15
16 #transformar os raster em uma lista
17 rts <- list(r1, r2, r3,r4)
18
19 #definir a função mediana na lista
20 rasters1.mosaicargs <- rts
21 rasters1.mosaicargs$fun <- median
22
23 #construir o mosaico a partir da lista
24 mos2 <- do.call(mosaic, rasters1.mosaicargs)
25 plot(mos2)
26
27 #salvar o mosaico
28 writeRaster(mos2, "D:/leon_v1/meu_pc/p_foz/2019/teste/teste", format="GTiff", overwrite=TRUE, progress = "text")
```

Fonte: Relatório Técnico P&D – setembro (2019).

Uma problemática da utilização da função mediana é que pelo fato de a constelação Planet ter um número considerável de satélites imageando a área, a grande quantidade de cenas sobrepostas acaba exigindo muitas horas de processamento.