

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

PEDRO GABRIEL BUENO CÉSAR

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA POR
IMAGENS DE NANOSSATÉLITES. ESTUDO DE CASO DO ENTORNO DA
ALDEIA VERDADEIRA (ANHETENGUÁ) - PORTO ALEGRE - RS**

PORTO ALEGRE

2019

PEDRO GABRIEL BUENO CÉSAR

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA POR
IMAGENS DE NANOSSATÉLITES. ESTUDO DE CASO DO ENTORNO DA
ALDEIA VERDADEIRA (ANHETENGUÁ) - PORTO ALEGRE - RS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Área de Concentração: Sensoriamento Remoto Aplicado.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Wilson Mendes Jr.
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas.

PORTO ALEGRE

2019

PEDRO GABRIEL BUENO CÉSAR

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA POR
IMAGENS DE NANOSSATÉLITES. ESTUDO DE CASO DO ENTORNO DA
ALDEIA VERDADEIRA (ANHETENGUÁ) - PORTO ALEGRE - RS**

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. CLÁUDIO WILSON MENDES JUNIOR (ORIENTADOR), UFRGS

PROF. DR. MARCOS W. DIAS DE FREITAS (COORIENTADOR), UFRGS

PROF. DR. GUILHERME GARCIA DE OLIVEIRA- UFRGS

PROF. DR. JEAN MARCEL DE ALMEIDA ESPINOZA - IFRS

PROF. DRA. KÁTIA KELLE DA ROSA - UFRGS

APROVADO EM: ____ DE _____ DE 2019

*Dedico este trabalho a aqueles
que veem na ciência e educação
uma forma de transformação social.*

AGRADECIMENTOS

Aos professores Cláudio Wilson Mendes Jr. e Marcos Wellausen Dias de Freitas, pelo apoio num dos momentos mais difíceis do mestrado, pela disposição em auxiliarem na criação do projeto de pesquisa e pela confiança depositada a minha pessoa em tão pouco tempo de convivência;

A minha mãe, Rosmari, por sempre me incentivar na busca de mais e novos conhecimentos e ser meu maior exemplo de força, por sozinha criar dois filhos;

Aos colegas da Turma da Ressaca (e quem mais se identificar), por me mostrarem e compartilharem a diversidade de pensamentos e cultura de diversas regiões do Brasil;

Áqueles que de alguma forma contribuíram com esta pesquisa, com uma conversa, uma pergunta, uma troca de saberes;

Ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento;

Ao Laboratório de Modelagem Ricardo Ayup Zoauin (LabModel) da UFRGS;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por disponibilizar a estrutura física e demais assitências necessária, e por mesmo com toda a desvalorização da ciência e educação dos últimos anos manter a excelência como instituição de ensino superior;

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo em nível de pós-graduação, Código de Financiamento 001;

E aos governos que acreditaram no poder da educação e criaram o Programa Universidade para Todos que me possibilitou cursar a graduação com bolsa de estudos integral.

“A quem serve a inteligência?

[...] não se pode ser um universitário e ter tido o privilégio de ser e ter uma formação de caráter acadêmico e não sentir a responsabilidade que se tem para com o nosso povo quase analfabeto.”

José "Pepe" Mujica

RESUMO

As Terras Indígenas (TI) e Unidades de Conservação (UCs), nas suas mais variadas categorias, integram um instrumento de conservação e preservação dos recursos naturais, denominado de Área Protegidas. No Bioma Amazônia estas áreas funcionam como inibidoras de desmatamento. A Aldeia Verdadeira (Tekoá Anhetenguá) localiza-se em uma região periurbana do município de Porto Alegre, RS, sobreposta à zona de amortecimento e áreas de uso especial de quatro UCs. O objetivo geral desta dissertação é analisar mudanças no uso e cobertura da terra a partir de imagens de nanossatélites, por meio da aplicação de métodos de detecção de mudanças no entorno dessa aldeia. Utilizou-se uma série temporal de imagens, de agosto de 2016 a agosto de 2018, dos nanossatélites da constelação PlanetScope, com alta resolução espacial, radiométrica e com tempo de revisita diária. Foram realizadas composições temporais de 10, 15 e 30 dias de Composição de Máximos Valores (CMV) de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e, após, essa série temporal foi reconstruída por um filtro Savitzky-Golay, para a análise temporal do comportamento das seguintes classes de uso e cobertura da terra: água, edificações, floresta, solo e vegetação herbácea. Ainda foi realizada a detecção de mudanças pela técnica *Change Vector Analysis* (CVA), utilizando imagens de 23 de agosto de 2016 e 29 de maio de 2018, e analisado os fatores condicionantes dos processos de degradação e regeneração do uso e cobertura da terra, com base em variáveis ambientais, físicas e sócio-econômicas. Os resultados da filtragem e reconstrução da série temporal apresentaram baixa dispersão em relação à média, indicando que os valores obtiveram ganho de qualidade. Foi possível diferenciar as classes em dois grupos, edificação e solo exposto, com valores de NDVI entre 0,1 a 0,3, e as classes floresta e vegetação herbácea entre valores próximos a 0,6 e 0,8. A CVA demonstrou que os processos de degradação foram mais baixos que os de regeneração, de 1,97% e 4,25%, respectivamente, demonstrando uma boa tendência para a conservação desta zona dos municípios de Porto Alegre e Viamão (RS). Os modelos de regressão tiveram R^2 de 0,235 para o processo de degradação e R^2 de 0,824 para regeneração. Nos dois processos de mudança de uso e cobertura da terra o fator condicionante de maior correlação foi a densidade de borda.

Palavras-chave: CVA, NDVI, PlanetScope, Savitzky-Golay, Série Temporal.

ABSTRACT

The Indigenous Lands (TI) and Conservation Units (UCs), in their most varied categories, are part of an instrument for the conservation and preservation of natural resources, known as the Protected Area. In the Amazon Biome these areas function as inhibitors of deforestation. Aldeia Verdadeira (Tekoá Anhetenguá) is located in a periurban region of the city of Porto Alegre, RS, overlapping the buffer zone and special use areas of four UCs. The general objective of this dissertation is to analyze changes in land use and land cover in nanosatellite images by applying change detection methods around this village. A time series of images from August 2016 to August 2018 of the PlanetScope constellation nanosatellites with high spatial, radiometric resolution and daily revisit time were used. 10, 15 and 30 day temporal compositions of Maximum Values Composition (CMV) of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were performed and after this time series was reconstructed by a Savitzky-Golay filter for the temporal analysis of the behavior of the following land use and land cover classes: water, buildings, forest, soil and herbaceous vegetation. The detection of changes by the Change Vector Analysis (CVA) technique was performed using images from August 23, 2016 and May 29, 2018, and the drives factors of the degradation and regeneration processes of land use and land cover were analyzed, based on environmental, physical and socioeconomic variables. The results of filtering and reconstruction of the time series presented low dispersion in relation to the average, indicating that the values obtained quality gain. It was possible to differentiate the classes into two groups, building and soil, with NDVI values between 0.1 and 0.3, and the classes forest and herbaceous vegetation between values close to 0.6 and 0.8. The CVA showed that the degradation processes were lower than the regeneration processes, of 1.97% and 4.25%, respectively, showing a good tendency for the conservation of this zone of Porto Alegre and Viamão (RS). Regression models had R^2 of 0.235 for the degradation process and R^2 of 0.824 for regeneration. In both land use and land cover change processes, the most correlating drive factor was the edge density.

Keywords: CVA, NDVI, PlanetScope, Savitzky-Golay, Temporal Series.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	18
1.1.1. Objetivo Geral	18
1.1.2. Objetivos Específicos	18
1.2. ÁREA DE ESTUDO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. AQUISIÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	21
2.2. NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA EM SÉRIES TEMPORAIS	28
2.3. DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA	30
2.4. MÉTODOS DE ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE MUDANÇAS	33
3. PRIMEIRO ARTIGO - Análise multitemporal de imagens PlanetScope em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS	36
1 Introdução	38
2 Área de estudo, materiais e métodos	41
2.1 ÁREA DE ESTUDO	41
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	43

2.2.1 Aquisição das imagens de nanossatélites	44
2.2.2 Separação das bandas espectrais.....	44
2.2.3 Mosaicagem das bandas espectrais	45
2.2.4 Corregistro das Bandas Espectrais	45
2.2.5 Recorte da área de estudo	46
2.2.6 Cálculo de NDVI e empilhamento das imagens.....	47
2.2.7 Filtragem Savitzky-Golay	48
2.2.8 Amostragem das classes de cobertura e uso da terra	49
2.2.9 Cálculo de métricas temporais	50
3 Resultados obtidos.....	50
4 Discussões	54
5 Conclusões	58
Referências bibliográficas	60
4. SEGUNDO ARTIGO - Análise de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra e fatores condicionantes em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre	64
1 Introdução.....	66
2 Objetivo.....	67
3 Área de estudo, materiais e método.....	68
3.1 ÁREA DE ESTUDO	68
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.2.1 Pré-processamentos.....	70
3.2.2 Normalização radiométrica	70
3.2.3 Análise de vetor de mudança (CVA).....	72
3.2.4 Preparação dos dados sócio-econômicos	73
3.2.5 Preparação dos dados de cobertura e uso da terra	74
3.2.6 Modelos de regressão dos dados geomorfométricos, socio-econômicos e ambientais	74
4 Resultados e discussões	76
4.1 DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE COBERTURA E USO DA TERRA.....	76

4.2 FATORES CONDICIONANTES DE MUCT	78
5 Conclusões e considerações finais	81
Referências bibliográficas	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
Referências gerais.....	89

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.....	20
Figura 2 - Nanossatélite CubeSat 3U.....	23
Figura 3 - Processamento das Imagens PlanetScope.....	25
Figura 4 - Diagrama de Kauth-Thomas.....	29
Figura 5-Componentes da Detecção de Mudança.....	30
PRIMEIRO ARTIGO - Análise multitemporal de imagens dos nanossatélites PlanetScope em área rururbana da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS	
Figura 1 - Localização geral da área de estudo.....	42
Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.....	43
Figura 3 - Deslocamento entre imagens de diferentes datas, com variações de brilho e contraste.....	45
Figura 4 - Localização dos pontos amostrados de MUCT.....	50
Figura 5 - Gráfico dos perfis de NDVI de classes sem mudança para cada frequência temporal.....	52
Figura 6 - Gráfico dos perfis de NDVI de mudança para cada frequência temporal.....	53
SEGUNDO ARTIGO - Análise de detecção de mudanças e fatores condicionantes em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre	
Figura 1 - Localização da área de estudo.....	68
Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.....	69
Figura 3 - Variáveis geomorfológicas, socio-econômicas e ambientais.....	75
Figura 4 - Resultados da CVA entre os anos de 2016 e 2018.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do CubeSat 3U e de seu Sensor.	24
Tabela 2 - Características dos Produtos PlanetScope.	26
Tabela 3 - Métodos de Normalização Radiométrica.	28
PRIMEIRO ARTIGO - Análise multitemporal de imagens dos nanossatélites PlanetScope em área rururbana da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS	
Tabela 1 - Métricas quinzenais das amostras selecionadas.	54
SEGUNDO ARTIGO - Análise de detecção de mudanças e fatores condicionantes em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre	
Tabela 1 - Resultados percentuais da CVA.	78
Tabela 2 - Resultados do modelo OLS do processo de degradação	79
Tabela 3 - Resultados do modelo de regressão espacial global do processo de degradação	79
Tabela 4 - Resultados do modelo OLS do processo de regeneração	80
Tabela 5 - Resultados do modelo de regressão espacial global do processo de regeneração	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- 6S** - *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*
ACP - Análise de Componentes Principais
APA - Área de Proteção Ambiental
APAN - Área de Proteção ao Ambiente Natural
BOA - Reflectância no Superficial
CCD - *Charge-Coupled Device*
CMV - Composição de Máximos Valores
CVA - Análise de Vetor de Mudança
DN - Números Digitais
ERTS-1 - *Earth Resources Technology Satellite*
FR - Taxa de Frequência
FUNAI - Fundação Nacional do Índio
GSFC - *NASA Goddard Space Flight Center*
IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISA - Instituto Socioambiental
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MUCT - Mudanças do Uso e Cobertura da Terra
NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
PDDUA - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre
PIF - Feição Pseudo-Invariante
PNM - Parque Natural Municipal
REBIO - Reserva Biológica
RMSE - Erro Médio Quadrático
RS - Estado do Rio Grande do Sul
SIG - Sistemas de Informações Geográficas
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TEK - Conhecimento Ecológico Tradicional
TIs - Terras Indígenas
TOA - Reflectância no Topo da Atmosfera
UCs - Unidades de Conservação
UTM - Universal Transversa de Mercator
ZA - Zona de Amortecimento

1. INTRODUÇÃO

As áreas protegidas no Brasil englobam as Unidades de Conservação (UCs), definidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) - Lei 9985/2000, Terras Indígenas (TIs) e terras ocupadas por remanescentes das comunidades quilombolas, definidas como áreas naturais e seminaturais manejadas, com objetivos de conservação e uso sustentável da biodiversidade (BRASIL, 2006).

As UCs são áreas com significativa importância de conservação tanto para flora como para a fauna e que também protejam meios de vida de populações tradicionais, provenham serviços ecossistêmicos e auxiliem na redução dos efeitos globais causados pelas mudanças climáticas. Esta tipologia de área protegida é prevista no SNUC, estando dividida em duas categorias: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável. As UCs de proteção integral têm como objetivo a preservação da natureza e admite o uso indireto dos recursos naturais. As UCs de uso sustentável possibilitam a utilização de forma direta de parte dos seus recursos naturais, compatibilizado com a sua conservação (BRASIL, 2011; YOUNG; MEDEIROS, 2018).

No Brasil são denominadas TIs os locais onde historicamente há ocupação de indígenas das mais diversas etnias. Estas áreas são utilizadas para atividades produtivas e para a preservação dos recursos ambientais e socioculturais; são bens da União, porém inalienável, indisponível e seus direitos são imprescritíveis. (FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (FUNAI), 2018a).

Estudos desenvolvidos por Ferreira, Venticinque e Almeida (2005); IPAM (2015); Instituto Socioambiental (ISA) (2017) e FUNAI (2018a) demonstraram que áreas demarcadas como TIs e UCs, no Bioma Amazônia, funcionam como inibidoras de desmatamento, cumprindo assim sua função principal na conservação e uso racional dos recursos naturais. Estas áreas contribuem diretamente na proteção do meio ambiente e da biodiversidade, bem como para o controle climático global, provendo serviços ambientais à população.

No Brasil atualmente existem 1.580 UCs, recobrando cerca de 168.000.000 ha, entre UCs federais, estaduais e municipais. Já as TIs somam um total de 720 unidades, sendo que 486 são áreas homologadas, 118 áreas em estudo, 42 identificadas e 74 declaradas,

totalizando aproximadamente 117.000.000 ha. Estas áreas protegidas recobrem cerca de 33,5% do território nacional. (ISA, 2018; YOUNG; MEDEIROS, 2018).

No contexto do Estado do Rio Grande do Sul (RS) existem 73 UCs, nas três esferas de poder, recobrando aproximadamente 344.697 ha, 1,2% da área do RS. E ainda as TIs delimitadas, regularizadas ou declaradas são um total de 29 áreas, totalizando cerca de 112.526 ha, ou não mais que 0,4% do território estadual (FUNAI, 2018b; RIO GRANDE DO SUL, 2018).

A Aldeia Verdadeira (Tekoá Anhetenguá), com cerca de 26 ha, localiza-se no município de Porto Alegre, RS. É uma área de TI tradicionalmente ocupada, conforme o artigo 231 da Constituição Federal de 1988, e está em fase de estudo pela FUNAI. Esta Aldeia se localiza sobreposta a área da Zona de Amortecimento (ZA) da Reserva Biológica (REBIO) do Lami José Lutzenberger e na faixa circundante de 10 km de UCs (Lei Estadual nº 11.520/2000), Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado Grande, Parque Natural Municipal (PNM) Morro do Osso e Parque Natural Municipal Saint'Hilaire. Esta faixa de 10 km no entorno das UCs localizadas no RS é classificada como áreas de uso especial, para garantir sua conservação, protegidas por instrumentos legais ou não, com atributos especiais de valor ambiental e cultural. Conforme MMA (2018) esta localidade é classificada como alta e extremamente alta, de importância biológica e de prioridade de ação.

Estas características especiais da área que abrange a Aldeia Verdadeira e seus entornos justificam os estudos que buscam analisar temporalmente a cobertura e uso da terra nesta região. Adicionalmente, esta área é interessante para a implementação de corredores ecológicos, instituídos pelo SNUC, que são um elo entre diferentes UCs que possibilitam o fluxo gênico entre espécies da fauna e flora (MMA, 2000).

Os dados de séries temporais de imagens de Sensoriamento Remoto possibilitam a realização do monitoramento de forma contínua destas áreas de relevante interesse para conservação. A partir da primeira década dos anos 2000 surgiu uma nova tendência de sensores orbitais, com pequena massa, tamanho e custos, denominados de nanossatélites, que tem possibilitado a ampliação do campo de imagens orbitais (SANDAU, 2010).

A constelação de nanossatélites PlanetScope foi a pioneira neste novo tipo de plataformas orbitais, as imagens geradas possuem alta resolução espacial e radiométrica com tempo de revisita diário, que são características importantes para a detecção de mudanças de

uso e cobertura da terra (PLANET, 2018a). Estes dados começaram a ser disponibilizados com correções para reflectância superficial em agosto de 2016. Por serem dados recentes, ainda não há uma literatura consolidada sobre procedimentos de pré-processamentos e acurácia das imagens destes sensores nas principais revistas científicas da área. Assim, esta dissertação vem colaborar com a proposição de procedimentos de pré-processamentos visando à análise temporal de série histórica de imagens. Conforme Planet (2018c) estas imagens disponibilizadas possuem precisão para serem aplicadas em diversas soluções de monitoramento.

A detecção de mudanças de uso e cobertura da terra é uma importante metodologia de análise e monitoramento ambiental, visando o planejamento e gerenciamento dos usos da terra, em escalas local, regional, nacional e internacional. Esta metodologia está estabelecida a mais de quatro décadas, com diversas técnicas propostas. Em paralelo, a análise de séries temporais também possibilita a aquisição de informações importantes sobre o comportamento temporal de alvos terrestres, podendo assim estabelecer o perfil temporal de cada classe de uso e cobertura da terra e detectar anomalias em dado período temporal (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015, WULDER *et al.*, 2018).

Nas análises de detecção de mudanças do uso e cobertura da terra com imagens multitemporais é necessário atentar aos fatores geradores de inconsistências nos valores de brilho entre as imagens, resultantes de variações da geometria de iluminação (fonte da radiação eletromagnética e da geometria de visada do sensor), bem como por influência de constituintes atmosféricos (gases, aerossóis, material particulado em suspensão e vapor d'água), principalmente em sensores ópticos passivos e orbitais (HEO, FITZHUGH, 2000; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

As técnicas de detecção de mudança são baseadas em mudanças reais ao longo do tempo, aplicadas em ambientes urbano, rural e florestal (ALQURASHI, KUMAR, 2013; YU *et al.*, 2016). Estas mudanças são dinâmicas e resultantes da complexa interação entre forças físicas, biológicas e sociais, ocasionando complexos problemas (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001; DENG *et al.*, 2009). A análise espaço-temporal permite modelar fatores condicionantes de mudanças, através de análise de regressão, utilizando dados de diferentes fontes (DEWAN, YAMAGUCHI, 2009).

Esta dissertação propõe a aplicação de técnicas de detecção de mudanças do uso e cobertura da terra (MUCT) em imagens de nanossatélites, para a identificação dessas variações espaço-temporais, dos fatores condicionantes da MUCT e de suas implicações no entorno da Aldeia Verdadeira.

Os métodos de processamento e análise dos dados desta dissertação foram divididos em dois artigos científicos, apresentados nos capítulos 3 e 4, que foram submetidos a revistas científicas, com classificação Qualis entre A1 e B2 para a área de Geociências.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar mudanças no uso e cobertura da terra no entorno da Aldeia Verdadeira com uso de imagens de nanossatélites, por meio da aplicação de métodos de detecção de mudanças.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Compor uma série temporal das imagens de nanossatélites (constelação PlanetScope), que possibilite detectar mudanças no uso e cobertura da terra da área de estudo;
- b) Realizar a análise de vetores de mudança, com a determinação de limiares;
- c) Mensurar índices físicos para a classificação de mudança (recuperação e degradação);
- d) Analisar a dinâmica espaço-temporal das mudanças detectadas;
- e) Analisar fatores condicionantes de mudança com base em questões físicas, sócio-econômicas e ambientais do local.

1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa abrange uma extensão de 6,5 km (19.786 ha) a partir dos limites da Aldeia Verdadeira (Tekoá Anhetenguá), localizada entre os bairros Lomba do Pinheiro e Pitinga, município de Porto Alegre (RS), com centróide sobre as coordenadas geográficas 30°8'45,173" S e 51°5'32,603" O (Figura 1). Abrangendo os bairros Extrema, Lageado, Lomba do Pinheiro, Pitinga, Restinga e São Caetano do município de Porto Alegre (RS) e os bairros Florescente, Planalto, Santo Onofre, São Tomé, Viamópolis e Vila Universal pertencentes ao município de Viamão (RS). Conforme o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PDDUA), a área de estudo está situada em Área de Proteção ao Ambiente Natural (APAN).

O clima da área de estudo é subtropical úmido com verão quente (Cfa), conforme a classificação de Köppen.

A área de estudo está localizada na morfoestrutura Bacia Sedimentar de Pelotas, morfoesculturas Planícies e Terras Baixas Costeiras, e Escudo Uruguaio Sul-riograndense, representado pela morfoesculturas Planalto Uruguaio Sul-riograndense. Com padrões de formas de planícies fluvio-lagunares com banhados, colinas com topos convexos e planos e morros com topos convexos.

Conforme Hasenack (2008) a ocorrência de vegetação nesta área é classificada como bosque, campo manejado, campo nativo, cultivo temporário, mata degradada, mata nativa, silvicultura e vegetação arbustiva.

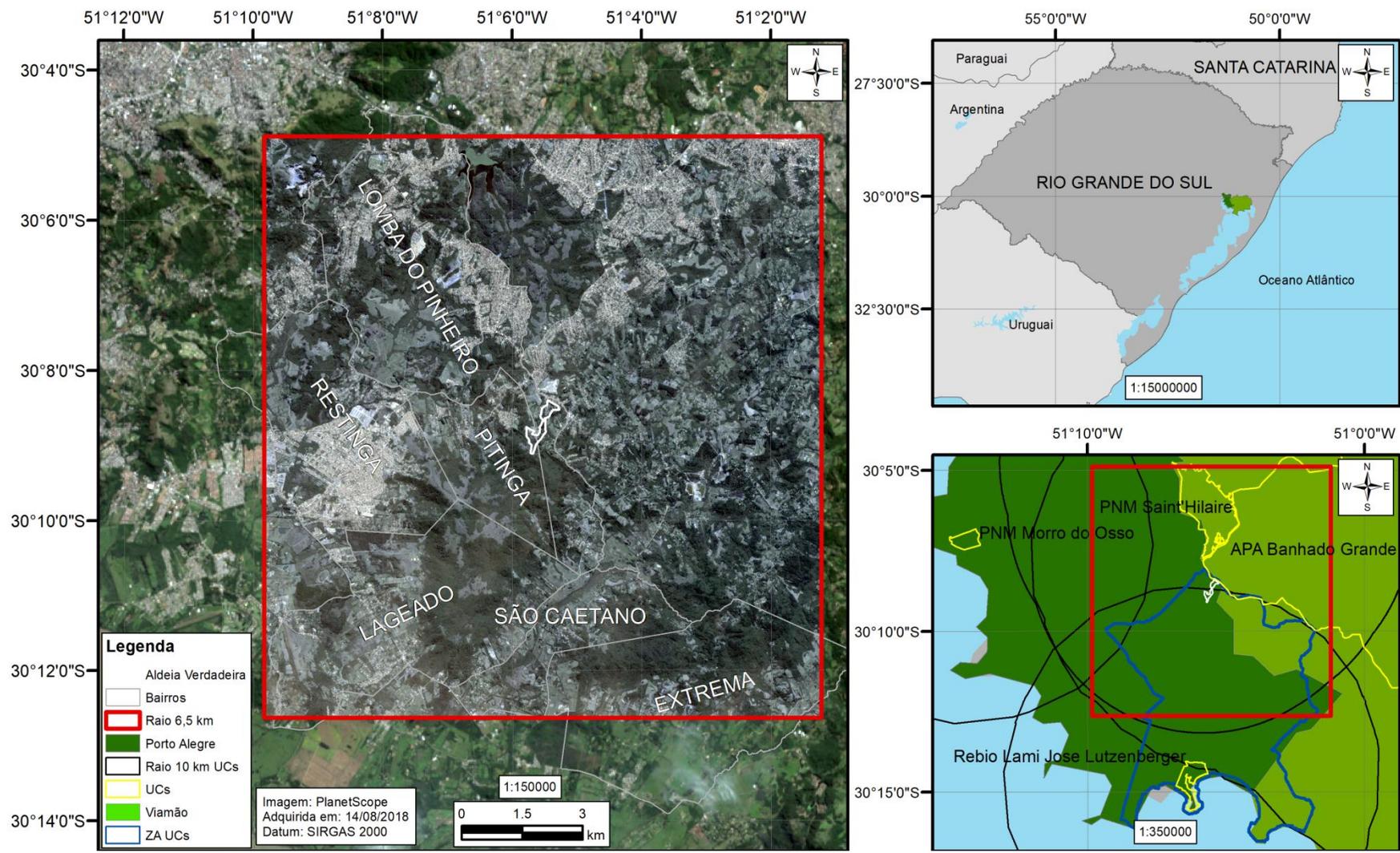


Figura 1 - Localização da Área de Estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa é fundamentada em métodos de pré-processamento e técnicas de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra.

2.1. AQUISIÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Os dados de Sensoriamento Remoto remontam ao ano de 1858 com a primeira fotografia aérea tomada a bordo de um balão de ar quente. Até a década de 1960 os grandes avanços foram essencialmente ligados à corrida armamentista das duas grandes guerras mundiais e outros conflitos, estendendo-se ao período da Guerra Fria (JENSEN, 2009). Atualmente a ciência do Sensoriamento Remoto encontra-se no segundo estágio de seu desenvolvimento, onde se tem uma numerosa organização de institutos, sociedades e revistas especializadas, intenso avanço tecnológico e auto-análise (JENSEN, 2009).

A obtenção de dados de Sensoriamento Remoto dos recursos terrestres a bordo de plataformas orbitais teve início com o ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*), em 1972, renomeado em 1975 como Landsat. A partir da década de 1990 foram lançados em órbita satélites com sensores com resoluções espacial e espectral superiores e no início do século XXI essas resoluções foram mais aprimoradas. Atualmente mais de 50 países operam plataformas orbitais de Sensoriamento Remoto (JENSEN, 2009; TOTH, JÓZKÓW, 2016).

Na primeira década dos anos 2000 surgiu uma nova tendência de satélites para observação da terra, com menor massa e custos, que pelo seu menor tamanho em relação aos microssatélites (e.g, RapidEye) foram nomeados de nanosatélites (SANDAU, 2010). Os nanosatélites podem ter entre 1 e 10 kg de massa e quando têm formato cúbico de 10 cm (1U) ou pouco maiores são denominados CubeSat (DUNBAR, 2018).

O primeiro CubeSat foi lançado no ano de 2000, chegando ao total de 857 lançamentos realizados. Atualmente existem cerca de 589 nanosatélites em órbita (SANDAU, 2010; KULU, 2018).

Diversas instituições têm lançado missões com utilização do CubeSat, entre as quais o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 2012 com o MicroMAS para observação de tempestades, ciclones tropicais e furacões; a Universidade de Michigan em 2011, que lançou o M-Cubed para imageamento óptico de média resolução espacial (200 m); Universidade de Stanford em 2003 com o Quakesat, para medir terremotos; e a NASA *Goddard Space Flight Center* (GSFC) com o *Cloud* Cubesat, para medir propriedades de aerossol e nuvens (SELVA; KREJCI, 2012; BLACKWELL, CAHOY, ERICKSON, 2013; SWARTWOUT, 2013).

Nos últimos anos, diversos países lançaram nanossatélites, como o Brasil, China, Estados Unidos, Japão, Rússia, Israel e alguns países europeus, por essa tecnologia apresentar baixo custo, possibilidade do aumento de missões, agregando maior diversificação ao uso de dados de observação da Terra (SANDAU, 2010). O baixo custo dos nanossatélites possibilita o uso dos dados dos sensores acoplados para pesquisa, defesa e comercial. Com finalidades comerciais, a companhia Planet foi pioneira no uso de nanossatélites (SANDAU, 2010; TOTH, JÓZKÓW, 2016).

A companhia Planet opera as constelações de observação da terra PlanetScope (mais de 175 nanossatélites), RapidEye (5 satélites) e Skysat (5 satélites). A constelação PlanetScope é a primeira das três gerações de nanossatélites projetadas para operar na órbita terrestre com diferentes sistemas ópticos (PLANET, 2018a; EOPORTAL, 2018).

Em junho de 2016 foram lançados os primeiros 12 nanossatélites CubeSat 3U (Figura 2) da constelação PlanetScope. Atualmente há entre 120 e 180 nanossatélites em órbita (UNION OF CONCERNED SCIENTIST (UCS), 2017; BAYLOR, 2018; PLANET, 2018a, PLANET 2018b).

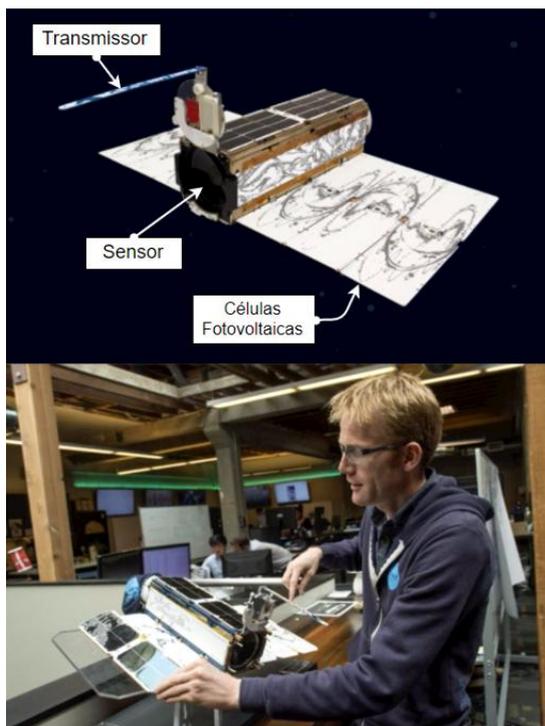


Figura 2 - Nanossatélite CubeSat 3U.

Fonte: Adaptado de PLANET (2018b); PLANET LABS BUYS ..., (2017).

O nanossatélite CubeSat 3U 10x10x30 cm, com massa de 4 kg, tem capacidade de adquirir até 20.000 km² de imagens da superfície terrestre, com resolução de 11 MP, por uma matriz de detectores do tipo CCD (*Charge-Coupled Device*) (PLANET, 2018a; EOPORTAL, 2018).

O sensor óptico CubeSat 3U pode cobrir aproximadamente 150x106 km²/dia, podendo gerar imagens diárias de toda a superfície terrestre, a partir de órbita quase-polar heliosíncrona, a cerca de 475 km de altitude. Estes dados têm resolução espectral de três bandas no visível ou quatro bandas, adicionada a infravermelho próximo, a partir de um filtro de divisão de quadro - Tabela 1 (PLANET, 2018a).

Correções radiométricas e geométricas dos dados PlanetScope possibilitam a geração de três produtos, em diferentes níveis de processamento, sendo destacado na Figura 3 (em vermelho) o produto que será utilizado nesta pesquisa.

Os produtos gerados do processamento são PlanetScope Basic Scene, PlanetScope Ortho Scene e PlanetScope Ortho Tile (tabela 2).

Tabela 1 - Características do CubeSat 3U e de seu Sensor.

Altitude da Órbita (Referencia) (km)	475 (~98° de inclinação)	
Max/Min Latitude	±81,5°	
Hórorio de Passagem na Linha do Equador	9:30-11:30 am (Horário Solar Local)	
Bandas Espectrais (nm)	R	590-670
	G	500-590
	B	455-515
	NIR	780-860
Tamanho do Quadro (km)	24,6 x 16,4	
Tempo de Revisita	Diário no Nadir	
Alcance Dinâmico da Câmera (bit)	12	

Fonte: Adaptado de PLANET (2018a).

Os produtos nível 3A e 3B são ortoretificados, com correções das distorções da imagem causadas pelo terreno, utilizando coeficientes polinomiais racionais e modelos de terreno de diferentes fontes (PLANET, 2018a).

A precisão posicional para estes produtos em 80% dos casos é melhor do que 7 m (PLANET, 2018a), em análise realizada por Dobrinic; Gasparovic; Župan (2018), com área de estudo localizada em Zagreb, capital da Croácia, com 29 pontos de controle a acurácia horizontal encontrada foi de 2,63 m o erro médio; 4,09 m de desvio padrão e 4,8 m o Erro Médio Quadrático (RMSE).

Nessa correção geométrica das imagens são utilizados pontos de controle terrestre, modelos digitais de elevação e imagens de satélite e aéreas de alta resolução, como o mapa base ALOS com 2,5m de resolução espacial (PLANET, 2018a).

A detecção da cobertura de nuvens nas imagens também é processada baseada na radiância esperada para cada pixel em determinados períodos do ano, sendo classificado como nuvem o pixel que apresentar valor de radiância abaixo do esperado para o período do ano. A base de dados de radiância utilizou os dados históricos do satélite Landsat 8 (PLANET, 2018a).

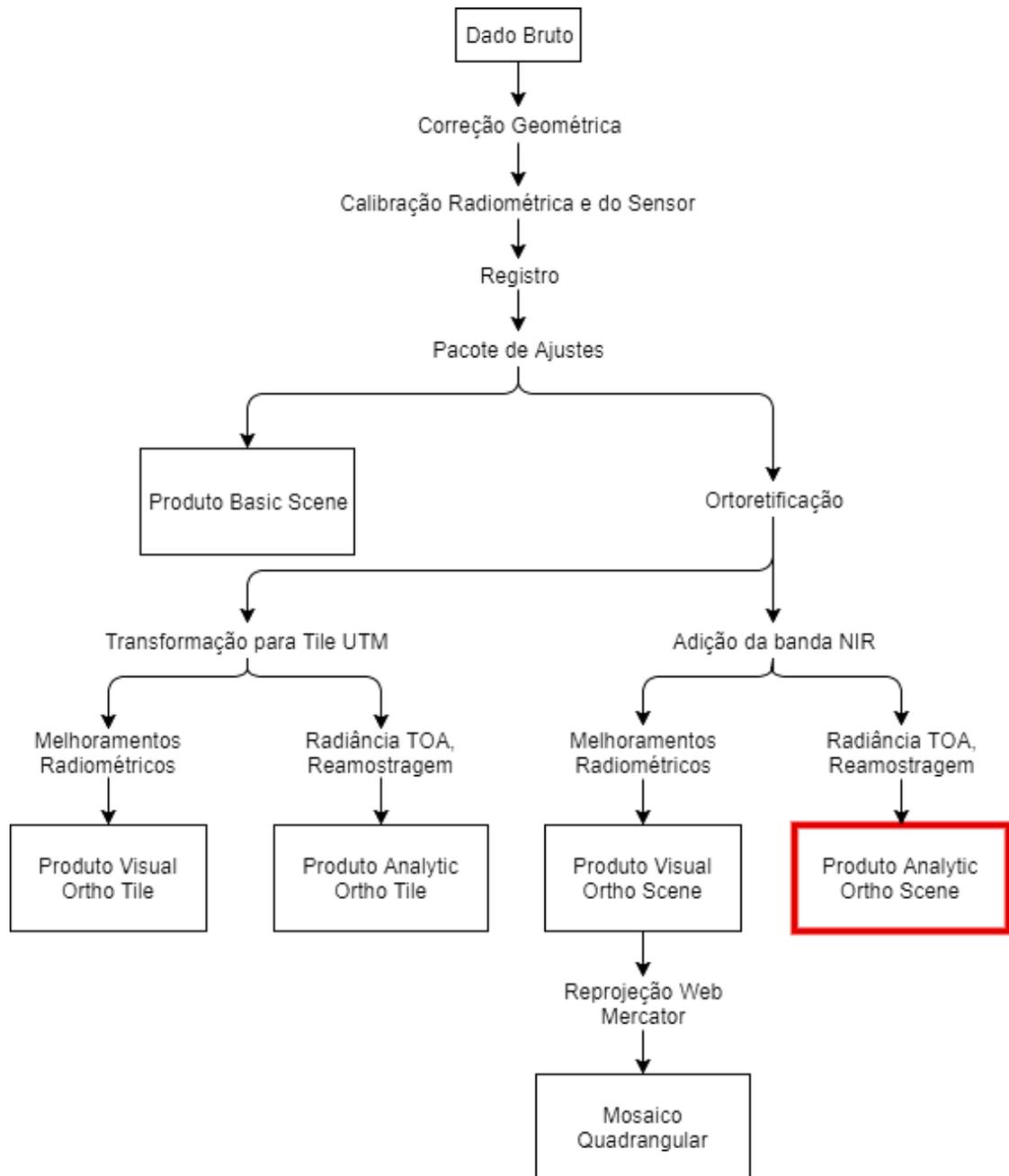


Figura 3 - Processamento das Imagens PlanetScope.
Fonte: Adaptado de PLANET (2018a).

O co-registro das bandas é realizado através do Planet Pipeline, onde as imagens são retificadas ao nível do terreno e posteriormente são utilizadas para realizar o alinhamento do solo e co-registro das cenas posteriores da mesma faixa (PLANET, 2018a).

Tabela 2 - Características dos Produtos PlanetScope.

Produto	PlanetScope Basic Scene	PlanetScope Ortho Scene	PlanetScope Ortho Tile
Nível	1B	3B	3A
Descrição	Correção radiométrica e no sensor, dimensionado para radiância TOA (sensor), sem projeção cartográfica e baseado em cena para usuários com recursos avançados de processamento de imagens e correção geométrica.	Ortoretificado, dimensionado para TOA (sensor), adequado para uso analítico e visual, baseado em cena e com projeção cartográfica.	Correção radiométrica e no sensor, ortoretificado e com projeção cartográfica em UTM.
Res. Espacial (m)	Solo	3,7	-
	Ortoretif.	-	3,125
Res. Radiométrica (bits)	Visual	-	8
	Analítico	DN = 12	DN = 12
		Radiância = 16	Radiância = 16
Res. Espectral	Visual	-	RGB
	Analítico	RGB+NIR	

Fonte: Adaptado de PLANET (2018a).

A precisão radiométrica de calibração foi de 5% medida em laboratório. As imagens têm resolução radiométrica de 12 bits e após os processamentos e correção radiométrica são escalonadas para 16 bits. Os Números Digitais (DN) são escalonados para 0,01 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ para minimizar os erros de quantização, representando os valores absolutos de radiância calibrada (PLANET, 2018a).

Para converter os DN em radiância (equação 1), para os produtos analíticos, é necessário a aplicação do fator de escala radiométrico (RSF) nos DN.

$$RAD(i) = DN(i) \times RSF(i) \quad (1)$$

Em que $RSF(i)$ é o fator de escala radiométrico, com valor de 0,01. Os valores resultantes são de radiância no sensor para cada pixel expresso em $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ (PLANET, 2018a).

A conversão dos produtos analíticos para reflectância TOA (equação 2) é feita utilizando valores do coeficiente de reflectância calibrada ($RC(i)$), encontrada no arquivo formato XML nos DN (PLANET, 2018a).

$$REF(i) = DN(i) \times RC(i) \quad (2)$$

A partir da utilização da imagem com reflectância corrigida para TOA é realizada a correção para reflectância BOA. Para o cálculo da reflectância BOA, pixel a pixel, é empregado o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) separadamente para cada sensor da constelação PlanetScope. Ainda é utilizado no cálculo dados de vapor de água e ozônio do produto MODIS NRT. Os resultados desta correção são altamente correlacionados com os dados Landsat 8, quando utilizados em análise temporal com uso de índice de vegetação (PLANET, 2018c).

Dados com reflectância BOA são requeridos para o uso em análises quantitativas, modelagem de parâmetros geofísicos e biofísicos e na análise de mudanças no uso e cobertura da terra.

O produto que será utilizado nesta pesquisa é o PlanetScope Ortho Scene corrigido para reflectância de superfície que é disponibilizado no formato GeoTIFF, reamostrado para resolução espacial de 3 m, na projeção UTM e Datum WGS84, com resolução radiométrica de 16 bits (65.536 níveis de cinza) e valores de reflectância escalonados por 10.000.

2.2. NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA EM SÉRIES TEMPORAIS

Estudos de detecção de mudança que necessitam utilizar imagens de séries temporais, e/ou obtidas por diferentes sensores são prejudicados por inconsistências entre os dados. Essas podem ser causadas por mudanças na intensidade da irradiância solar no topo da atmosfera, distância Sol-Terra, nos ângulos azimutal e zenital solar (geometria de iluminação), variações na constituição atmosférica (gases, aerossóis, material particulado em suspensão e vapor d'água), que alteram os valores de brilho dos pixels da imagem (HEO, FITZHUGH, 2000; O'CONNELL, 2012).

Um método muito utilizado para reduzir a interferência do sensor e ambiente na imagem é a normalização radiométrica. Os métodos de normalização mais utilizados estão descritos na Tabela 3. A normalização radiométrica pode ser dividida em métodos estatísticos, combinação de histogramas e de regressão linear (HONG, 2007; YANG, 2000).

Tabela 3 - Métodos de Normalização Radiométrica.

Método	Descrição	Autor(es)
Regressão Simples	Equação linear dos mínimos quadrados para derivar os coeficientes de normalização, aplicado banda por banda. Utiliza valores de média e variância da radiância entre duas datas distintas.	Jensen (1983)
Combinação de Histogramas	Distribuição similar dos valores de brilho no histograma entre imagem de referência e imagem a ser modificada.	Richards (1986)
Feição Pseudo-Invariante (PIF)	Elemento com reflexão estatisticamente sem variação, assumido como uma função linear.	Scott <i>et al</i> (1988)
Conjunto Sem Mudança	Utiliza a região do infravermelho próximo para identificar regiões sem mudança de água e terra e estabelecer uma linha de regressão inicial.	Elvidge <i>et al</i> (1995)

Fonte: Yuan, Elvidge (1996); Heo, Fitzhugh (2000); Yang (2000) e Hong (2007).

Diferentemente dos métodos de normalização absoluta, em que são necessários dados da atmosfera no momento de passagem do satélite, no método relativo utiliza-se uma imagem como referência, escolhida pelo analista para normalizar as demais imagens, porém neste caso não há remoção dos efeitos causados pela atmosfera (HALL *et al*, 1991; YANG, 2000; HONG, 2007).

Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) propuseram uma metodologia de normalização radiométrica baseada na aquisição de um conjunto de dados de controle radiométrico e determinação empírica de coeficientes para transformação linear. No método desses autores a aquisição dos dados de controle é realizada através do diagrama Kauth-Thomas (Figura 4).

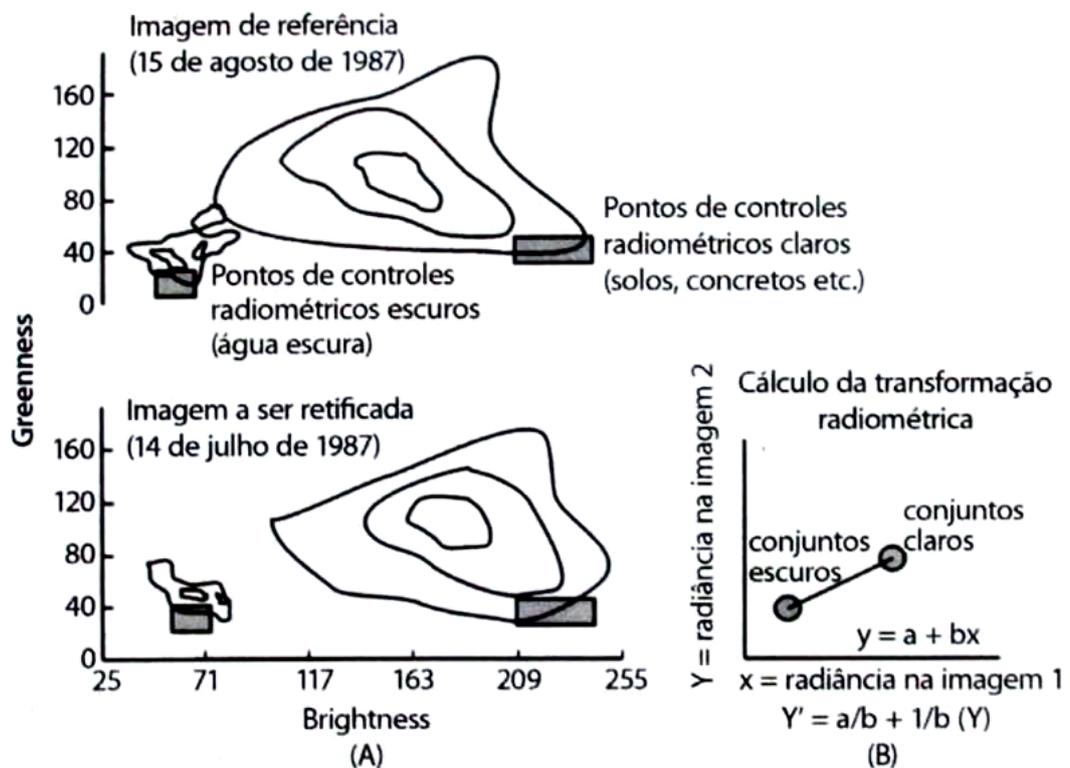


Figura 4 - Diagrama de Kauth-Thomas.
Fonte: Adaptado de Ponzoni, Shimabukuro, Kuplich (2012).

Os dados de referência radiométrica serão aqueles pixels claros (e.g., solo exposto e telhados de casas) e escuros (e.g., sombras e corpos d'água limpos) que não apresentarem variação entre as duas cenas, os quais serão usados com os dados do conjunto claro e escuro a serem normalizados para a geração de uma equação linear de transformação - Equação 3 (PONZONI, SHIMABUKURO, KUPLICH, 2012).

$$T_i = \left(\frac{Br_i - Dr_i}{Bs_i - Ds_i} \right) \times X_i + \left(\frac{Dr_i \times Bs_i - Ds_i \times Br_i}{Bs_i - Ds_i} \right) \quad (3)$$

Em que:

T_i = Imagem normalizada;

X_i = Imagem a ser normalizada;

Br_i = Média do conjunto de referencia clara;

Dr_i = Média do conjunto de referencia escura;

Bs_i = Média do conjunto claro a ser normalizado;

Ds_i = Média do conjunto escuro a ser normalizado;

i = bandas espectrais.

2.3. DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA

As técnicas de detecção de mudança baseiam-se na variação espectral direta, ou seja, em mudanças reais ocorridas ao longo do tempo em determinada área de interesse. Podem ser aplicadas em variados ambientes, como o urbano, para monitoramento de mudanças no uso e cobertura da terra e de desastres; rural, para monitoramento de cultivos e produção de pastagem; e florestal, para monitoramento do desmatamento e incêndios florestais entre tantos outros usos (MALDONADO, 2005; ALQURASHI; KUMAR, 2013; YU *et al.*, 2016).

Tewkesbury *et al.* (2015) divide a metodologia de detecção de mudança em quatro componentes (Figura 5).

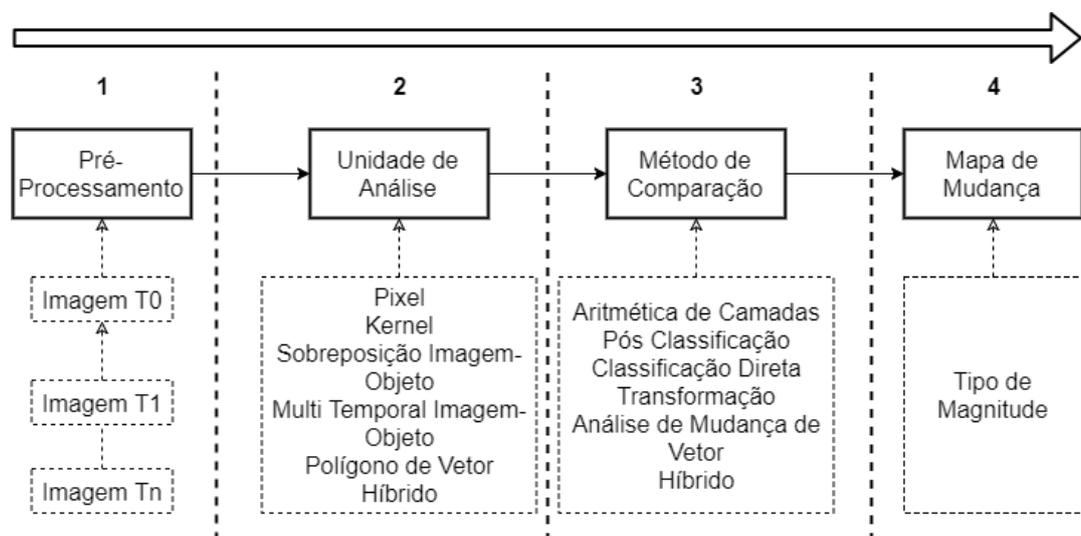


Figura 5-Componentes da Detecção de Mudança.

Fonte: Adaptado de TEWKESBURY *et al.* (2015).

A análise de detecção de mudança pode ser classificada em dois tipos: orientada ao objeto e pixel a pixel (JENSEN, 2009).

Os tipos de análise orientada ao objeto podem ser representados pelas unidades de análise de sobreposição imagem-objeto e multitemporais imagem-objeto; os demais métodos são classificados como do tipo pixel a pixel (TEWKESBURY *et al.*, 2015).

As técnicas mais difundidas de detecção de mudança são as do grupo de aritmética de camadas, imagem-diferença e razão simples; pós-classificação; composição temporal; de transformação, Análise de Componentes Principais (ACP), a técnica híbrida e a análise de vetor de mudança (CVA) (SINGH, 1989; MALDONADO, 2005; ALQURASHI; KUMAR, 2013; TEWKESBURY *et al.*, 2015).

As técnicas de imagem-diferença e razão simples são operações de fácil implementação, que realçam as diferenças radiométricas ocorridas por mudanças nas imagens, podendo-se utilizar bandas de mesma data ou a mesma banda para diferentes datas e também com índices de vegetação, onde é subtraída a imagem mais recente pela mais antiga. Os resultados próximos a zero indicam as regiões em que não ocorreram mudanças; esta é indicada através da extrapolação de um limiar, podendo ser empírico ou paramétrico (MALDONADO, 2005; TEWKESBURY *et al.*, 2015).

A pós-classificação é a comparação de duas ou múltiplas imagens classificadas independentemente. Após a análise é produzido um mapa apresentando a matriz completa de mudanças, a calibração radiométrica não é necessária (SINGH, 1989; TEWKESBURY *et al.*, 2015).

A composição temporal é utilizada para visualizar o comportamento temporal de feições isoladas, realizada através da combinação RGB de imagens de diferentes datas, gerando uma composição multitemporal. A identificação e intensidade de mudança ocorrida são dadas pela maior saturação das cores na composição resultante. A saturação próxima a zero significa uma não mudança (MALDONADO, 2005).

A ACP é uma transformação matemática linear que destaca mudanças nos alvos entre imagens e determina a extensão de correlação entre as bandas de uma mesma cena. Com uma transformação matemática são removidos os componentes correlacionados, que indicam nenhuma mudança. Esta técnica utiliza a rotação dos eixos cartesianos, resultando em valores

não passíveis de discriminação da classe de mudança (MALDONADO, 2005; TEWKESBURY *et al.*, 2015).

A técnica híbrida utiliza diversos métodos de comparação: a combinação mais comum é do método de aritmética de camadas com a classificação direta (TEWKESBURY *et al.*, 2015).

A técnica CVA é baseada na direção do ângulo do vetor de mudança e a magnitude da mudança, entre duas imagens de diferentes datas, comparado com o limiar de critério de mudança. Para isto são utilizadas duas dimensões espectrais: brilho e verdor (MALILA, 1980; JÚNIOR *et al.*, 2011).

A CVA envolve as características espaciais, espectrais e temporais das imagens. Para se obter maior precisão na detecção de mudança é necessário que as imagens utilizadas tenham registro espacial, normalização radiométrica e calibração atmosférica (MALILA, 1980; CHEN *et al.*, 2003; JÚNIOR *et al.*, 2011).

A Equação 4 define como é calculado um vetor de mudança, onde G é o valor do pixel em nível de cinza da data 1, H é o valor do pixel na data 2 e n o número de bandas. A magnitude é dada pela Equação 5 (CHEN *et al.*, 2003).

$$\Delta G = H - G = \begin{pmatrix} h_1 & - & g_1 \\ h_2 & - & g_2 \\ h_n & - & g_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\|\Delta G\| = \sqrt{(h_1 - g_1)^2 + (h_2 - g_2)^2 + \dots + (h_n - g_n)^2} \quad (5)$$

Quanto maior for a magnitude ($\|\Delta G\|$) tanto maior será a possibilidade de haver mudança. Quando se necessita uma aplicação avançada do método, pode-se calcular o limiar de magnitude, por meio de uma função da direção da mudança e do ponto de partida (MALILA, 1980; CHEN *et al.*, 2003).

É possível utilizar mais de duas dimensões espectrais no cálculo do vetor de mudança; entretanto, isto faz com que a análise e identificação das mudanças sejam dificultadas. Combinando a CVA com outros métodos é possível extrair mais informações do que apenas sua utilização sozinha (JOHNSON *et al.*, 1998; CHEN *et al.*, 2003; JÚNIOR *et al.*, 2011).

A metodologia de detecção mudanças foi utilizada por Olivero *et al.* (2016) em estudo realizado no Escudo da Guiana Ocidental, Venezuela, numa área de 51.000 km², para mapear mudanças de uso e cobertura da terra no período de 2000 a 2009. A partir do uso de imagens MODIS do produto MOD13 (NDVI), realizou-se composição temporal das imagens para um período bimestral e estas foram classificadas usando padrões de mudança temporal do verdor e informações topo-hidrológicas, a partir da abordagem de anomalias no perfil de NDVI, denominada de pulsos. A validação das classes mapeadas foi realizada através da técnica de conhecimento ecológico tradicional (TEK), em que se utilizaram informações obtidas com as comunidades indígenas sobre locais de relevância para os meios de subsistência e usos da terra.

2.4. MÉTODOS DE ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE MUDANÇAS

As mudanças que ocorrem no uso e cobertura da terra são dinâmicas e ocasionadas por diferentes fatores que podem ou não serem controláveis, resultantes da complexa interação entre forças físicas, biológicas e sociais, que geram complexos problemas tanto para o meio urbano quanto para o rural e florestal (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001; DENG *et al.*, 2009; AL-SHARIF; PRADHAN, 2015).

A análise espaço-temporal empregada com o uso de dados de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) auxilia na identificação e representação dos fenômenos de mudança que variam tanto no espaço como no tempo (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001; TAUBENBÖCK *et al.*, 2014).

O método de análise espaço-temporal não se limita a analisar a evolução temporal de mudança, este também é utilizado para encontrar coeficientes para modelagem da mudança, baseado nas características físicas, sociais e históricas da área, interpolando dados de diferentes datas para identificar os locais com alta taxa de mudança - *Hot Spots* (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001; AL-SHARIF; PRADHAN, 2015).

As técnicas de pré-classificação apenas indicam as áreas em que ocorreram mudanças, mas não identificam a natureza desta mudança. Neste caso, as comparações de pós-

classificação são indicadas para analisar temporalmente as mudanças. Estas técnicas são comumente utilizadas para análise em meios urbanos (DEWAN, YAMAGUCHI, 2009).

As técnicas de análise espaço-temporal de mudanças empregadas por Al-Sharif; Pradhan (2015); Deng *et al.*(2009); Dewan, Yamaguchi (2009); Petit, Scudder, Lambin (2001) foram a taxa de frequência (FR), métricas espaciais, análise de forças motrizes e cadeia de Markov, respectivamente.

A técnica FR é um método de análise probabilística bivariado, aplicado a áreas urbanas, onde se calcula a razão entre a probabilidade de mudança e a probabilidade de uma não ocorrência para determinados atributos. Esta é baseada nas associações registradas entre mudança e classes derivadas destes fatores de mudança. Está descrita pelas Equação 6 e Equação 7 (AL-SHARIF; PRADHAN, 2015).

$$FR_{ij} = \frac{N(L \cap C_{ij})/N(L)}{N(C_{ij})/N(C)} \quad (6)$$

Em que:

C_{ij} = atributo da classe j mapeada do fator de mudança $C = (C_i, i = 1, 2, 3, \dots, n)$;

L = mapa de mudança;

$N(C)$ = número total de pixels em toda a área de estudo;

$N(L)$ = número total de pixels de mudança;

$N(C_{ij})$ = número total de pixels na classe C_{ij} ;

$N(L \cap C_{ij})$ = número de pixels de mudança em C_{ij} .

Valores de $FR < 1$ indicam baixa relação com a mudança, valores >1 indicam alta correlação e valores igual a 1 indicam uma condição média. FR é a classificação da faixa de cada fator de mudança.

$$\text{Mapa de Probabilidade de Mudança} = \sum FR \quad (7)$$

A técnica de métricas espaciais, aplicada a diversos tipos de ambiente, em particular o urbano, é definida como a medição derivada de mapas temáticos categorizados de ambientes heterogêneos, em aplicações de conjunto de dados multitemporais. Descreve as mudanças em grau de heterogeneidade espacial. Esta técnica está implementada no pacote estatístico de domínio público FRAGSTATS (HEROLD; COUCLELIS; CLARKE, 2005).

A análise de forças motrizes desenvolvida por Dewan, Yamaguchi (2009) baseia-se na análise de regressão, considerando as variáveis físicas, elevação e inclinação, e socioeconômica, como população e PIB. Esta regressão foi utilizada para avaliar os mecanismos de mudança e padrão espacial.

A cadeia de Markov é um processo estacionário que permite modelar o processo de mudança através da interpolação de um conjunto de dados de curta temporalidade, podendo ser estendido para longa temporalidade se validados durante uma década os mesmos *Hot Spots*. A Equação 8, Equação 9 e Equação 10 descrevem uma cadeia de Markov (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001). A distribuição da cobertura da terra é calculada pela Equação 8.

$$v_{t2} = M \times v_{t1} \quad (8)$$

Em que:

v_{t1} = vetor da coluna da proporção de cobertura da terra de entrada;

v_{t2} = vetor da coluna da proporção da cobertura da terra da saída;

M = matriz de transição $m \times m$ para o intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$.

A probabilidade transição entre duas datas é calculada através da (equação 9), onde n_{ij} é a matriz de mudança / não mudança.

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^q n_{ij}} \quad (9)$$

Uma matriz análoga de função exponencial e logarítmica (equação 10) é utilizada para calibrar duas estimativas da matriz de transição em período equivalente.

$$M_1 = M_t^{(1/t)} = \exp m \left[\frac{1}{t} \times \log m(M_t) \right] \quad (10)$$

Em que:

M_1 = matriz de transição para uma taxa de transição anual;

M_t = matriz de transição para o intervalo de tempo t ;

t = intervalo de tempo de calibração.

Ocorre a aproximação de M_t a uma matriz de linhas idênticas de uma distribuição de equilíbrio estacionário do processo quando t se aproxima do infinito (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001).

3. PRIMEIRO ARTIGO - ANÁLISE MULTITEMPORAL DE IMAGENS PLANETSCOPE EM ÁREA PERIURBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE-RS

Artigo submetido para a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, ISSN 1415-4366 (Qualis B2 em Geociências), logo após a defesa desta dissertação de mestrado, com correções e sugestões da banca examinadora.

The screenshot shows the submission interface for the article "Análise multitemporal de imagens PlanetScope em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS" by Pedro Gabriel Bueno César, Marcos Wellausen Dias de Freitas, and Cláudio Wilson Me... The page includes a navigation menu with options like "Submissão", "Avaliação", "Edição de Texto", and "Editoração". It also features a section for "Arquivos da Submissão" with a search bar and a list of files, including "pedrobueno06, ARTIGO_AGRIAMBI.docx" dated October 13, 2019. A "Discussão da pre-avaliação" section is also visible, currently showing "Nenhum item".

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Tarefas 0 Português (Brasil) Ver o Site pedrobueno06

Revista Brasileira de ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL agrambi

Biblioteca da Submissão Ver metadados

Submissões

Análise multitemporal de imagens PlanetScope em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS
Pedro Gabriel Bueno César, Marcos Wellausen Dias de Freitas, Cláudio Wilson Me...

Submissão Avaliação Edição de Texto Editoração

Arquivos da Submissão [Q Buscar](#)

1064045-1	pedrobueno06, ARTIGO_AGRIAMBI.docx	outubro 13, 2019	Texto do artigo
-----------	------------------------------------	------------------	-----------------

[Baixar Todos os Arquivos](#)

Discussão da pre-avaliação [Adicionar comentários](#)

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
Nenhum item				

ANÁLISE MULTITEMPORAL DE IMAGENS PLANETSCOPE EM ÁREA PERIURBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE-RS

Multitemporal analysis of PlanetScope images in periurban area of Porto Alegre metropolitan region

Pedro Gabriel Bueno CÉSAR¹, Marcos Wellausen Dias de FREITAS^{1,2} & Cláudio Wilson MENDES Júnior¹

¹Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil (pedrocesar06@hotmail.com, claudio.mendes@ufrgs.br).

²Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91540 -000, Porto Alegre, RS, Brasil (mfreitas@ufrgs.br).

Resumo

A análise de séries temporais pode ser afetada por erros gerados pela forma de obtenção dos dados, como diferentes plataformas orbitais, erro de efemérides, ou erros radiométricos aleatórios. Uma forma de atenuação é a utilização de filtros. Esta pesquisa tem como objetivo analisar uma série temporal bruta e reconstruída de imagens de nanossatélites, com alta resolução espacial, temporal e radiométrica, em diferentes composições temporais, de 10, 15 e 30 dias. Os dados utilizados foram imagens PlanetScope, com resolução espacial de 3 m, radiométrica de 16 bits e bandas espectrais *RGB+NIR*, de agosto de 2016 a agosto de 2018, totalizando 123 datas, para área que abrange os entornos da Aldeia Verdadeira, Porto Alegre (RS). Foram separadas as bandas espectrais, mosaicadas, corrigidas, recortadas, calculado o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para cada composição temporal e reconstruída a série temporal pelo filtro Savitzky-Golay. A composição temporal que melhor representou os dados foi a composição de máximos valores de 15 dias. O pré-processamento corrigiu geometricamente as imagens utilizadas e a transformação dos valores para índice de vegetação contribuíram para a redução dos efeitos de atenuação atmosférica e de ângulos de iluminação e visada do sensor. A filtragem possibilitou gerar um perfil temporal estável das classes água, edificações, floresta, solo e herbácea, minimizando valores discrepantes entre as datas. A baixa dispersão dos valores de NDVI filtrados em relação à média indica que obtiveram ganho de qualidade. Estes resultados podem ser incorporados a trabalhos de etnomapeamentos, no monitoramento ambiental, de uso e cobertura da terra e de cultivos.

Palavras-chave: NDVI, Savitzky-Golay, Série temporal.

Abstract

The analysis of time series can be affected by errors generated by the way data are obtained, such as different orbital platforms, ephemeris error, or random radiometric errors. A form of attenuation is the use of filters. This research aims to analyze a raw and reconstructed time series of nanosatellite images with high spatial, temporal and radiometric resolution in different temporal compositions, 10, 15 and 30 days. The data used were PlanetScope images, with spatial resolution of 3 m, radiometric 16 - bit

and RGB + NIR spectral bands, from August 2016 to August 2018, totaling 123 dates, for an area that covers the surroundings of Aldeia Verdadeira, Porto Alegre (RS). The spectral bands were separated, mosaicated, registered, clipped, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculated for each temporal composition and reconstructed the time series by the Savitzky-Golay filter. The temporal composition that best represented the data was the composition of maximum values of 15 days. The pre-processing corrected geometrically the images used and the transformation of the values for vegetation index contributed to the reduction of the effects of atmospheric attenuation and of the lighting and viewing angles of the sensor. The filtration allowed to generate a stable time profile of the classes water, buildings, forest, soil and herbaceous, minimizing discrepant values between dates. The low dispersion of the filtered NDVI values in relation to the mean indicates that they obtained quality gain. These results can be incorporated into ethnomapping work, environmental monitoring, land use and land cover and cropping.

Keywords: NDVI, Savitzky-Golay, Temporal Series.

1 INTRODUÇÃO

Os dados de Sensoriamento Remoto evoluíram substancialmente a partir da década de 1990, com a melhoria tecnológica das plataformas de observação terrestre e da resolução espectral e radiométrica; possibilitando o aperfeiçoamento do uso desses dados em séries temporais (JENSEN, 2009). No início dos anos 2000 foram realizados lançamentos de um novo tipo de plataforma orbital, denominada de nanossatélites, com formato construtivo Cubesat. Estas plataformas podem variar de 1 a 10 kg de massa, em módulos com formato cúbico de 10 cm (1U) (SANDAU, 2010; DUNBAR, 2018).

Uma das companhias pioneiras nesse tipo de tecnologia é a Planet Labs, Inc., com a primeira constelação de nanossatélites, denominada PlanetScope, com mais de 175 em órbita (EOPORTAL, 2018). Estas plataformas operam em órbita quase-polar heliossíncrona, a 475 km de altitude, gerando imagens diárias de toda a superfície terrestre, em quatro bandas espectrais, visível e infravermelho próximo (PLANET, 2018a).

Os dados obtidos por meio de plataformas orbitais são passíveis a distorções geométricas, ocasionadas por diversos fatores inerentes à operação destas plataformas. Dentre os fatores geradores mais comuns e reconhecidos estão a variação de altitude, velocidade e atitude (inclinação, rolamento e arfagem) (RICHARDS; JIA, 2006). Estes erros geram distorções de escala, bem como rotações transversais e longitudinais nas imagens (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Para a correção das distorções geométricas são utilizadas equações polinomiais. Neste procedimento, a partir das coordenadas de uma imagem referência é calculada a matriz da imagem a ser corrigida. Após a geração desta matriz é necessário realizar a reamostragem dos

valores de cada pixel da imagem, por meio de três métodos a) vizinho mais próximo, que utiliza o valor do pixel mais próximo ao interpolado; b) interpolação bilinear, onde são aplicadas três interpolações lineares com os valores dos quatros pixels vizinhos; e c) interpolação por convolução cúbica, onde são utilizados os dezesseis pixels vizinhos em cálculos de polinômios cúbicos a cada coluna (RICHARDS; JIA, 2006). O corregristo de imagens em série temporal se faz necessário para possibilitar a comparação espectral correta de cada pixel ao longo do período de estudo.

As séries temporais apresentam tendências de padrões cíclicos para diversos usos e ocupações do solo, como sistemas agrícolas, ecológicos, hidrológicos, podendo ser derivados de índices de vegetação (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Os índices de vegetação são razões espectrais entre diferentes bandas, normalmente utilizando o vermelho (*Red*) e o infravermelho próximo (*NIR*). A utilização destas razões de bandas possibilita reduzir efeitos comuns entre estas bandas, como a variação sazonal do comportamento espectral dos alvos. A conversão dos valores espectrais em índice de vegetação contribui para a atenuação de diferenças radiométricas, causadas por erros de efemérides, declividade da superfície e por interferências atmosféricas, funcionando como uma normalização radiométrica (JENSEN, 2009).

A normalização radiométrica é uma alternativa quando é necessário comparar espectralmente séries temporais de imagens; este processo assume como fixas as reflectâncias de superfície de feições estáveis, chamadas de pseudo-invariantes, e ajusta os valores das demais imagens com base em uma imagem definida como referência através de modelos e coeficientes (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

Na literatura é possível encontrar diversos índices de vegetação; os mais comuns e tradicionais são a Razão Simples (SR), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) e Índice Vegetação Realçado (EVI). O NDVI é um índice muito difundido em vários estudos, tais como o da dinâmica da vegetação, com dados da série temporal AVHRR/NOAA (HOLBEN 1986); para o monitoramento da cobertura do solo urbano e mudanças na vegetação, com dados da série histórica Landsat TM (DU *et al.*, 2010); e para a caracterização de fitofisionomias urbanas, a partir de dados Landsat 8 e Rapideye (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Em análises temporais muitas vezes ocorrem erros radiométricos aleatórios, caracterizados como ruídos, que consistem em valores incoerentes ou mesmo ausentes ao longo de uma série temporal (SAVITZKY; GOLAY, 1964; CHEN, 2006). Para a análise de padrões em séries temporais é importante a utilização de filtros que minimizem os efeitos desses ruídos. Os métodos de filtragem são classificados por Chen *et al.* (2004) como: a) baseados em limiares; b) filtros de transformada de Fourier e c) métodos de ajuste de função gaussiana assimétrica e de regressão linear ponderada por mínimos quadrados.

Um filtro robusto que opera através da convolução de ajuste dos mínimos quadrados é o proposto por Savitzky e Golay (1964), que foi primeiramente utilizado para a análise de sinais na área da Química. Com o uso desse filtro, Chen *et al.* (2004) encontraram resultados robustos para a reconstrução de série temporal de NDVI com dados do produto MVC SPOT VGT-S. Na análise de séries temporais, o comportamento dos dados também é importante para o estudo. Através da utilização de diferentes tipos de métricas temporais é possível discriminar os tipos de cobertura da terra (DEFRIES; HANSEN; TOWNSHEND, 1995) e monitorar a qualidade de áreas de usos agropecuários (AGUIAR *et al.*, 2017). A metodologia de etnomapeamentos faz uso da classificação de uso e cobertura da terra para o reconhecimento e manejo dos territórios indígenas, promovendo o sentido de empoderamento e pertencimento destes povos ao seu local originário (CORREIA, 2007; PRINTES, 2015). Em estudo realizado por Olivero *et al.* (2016) utilizou-se uma série temporal do produto MOD13 (NDVI), em períodos bimestrais, para detectar mudanças de cobertura da terra através da identificação de anomalias no perfil de NDVI, e posteriormente as classes foram validadas através da técnica de conhecimento ecológico tradicional (*Traditional ecological knowledge - TEK*).

A área de estudo se localiza dentro de um contexto de áreas de uso especial, por estar em uma faixa circundante de 10 km de Unidades de Conservação (UCs) como a Reserva Biológica (REBIO) do Lami José Lutzenberger; Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado Grande; Parque Natural Municipal (PNM) Morro do Osso e Parque Natural Municipal SaintHilaire. No bioma Amazônia, áreas de Terra Indígena (TI) e UCs são inibidoras de desmatamento, protegendo o meio ambiente e a biodiversidade e provendo serviços ambientais à população (FERREIRA, VENTICINQUE, ALMEIDA, 2005; FUNAI, 2018; IPAM; 2015; ISA, 2017). Características que justificam o estudo temporal de uso e cobertura da terra nesta área de elevada relevância socioambiental.

O artigo tem como objetivo analisar a área nos entornos da TI Aldeia Verdadeira, Porto Alegre - RS, utilizando uma série temporal bruta e reconstruída de imagens de nanossatélites, no período de agosto de 2016 a agosto de 2018, com alta resolução espacial, temporal e radiométrica, em diferentes composições temporais, 10, 15 e 30 dias. Esta pesquisa ainda vem contribuir com uma primeira abordagem no uso de imagens PlanetScope para estudo de série temporal.

2 ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa abrange uma extensão de 6,5 km (19.786 ha) a partir dos limites da Aldeia Verdadeira (Tekoá Anhetenguá), que possui cerca de 26 ha (Figura 1). Essa aldeia está localizada entre os bairros Lomba do Pinheiro e Pitinga, município de Porto Alegre (RS), com centróide sobre as coordenadas geográficas 30°8'45,173" S e 51°5'32,603" O.

O clima da área de estudo é subtropical úmido com verão quente (Cfa), conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,6° C, variando de 24,7° C em janeiro a 13,8° C em julho, com precipitação média anual de 1425,2 mm, tendo a precipitação mínima de 92,2 mm no mês de março e a máxima de 141,5 mm em setembro (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), 2018).

A área de estudo localiza-se na morfoestrutura Bacia Sedimentar de Pelotas e Escudo Uruguaio Sul-riograndense, representadas pelas morfoesculturas Planícies e Terras Baixas Costeiras e Planalto Uruguaio Sul-riograndense, respectivamente. Os padrões de formas são de planícies fluvio-lagunares com banhados, colinas com topos convexos e planos, morros com topos convexos.

Conforme Hasenack (2008) a ocorrência de vegetação nesta área é classificada como bosque, campo manejado, campo nativo, cultivo temporário, mata degradada, mata nativa, silvicultura e vegetação arbustiva.

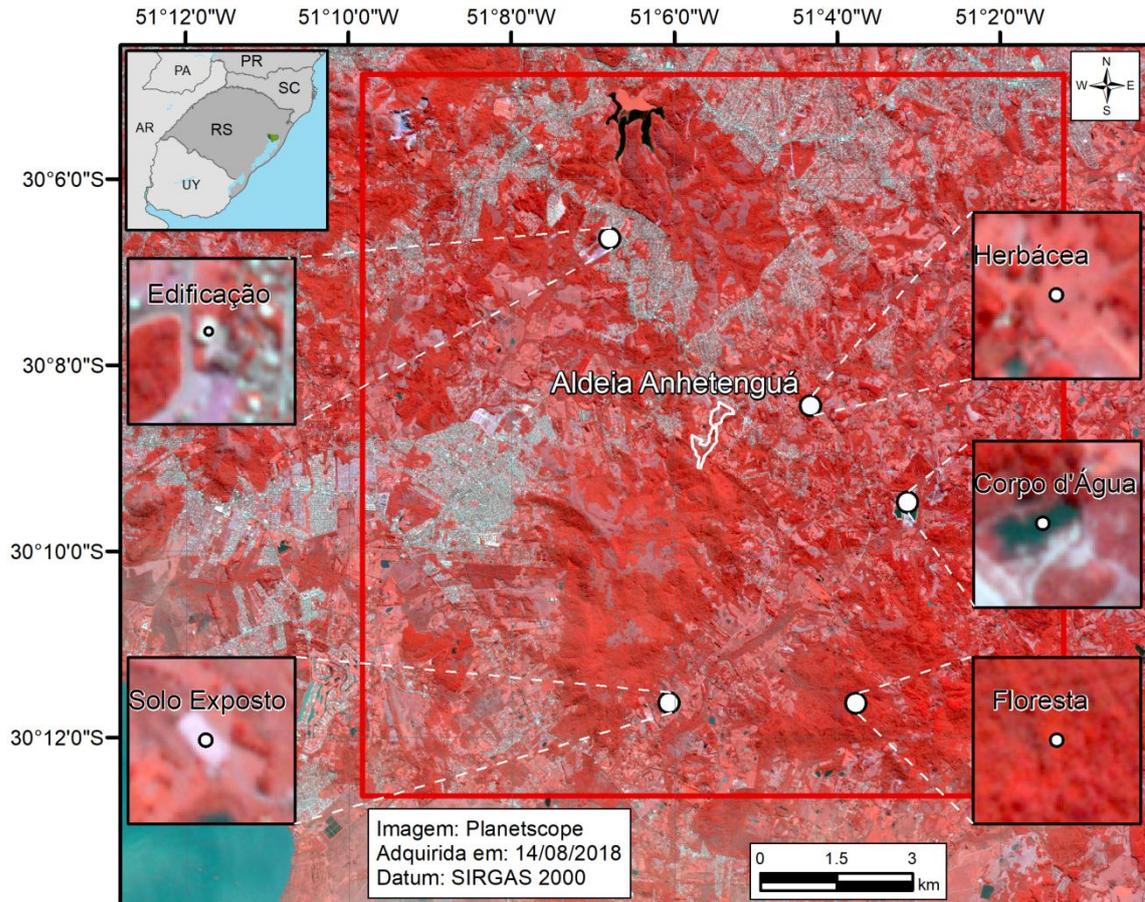


Figura 1 - Localização geral da área de estudo (retângulo vermelho), com os pontos amostrados das classes sem mudança de cobertura e uso da terra, em composição RGB 423 de imagens PlanetScope.

Na área de estudo ocorrem higrófilas como tipos de mata nativa; no fundo de vales, há floresta latifoliada e com ocorrência de folhas caduca e perinifólia, do tipo mesófilas; ocupando a parte média e baixa dos morros e terrenos ligeiramente planos, em condições não extremas, são observadas subxerófilas; há matas baixas nos topos ou encostas superiores dos morros e por ocorrerem em ambientes mais secos apresentam redução da superfície foliar e escleromorfismo. A vegetação arbustiva ocorre nos campos pedregosos, campos de topo de morros e terrenos ondulados, formados após desmatamento e abandono ou em campos periodicamente incendiados. A vegetação herbácea está presente nos campos nativos, topos de morros e com alta riqueza, e nos campos manejados, geralmente localizados em áreas mal drenadas. (BRACK *et al.* 1998; HASENACK, 2008).

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os programas e métodos utilizados para o processamento dos dados estão descritos no fluxograma (Figura 2). O processamento das imagens pode ser dividido em oito etapas: aquisição dos dados PlanetScope; mosaicagem das bandas espectrais; correção das imagens; recorte das imagens da área de estudo; cálculo de NDVI; filtragem das imagens; amostragem e cálculo de métricas temporais.

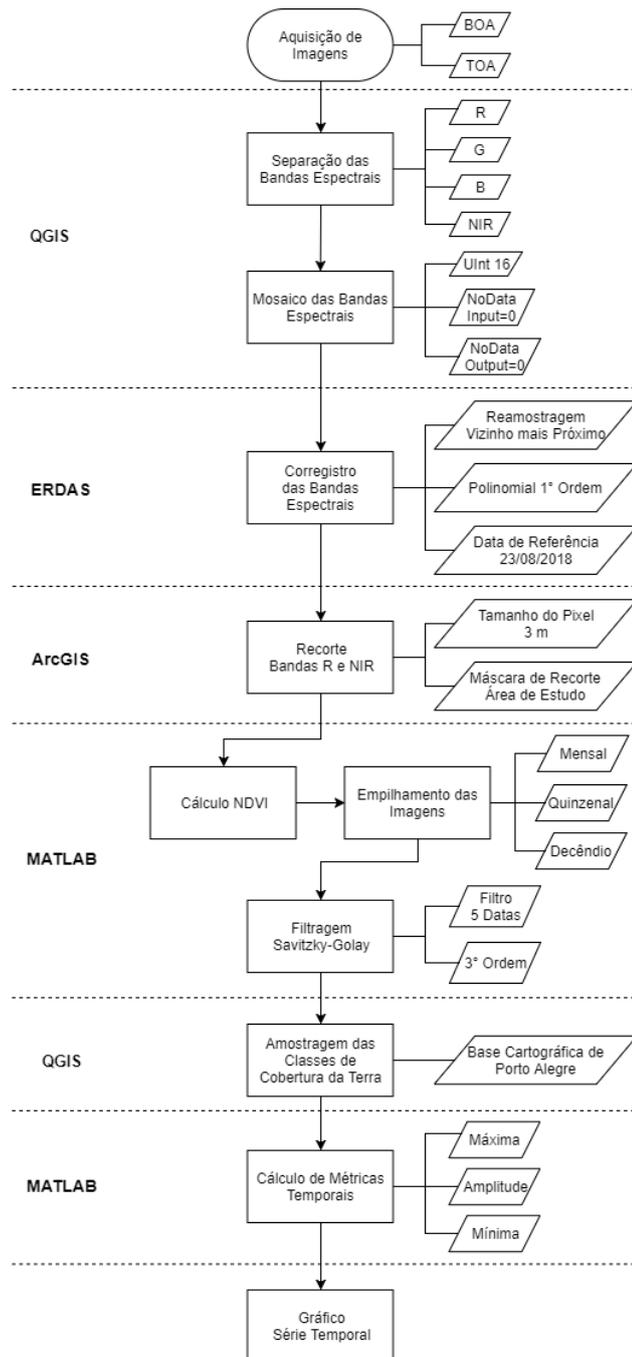


Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.

2.2.1 Aquisição das imagens de nanossatélites

As imagens dos nanossatélites PlanetScope, no modo *Analytic Ortho Scene*, reflectância BOA/TOA, foram adquiridas através da *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI), em sítio eletrônico da própria companhia, utilizando uma licença do Programa de Educação e Pesquisa. Foram adquiridas imagens diárias, quando disponíveis, de agosto de 2016 a agosto de 2018, totalizando 123 datas.

Estas imagens possuem nível de processamento 3B, sendo ortorretificadas com resolução espacial de 3 m, com acurácia horizontal com erro médio quadrático (RMSE) igual a 4,8 m (DOBRINIC; GASPAROVIC; ŽUPAN, 2018). A resolução radiométrica é de 16 bits e a precisão de calibração radiométrica é de 5% (PLANET, 2018a). Os produtos com reflectância BOA possuem correção atmosférica pelo modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (PLANET, 2018b).

Através da GUI foi possível selecionar o percentual de cobertura da área de interesse e cobertura de nuvens. As imagens foram selecionadas manualmente, levando em consideração o menor número de imagens necessárias para recobrir a área de interesse. O critério de seleção utilizado foi a de porcentagem mínima de 80% de cobertura da área de estudo, em alguns casos, por falta de imagem durante um período maior que 15 dias, considerou-se um mínimo de 60% de cobertura da área. Para a cobertura de nuvens foi selecionada imagens com o mínimo de nuvens sobre a área de estudo.

2.2.2 Separação das bandas espectrais

As imagens de nanossatélites da constelação PlanetScope BOA/TOA são disponibilizadas em arquivo único, contendo as quatro bandas espectrais empilhadas (RGB+NIR). Para os processamentos foi necessário separar essas bandas em imagens distintas. Nos testes realizados previamente foi identificada a mudança no tipo de armazenamento dos valores do dado conforme eram realizados os procedimentos; por esta razão, realizou-se primeiramente a separação das bandas espectrais através do programa QGIS.

2.2.3 Mosaicagem das bandas espectrais

As imagens de mesma data e banda espectral foram mosaicadas no programa QGIS, com dados de saída não sinalizados e com 16 bits, para manter o formato original das imagens da constelação PlanetScope. O valor dos pixels na área de sobreposição entre as imagens foi obtido da imagem com maior cobertura da área de estudo, assim mantendo o valor original da imagem.

2.2.4 Correção das Bandas Espectrais

Nos mosaicos foi verificada a ocorrência de deslocamento entre imagens de diferentes anos, sendo maior nas imagens dos meses de março de 2017 e 2018 e de setembro de 2016, com um a dois pixels de deslocamento, medidos empiricamente (Figura 3). Para a correção destes deslocamentos foi utilizado o programa ERDAS IMAGINE 2015, que realiza a correção geométrica através da utilização de um algoritmo que calcula centenas de pontos de controle, identificando valores e proximidade dos pixels, e cria um modelo matemático para vincular as diferentes imagens (ERDAS, 2008).

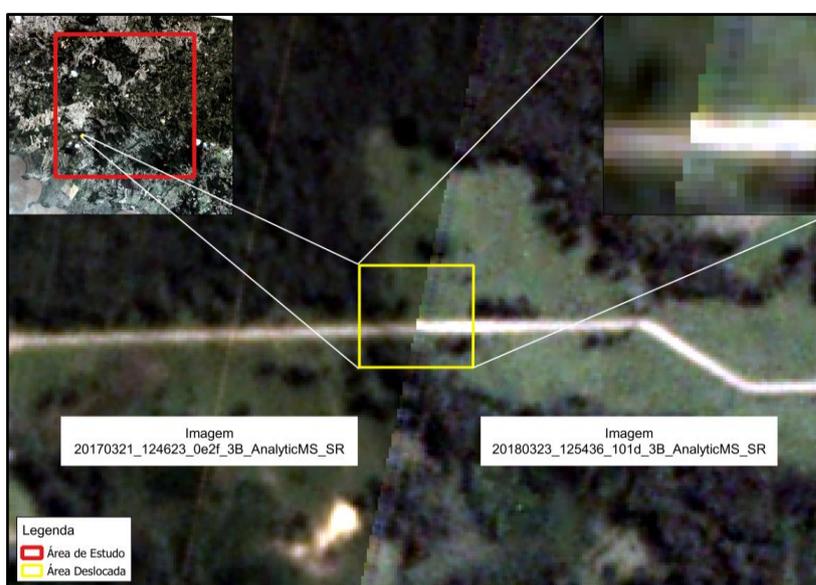


Figura 3 - Deslocamento entre imagens de diferentes datas, com variações de brilho e contraste.

A imagem utilizada como referência foi o mosaico de imagens do dia 23 de agosto de 2018. Para cada banda espectral corrigida foi utilizada a mesma como referência. Foram definidos quatro parâmetros, distribuição de 400 pontos de ligação entre mosaicos; uso de

modelo geométrico polinomial de 1° ordem; limiar de 0,5 para o RMS; e método de reamostragem dos pixels pelo vizinho mais próximo.

Para este corregristo das imagens foi utilizado um polinômio de 1° ordem, pois foram constatados apenas deslocamentos nos eixos X e Y, podendo ter sido causado por diferenças das efemérides ou inerentes a utilização de imagens de diferentes datas (123 datas) e sensores (89 nanossatélites), mesmo estes sendo de uma mesma constelação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A transformação polinomial de 1° ordem utiliza primeiramente uma matriz para o cálculo de 6 parâmetros em X e Y, destes dois são de translação, dois de rotação e dois fatores de escala. Esta matriz é calculada pelo método dos mínimos quadrados e logo após é utilizado estes coeficientes para o cálculo das novas coordenadas em X e Y da imagem a ser corregristada - Equação 1 (ERDAS, 2008; MENESES; ALMEIDA, 2012).

$$\begin{aligned} X_0 &= a_0 + a_1x + a_2y \\ Y_0 &= b_0 + b_1x + b_2y \end{aligned}$$

Equação 1

Em que:

X e Y são as coordenadas de referência;

X₀ e Y₀ são as coordenadas corregristadas.

A reamostragem dos valores de cada pixel das imagens foi realizada pelo método do vizinho mais próximo. Optou-se por este método para não haver modificação do valor do pixel original, visto que as imagens possuíam pequenos deslocamentos em X e Y (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

2.2.5 Recorte da área de estudo

O recorte da área de estudo foi realizado no programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc), este e os outros procedimentos foram realizados em lote (*batch processing*) para diminuir o tempo de processamento.

Foram recortadas as bandas espectrais 3 e 4, correspondentes ao *Red* e *NIR*, respectivamente, das 123 datas. Este processo utilizou como parâmetros avançados de processamento a máscara de recorte, limites da área de estudo, e o tamanho do pixel de 3

metros, assim resultando em imagens com a mesma quantidade de colunas e linhas, com 4.608 e 4.771, respectivamente.

2.2.6 Cálculo de NDVI e empilhamento das imagens

O NDVI (Equação 2), é uma razão entre a banda espectral do *NIR* e do *Red*, e foi proposta por Rouse *et al.* (1974) com uso de dados ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), sensor MSS (*Multispectral Scanner*).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Equação 2

Em que:

NIR = infravermelho próximo;

Red = vermelho.

Para a análise temporal da série de imagens foi utilizado primeiramente o NDVI como forma de normalizar os valores de reflectância das distintas datas, minimizando os efeitos atmosféricos, geometria de iluminação e inconsistências entre os diferentes sensores da constelação PlanetScope, conforme apresentado na Figura 3 (HUETE *et al.*, 2002; JENSEN, 2009).

Estes processos de cálculo de NDVI e empilhamento das imagens foram realizados através do programa MATLAB (The MathWorks, Inc.). Para cada mês, todas as imagens de datas disponíveis nas bandas 3 e 4 foram analisadas pixel a pixel e alterado para *NaN* (*Not a Number*) os valores que correspondessem a 0,0, assim não comprometendo o cálculo de NDVI. A partir desta correção dos valores inexistentes foi calculado o NDVI das datas disponíveis e gerou-se um cubo de imagens. Com o cubo de imagens de NDVI para cada mês, entre os meses de agosto de 2016 e 2018, foi realizada a composição de máximos valores (CMV), proposta por Holben (1986), para os períodos mensal, quinzenal e decendial. Foi utilizado a CMV para atenuar as influências atmosféricas e ângulo solar. Estas composições foram empilhadas em arquivo único de imagem para cada período, armazenadas como bandas espectrais.

2.2.7 Filtragem Savitzky-Golay

A filtragem dos dados de NDVI-CMV para os períodos mensal, quinzenal e decencial foi realizado no programa MATLAB (The MathWorks, Inc.). O método de filtragem foi o proposto por Savitzky e Golay (1964) e utilizado por Chen *et al.* (2004) com dados de Sensoriamento Remoto.

A Equação 3 demonstra como é calculado o filtro de suavização de mínimos quadrados.

$$Y_j^* = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_j + i}{N}$$

Equação 3

Em que:

Y^* = valor resultante do NDVI após a filtragem;

Y = valor original de NDVI;

j = representa o índice em execução da tabela original de dados ordenados;

C_i = coeficiente do i -ésimo valor de NDVI da janela de filtragem. (STEINIER; TERMONIA; DELTOUR, 1972);

N = é o número de inteiros convolutos, igual ao tamanho da janela de suavização ($2m+1$);

m = é a metade do tamanho da janela de suavização.

Para cada cubo de imagens, nos três períodos diferentes, foi realizada uma pré-filtragem; primeiramente dos valores menores que -1, alterado para *NaN*, e logo após para datas faltantes dentro do cubo de imagens.

Com os dados pré-filtrados foi realizada a filtragem e reconstrução da série de dados entre os meses de agosto de 2016 a 2018. Para isto foi utilizada a função *sgolayfilt* implementada no programa MATLAB. Os parâmetros utilizados foram a 3° ordem polinomial, e tamanho da janela de suavização igual a 5 datas, duas anteriores e duas posteriores, definidos empiricamente.

Foi verificado que os dados anteriores a abril de 2017 estavam com muitas datas faltantes e poucas imagens possuíam reflectância de superfície, ocasionando baixa qualidade nos resultados após a filtragem realizada. Assim a série temporal foi reduzida para o período de abril de 2017 a agosto de 2018, totalizando 17 meses de dados, com 107 datas.

2.2.8 Amostragem das classes de cobertura e uso da terra

A amostragem das classes de cobertura e uso da terra foi realizada em diversos pixels do cubo de imagens filtradas e brutas nos diferentes períodos temporais, utilizando como referência as classes água, edificações, floresta, solo e vegetação herbácea do mapeamento com ano-base 2010 elaborado pelo Consórcio Guaíba (2011). Para as classes vegetação herbácea e solo exposto foram utilizadas as áreas classificadas como pastagens e culturas, procurando inserir o ponto em áreas de vegetação rasteira e solo exposto, respectivamente.

Buscou-se posicionar o ponto a ser amostrado no centro das classes, assim selecionando o pixel com menos interferência dos objetos vizinhos, para a obtenção de um pixel puro ou com classe única.

Para as amostras de pixels que não ocorreram mudanças de classes de cobertura e uso da terra entre o mapeamento de 2010 e a imagem filtrada do mês de agosto de 2018, foram selecionados ao total 40 pontos distribuídos, como água (7), edificações (5), floresta (11), solo (6) e vegetação herbácea (11), sendo apresentados apenas os selecionados (Figura 1). Nas áreas que ocorreu mudança de cobertura e uso da terra entre abril de 2017 e agosto de 2018 foram identificadas, visualmente, as amostras das seguintes classes: água (2), floresta (2), solo exposto (2) e vegetação herbácea (3), selecionadas apenas uma amostra de cada classe, também foram identificadas visualmente as transições ocorridas nestas classes (Figura 4).

A extração dos valores brutos e filtrados tiveram como critério a escolha do pixel mais representativo e no programa QGIS se extraiu os valores para cada amostra. Foram gerados gráficos com os valores e escolhido um ponto para cada amostra que apresentaram valores próximos aos encontrados por Holben (1986) e Gonçalves *et al.* (2018).

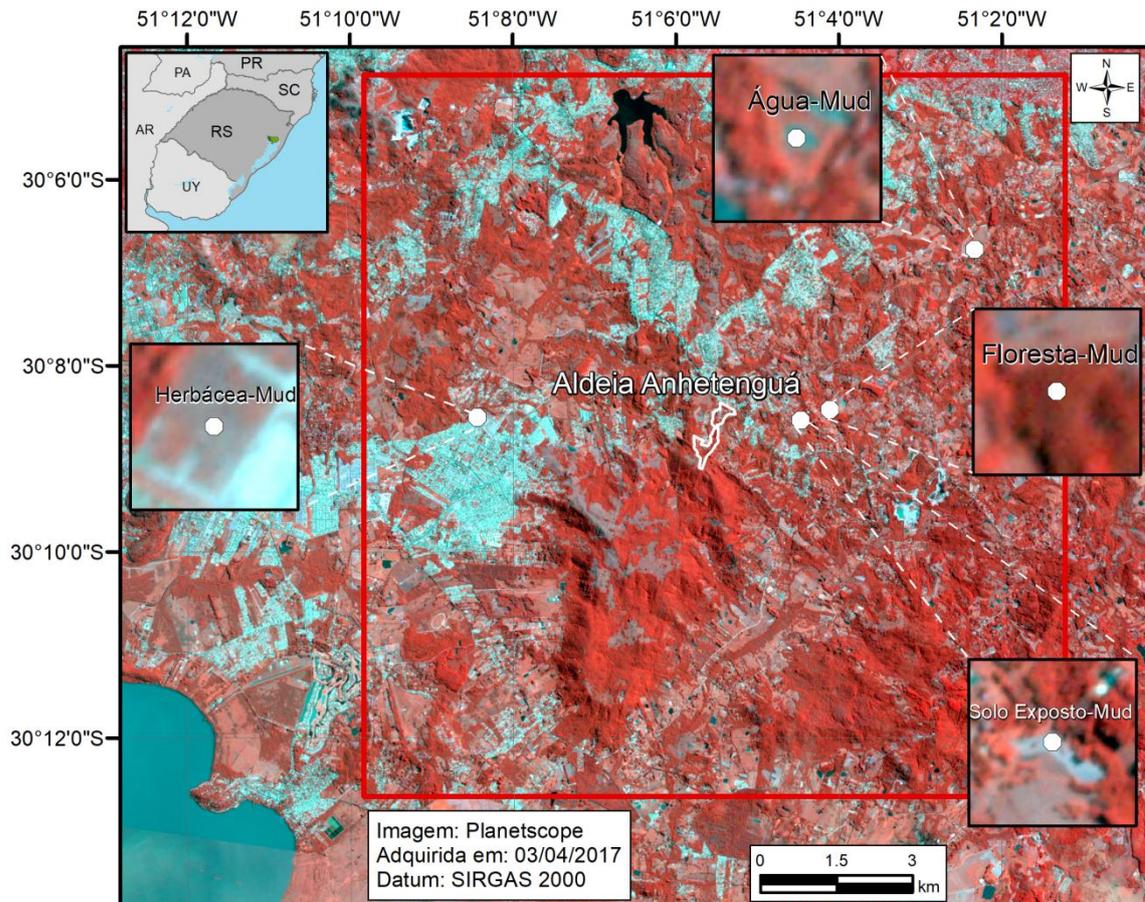


Figura 4 - Localização dos pontos amostrados de mudança de cobertura e uso da terra (MUCT) em composição colorida RGB 423 de imagens PlanetScope.

2.2.9 Cálculo de métricas temporais

As métricas temporais utilizadas na série de dados filtrados foram os valores mínimo e máximo de NDVI, a média e sua amplitude (DEFRIES; HANSEN; TOWNSHEND, 1995; AGUIAR *et al.*, 2017), e adicionalmente o desvio padrão, para analisar a dispersão dos dados em relação a média da série.

Os procedimentos para obtenção dos valores de cada métrica foram realizados no programa MATLAB.

3 RESULTADOS OBTIDOS

A série temporal de dados da constelação PlanetScope primeiramente continha 123 datas distribuídas em 25 meses, entre os meses de agosto de 2016 e 2018. Estes dados foram

separados por bandas espectrais (*Red* e *NIR*), mosaicados, corregistrados, recortados e utilizando os valores BOA e TOA, discretizados em Números Digitais (ND), foi calculado o NDVI para cada composição temporal e após foram filtrados pela técnica proposta por Savitzky e Golay (1964). Para cada etapa de processamento foi utilizado o programa mais apropriado para preservar as características originais dos dados e também com a robustez necessária de análise da quantidade de dados, 4608 colunas e 4771 linhas de 123 datas.

Após testes para verificar a janela de filtragem necessária foi constatado que os dados do início da série temporal estavam acarretando diminuição na qualidade da filtragem por falta de dados: em setembro de 2016 e janeiro de 2017, dezembro de 2016 e fevereiro de 2017, faltavam dados em dois decêndios de cada mês e não havia dados passíveis de ser utilizados, respectivamente. Ainda os dados de novembro de 2016 a março de 2017 não possuíam reflectância de superfície.

Com a diminuição da série temporal para 107 datas de 17 meses, entre abril de 2017 e agosto de 2018, foram gerados os gráficos dos perfis de NDVI reconstruído para pixels de classes sem mudança durante o período analisado (pixel puro) e nos quais houve mudança de cobertura e uso da terra (Figura 5 e Figura 6).

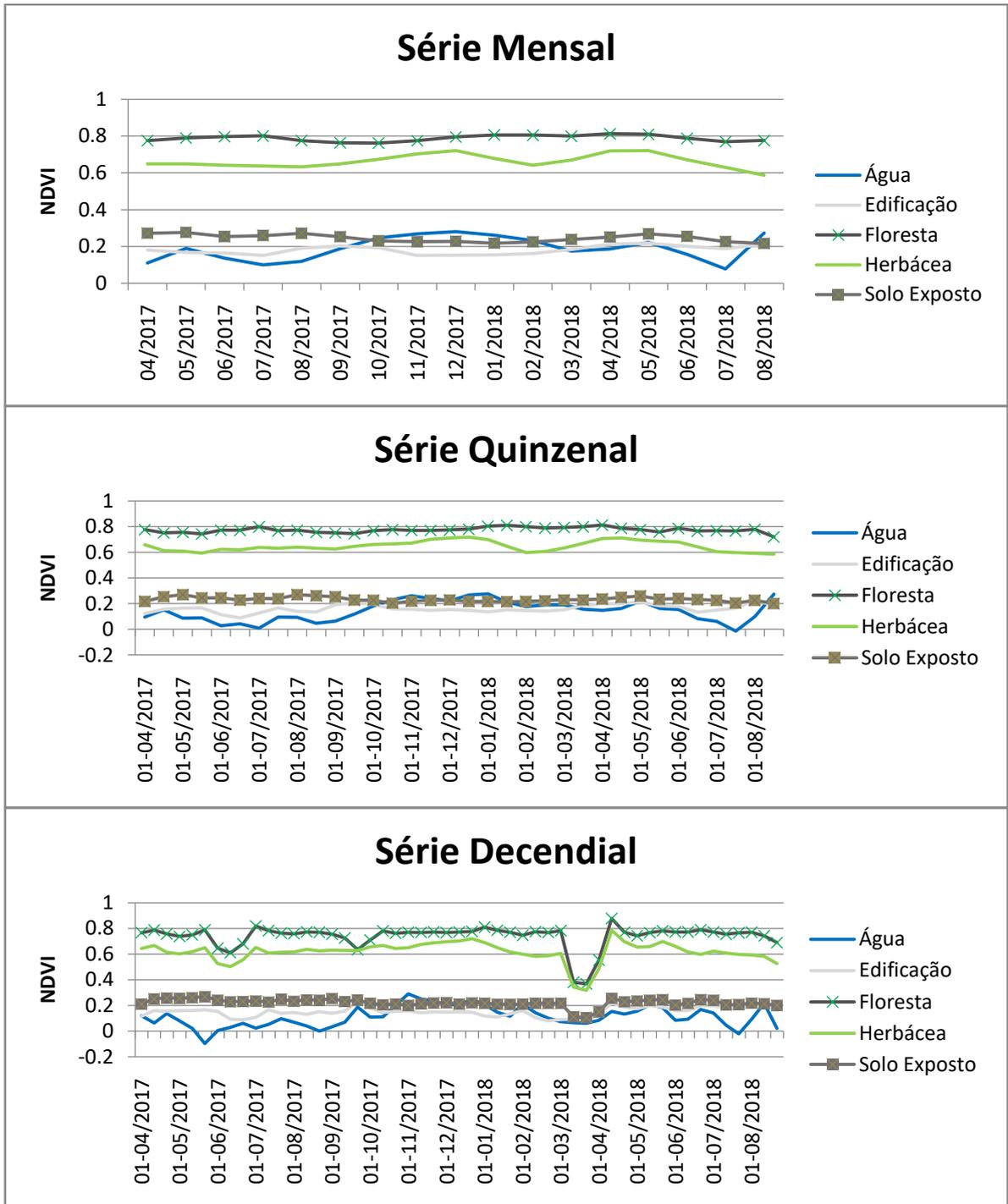


Figura 5 - Gráfico dos perfis de NDVI de classes sem mudança para cada frequência temporal.

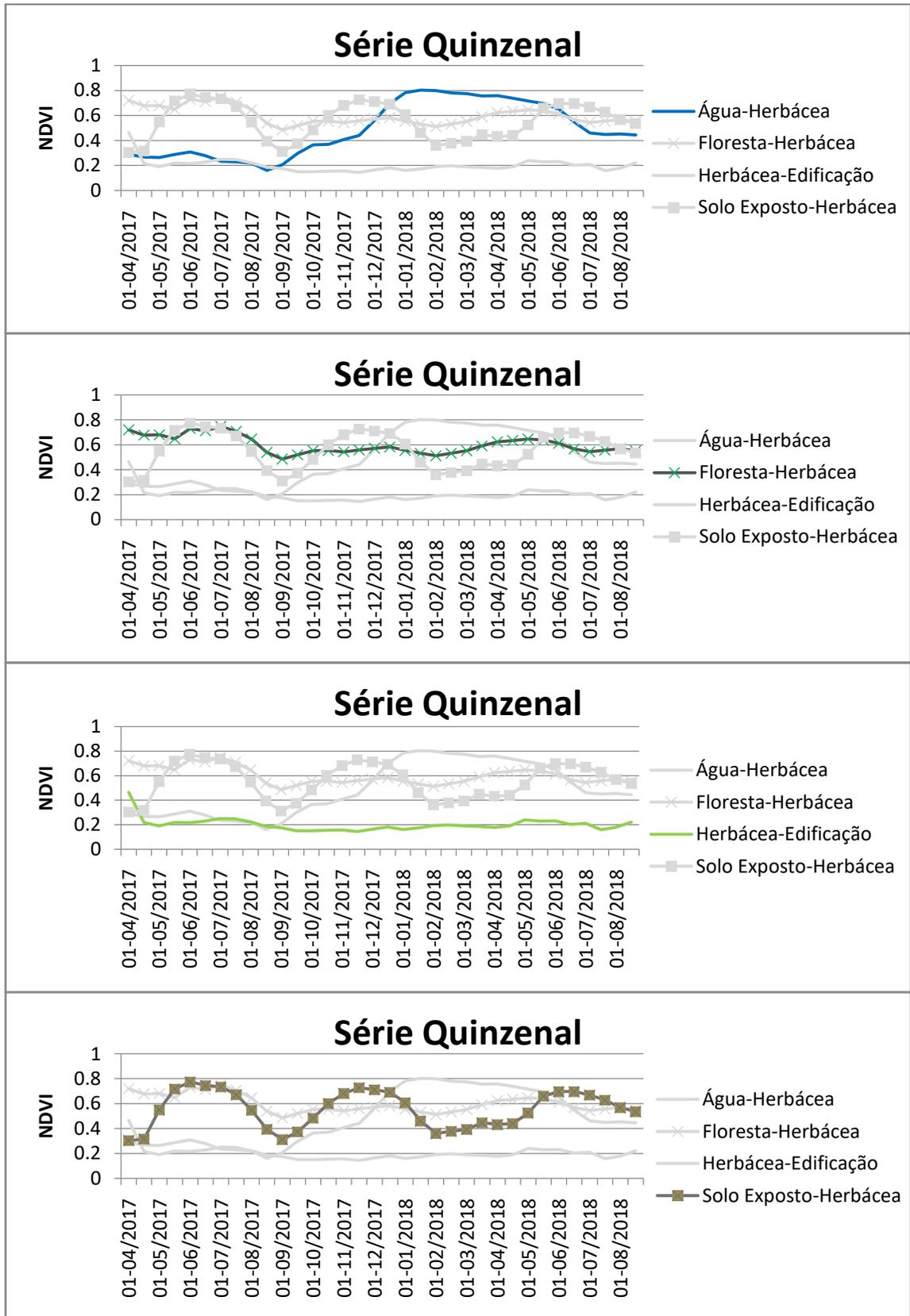


Figura 6 - Gráfico dos perfis de NDVI de mudança para a frequência temporal quinzenal.

Tabela 1 - Métricas quinzenais das amostras selecionadas.

Classe	Mínimo NDVI	Máximo NDVI	Amplitude	Média	Desvio Padrão
Corpo d'água	-0.015	0.276	0.291	0.143	0.079
Corpo d'água-Bruto	-	0.295	-	0.139	0.096
Corpo d'água-Mudança	0.160	0.803	0.643	0.485	0.214
Corpo d'água-Mudança-Bruto	-	0.820	-	0.474	0.211
Edificação	0.089	0.229	0.140	0.161	0.030
Edificação-Bruto	-	0.244	-	0.160	0.041
Edificação-Mudança	-	-	-	-	-
Edificação-Mudança-Bruto	-	-	-	-	-
Floresta	0.719	0.811	0.093	0.773	0.020
Floresta-Bruto	-	0.830	-	0.771	0.029
Floresta-Mudança	0.485	0.749	0.264	0.600	0.070
Floresta-Mudança-Bruto	-	0.782	-	0.602	0.081
Herbácea	0.584	0.718	0.134	0.647	0.040
Herbácea-Bruto	-	0.745	-	0.646	0.045
Herbácea-Mudança	0.143	0.465	0.322	0.201	0.055
Herbácea-Mudança-Bruto	-	0.470	-	0.202	0.061
Solo Exposto	0.200	0.270	0.070	0.233	0.018
Solo Exposto-Bruto	-	0.289	-	0.233	0.025
Solo Exposto-Mudança	0.303	0.774	0.471	0.553	0.145
Solo Exposto-Mudança-Bruto	-	0.775	-	0.562	0.149

4 DISCUSSÕES

Os resultados da filtragem e reconstrução das séries temporais, com distintas temporalidades de composição, apresentaram uma maior suavização das amplitudes de valores ao longo do período analisado (Figura 5) quanto maior foi a CMV. Isto ocorreu porque além da janela de dados a serem utilizados na filtragem também é relevante a composição temporal utilizada, funcionando como uma pré-filtragem.

A composição temporal que melhor representou os dados foi a CMV de 15 dias: pois esta manteve as características sazonais dos valores do índice para cada classe analisada e suavizou um decréscimo anômalo nos dados do segundo e terceiro decêndio de março de 2018, possivelmente por fatores meteorológicos (*e.g.*, precipitação), registrada na estação meteorológica da Lomba do Pinheiro e pluviômetros localizados no bairro Belém Novo, Lami, Lomba do Pinheiro e Restinga (CEIC, 2018). É importante ressaltar que nesta metodologia primeiramente analisou-se o pixel “puro” para reconhecer o perfil temporal das

classes, sem considerar a influência da umidade conforme as distintas formas de relevo e topografia da área de estudo.

Para Chen *et al.* (2004) os valores apropriados para a filtragem de dados CMV de 10 dias do produto SPOT VGT-S foram janelas de 8 datas e polinomial de 6° ordem. Nessa pesquisa os parâmetros utilizados foram janela de 5 datas e 3° ordem polinomial de suavização. A diferença nos parâmetros utilizados em cada pesquisa pode ser explicada pela composição temporal utilizada e pelas resoluções espacial e radiométrica: o produto SPOT VGT-S possui uma resolução de 1,15 km no nadir e registra dados em 8 bits.

Os valores de NDVI das classes identificadas aproximaram-se aos resultados encontrados por Holben (1986) e Gonçalves *et al.* (2018). Estes últimos autores utilizaram dados da constelação RapidEye, que possuem sensibilidade espectral nas bandas do *Red* (630-685 nm) e *NIR* (760-850 nm) e resolução espacial (5 m) próximas aos dados da constelação PlanetScope, de 590-670 nm e 780-860 nm, respectivamente.

O corpo d'água avaliado, sem mudança de classe, apresentou em outubro um aumento nesse índice, com amplitude total de 0,291, mês em que a temperatura superficial do ar e radiação solar começam a aumentar (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011), mantendo-se elevado até o final do mês de maio, entre as estações de primavera e outono. Esta elevação do NDVI pode estar associada a um processo de eutrofização do corpo d'água, que é o crescimento de algas, biomassa fitoplanctônica (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019), ocorrido pelo maior aporte de radiação solar. Como é um reservatório artificial, consequência da extração mineral realizada no local, a eutrofização é mais comum de ocorrer.

No corpo d'água em que ocorreu mudança de classe na série temporal é possível verificar que entre os meses de abril e final de setembro o perfil de NDVI, mesmo que acima dos valores do perfil em que não ocorreram mudanças, seguem uma normalidade conforme a estação do ano. Em outubro, porém este perfil se eleva anormalmente, acarretando uma amplitude total de 0,643, chegando ao máximo de 0,803, que é o limiar do NDVI da classe floresta. A transição ocorrida, verificada visualmente entre as datas, foi da classe corpo d'água para herbácea, mesmo esta apresentando um NDVI máximo acima de 0,745, quando avaliado o dado bruto.

A classe edificação variou em 0,140, entre 0,089 e 0,229, ocorrendo o mínimo na segunda quinzena de junho de 2017 e o máximo na primeira quinzena de agosto de 2018.

Gonçalves *et al.* (2018) encontraram valores entre -0,14 e 0,26, para dados da constelação RapidEye, Du *et al.* (2010) utilizou uma série temporal de dados Landsat TM, com quatro datas, e verificou uma amplitude de 0,310 nos valores de NDVI, ocorrendo como valor mínimo -0,262. Possivelmente o ângulo de iluminação e as diferenças nos sensores das distintas datas de obtenção dos dados podem ter acarretado diferenças nos valores radiométricos das imagens, estas inconsistências não foram totalmente eliminadas nos processos de pré-processamento e filtragem, desta feição a qual não variou no período de 2010 a 2018.

A amostra da classe floresta, em que não houve mudanças de classe, apresentou uma amplitude 0,093, valor que não indica mudança no decorrer da série temporal e estando em concordância com os resultados obtidos por Gonçalves *et al.* (2018), que foram de 0,64 a 1. O local de amostragem apresenta um dossel fechado e encontra-se na área de mata mesófila (HASENACK, 2008), porção média do Morro da Extrema, encosta norte. Na mata mesófila ocorrem árvores de 9 a 15 m, com 2 ou 3 estratos arbóreos; no estrato superior, a maria-mole (*Guapira opposita*), o camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*), o açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) e o capororocão (*Myrsine umbellata*) (BRACK *et al.* 1998), que são árvores perenifólias. A manutenção das folhas durante o ano inteiro, numa região de floresta densa, leva a ocorrer esta baixa variação nos valores de NDVI, estes valores também são afetados, positivamente, pela reflectância aditiva da radiação eletromagnética nas diversas camadas foliares.

Para a classe de floresta com mudanças de classe de cobertura e uso da terra, a amplitude calculada foi de 0,264. O pixel analisado estava localizado em uma área silvicultural que foi extraída na primeira quinzena de setembro de 2017, período identificado pela alta redução do valor de NDVI. Esta redução começou a ocorrer na primeira quinzena de agosto de 2017, e está influenciado pelo tamanho do pixel. Na primeira quinzena de outubro de 2017 o valor de NDVI começa a se elevar juntamente com a temperatura do ar superficial e radiação solar (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011; INMET, 2018), mantendo-se em um mesmo patamar até junho de 2018, início da estação de inverno. Os valores obtidos através do NDVI demonstram que a classe floresta, caracterizada pela silvicultura no local, foi alterada para a classe herbácea no final da série temporal.

A classe de herbácea que se manteve sem alteração no decorrer da série temporal teve uma amplitude de 0,134; o NDVI tem aumento a partir da primeira quinzena de novembro de

2017, período em que ocorre elevação da temperatura superficial do ar e radiação solar (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011; INMET, 2018). Há um decréscimo dos valores de NDVI em fevereiro de 2018, potencialmente ocasionado por condições meteorológicas adversas. O valor máximo encontrado de NDVI foi de 0,718. Autores como Cordeiro *et al.* (2017), com uso de dados MODIS, encontrou em sua pesquisa valores entre 0,47 a 0,81, enquanto, Wagner *et al.* (2013), com dados AVHRR/NOAA, encontrou um limiar de 0,683, os valores encontrados são próximos aos com o uso dos dados PlanetScope.

Para a classe herbácea com mudanças de cobertura e uso da terra, o pixel selecionado apresenta na primeira quinzena, visualmente, vegetação rasteira e que logo na quinzena seguinte há um decréscimo acentuado, com amplitude de 0,322, e se mantém com perfil semelhante à classe edificação. O valor inicial de NDVI abaixo do encontrado na amostra herbácea sem mudança pode estar relacionado com a filtragem, já que são utilizadas duas datas anteriores para a reconstrução temporal, sendo que na primeira data da série não há estes dados.

A classe solo exposto sem mudança de classe ao longo do período temporal de análise apresentou uma amplitude de 0,070. O pixel amostrado (Figura 4) está localizado dentro das dependências de um estabelecimento rural, do tipo cabanha. Visualmente este solo foi caracterizado como franco-arenoso, com pouca umidade e reduzida presença de matéria orgânica. Estas características produzem efeitos na reflectância na banda *Red* e *NIR* (JENSEN, 2009), reduzindo-a e aumentando, respectivamente. Isso pode explicar os valores de NDVI acima dos padrões encontrados por Holben (1986) sobre solos expostos, porém se enquadrando aos resultados de Gonçalves *et al.* (2018), que o classificou juntamente com a classe infraestrutura urbana e define valores entre -0,14 a 0,26.

Na classe solo exposto com mudanças de classe na série temporal, a amplitude foi de 0,471. O perfil gerado a partir dos valores demonstra que o pixel amostrado pertence à classe herbácea, cultura temporária, com início da cultura na primeira quinzena de maio de 2017 e finalizando na segunda quinzena de agosto. Repetindo-se o ciclo fenológico a partir da segunda quinzena de setembro e em fevereiro de 2018 este ciclo é interrompido possivelmente por ocorrências e/ou limitações da cultura frente às condições meteorológicas.

Os valores mínimos de NDVI e de amplitude para os dados brutos não foram demonstrados, pois no cálculo de NDVI para a série temporal ocorreram datas em que houve

falta de dados e assim o programa utilizado atribuiu um valor extrapolado, ocasionando valores falsos.

Para as classes edificação, floresta, herbácea e solo exposto, sem mudança de classe, a maior amplitude foi de 0,140 e sempre acompanhadas de uma baixa dispersão em relação à média da série temporal. Diferentemente nas classes selecionadas em que ocorreu mudança de cobertura e uso da terra, onde a amplitude mínima foi de 0,264 e um desvio padrão mínimo de 0,055, para as classes floresta e vegetação, respectivamente.

A baixa dispersão dos valores nas amostras das classes floresta e herbácea que ocorreram mudanças se devem ao fato que estas classes possuem intervalos de valores próximos. A classe herbácea teve mudança de cobertura e uso da terra na segunda quinzena de abril de 2017, contribuindo com a baixa dispersão da classe.

A classe água selecionada para as amostras que não ocorreram mudanças de cobertura e uso da terra foi desconsiderada nesta última análise por não apresentar estabilidade nos dados da série temporal.

5 CONCLUSÕES

Os procedimentos de pré-processamento se mostraram de grande importância para a análise temporal dos dados PlanetScope, mesmo estes já apresentarem dados pré-processados. Possivelmente a pequena massa da plataforma (4 kg) pode ter influência na geração de inconsistências de altitude e atitude (inclinação, rolamento e arfagem). A grande quantidade de sensores utilizada (79) e os diferentes horários de obtenção dos dados (219), entre as 10 e 13 horas local, pode ter contribuído para gerar estas inconsistências radiométricas entre as datas da série temporal.

Com o pré-processamento foi possível corrigir geometricamente as imagens utilizadas; o correto registro e a transformação dos valores BOA para índice de vegetação contribuíram para a redução dos efeitos de atenuação atmosférica e de ângulos de iluminação e visada do sensor.

A filtragem e reconstrução da série temporal, realizada através de metodologia já consolidada por Savitzky e Golay (1964), Chen *et al.* (2004), ainda que usada para dados com média resolução espacial, possibilitaram gerar um perfil temporal estável das classes,

minimizando valores discrepantes entre datas, em que não houve mudança de cobertura e uso da terra e para após permitir a realização de inferições sobre a mudança de classes entre as datas da série.

Os valores encontrados para as classes sem mudanças, excetuando a classe água, apresentaram valores aproximados com resultados encontrados na literatura, destacando que nenhuma destas pesquisas utilizavam dados da constelação PlanetScope. A dispersão em relação à média destes valores de NDVI manteve-se baixa, indicando que os valores, após a filtragem, tiveram ganho de qualidade ao atenuar-se as inconsistências inerentes às condições atmosféricas e da plataforma.

As classes puderam ser bem diferenciadas e divididas em dois grupos, edificação e solo exposto (faixas de aproximadamente entre 0,1 a 0,3) e floresta e herbácea (entre valores próximos a 0,6 e 0,8). Os valores de mínimo, máximo e médio NDVI na série temporal permitiram inferir estas classes.

A série temporal reconstruída têm potencial de serem utilizados como fonte de informações para trabalhos de etnomapeamento e monitoramento das terras indígenas e entornos da Aldeia Verdadeira, semelhante ao realizado por Olivero *et al.* (2016) com a análise de anomalias no perfil de NDVI de dados MOD13 em área da Amazônia venezuelana. Como também pode ter aplicações no monitoramento ambiental, de uso e cobertura da terra e de cultivos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Este estudo foi realizado como parte integrante da dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR), realizado no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS (CEPSRM). As imagens utilizadas da constelação PlanetScope foram fornecidas através do Programa de Pesquisa e Educação da Planet Labs, Inc.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, D.; MELLO, M.; NOGUEIRA, S.; GONÇALVES, F.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.. MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.1-20, 14 jan. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9010073>.
- BARBOSA, C. C.F.; NOVO, E. M.L.M.; MARTINS, V. S.. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: Princípios e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 161 p.
- BRACK, P; RODRIGUES, R. S.; SOBRAL, M.; LEITE, S. L. C.. 1998. Árvores e arbustos na vegetação natural de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica** 51(II): 139-166.
- CHEN, C.H. (Ed.). **Signal and Image Processing for Remote Sensing**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 672 p.
- CHEN, J; JÖNSSON, P.; TAMURA, M.; GU, Z.; MATSUSHITA, B.; EKLUNDH, L.. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 91, n. 3-4, p.332-344, jun. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.014>.
- CENTRO INTEGRADO DE COMANDO (CEIC). **Metroclima - Sistema de Previsão Climática**. Porto Alegre, mar. 2018. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ceic/usu_doc/tabela_medicao_diaria_pluviometros_marc_o_2018.xls. Acesso em: 19 jun. 2019.
- CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA; D. C.; MELO, R. W.; SHIMABUKURO, Y. E. FIOR, C. S.. REGIÕES HOMOGÊNEAS DE VEGETAÇÃO UTILIZANDO A VARIABILIDADE DO NDVI. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.883-896, 31 ago. 2017. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509828638>.
- CORREIA, C. S.. **Etnozoneamento, etnomapeamento e diagnóstico etnoambiental: representações cartográficas e gestão territorial em terras indígenas no estado do Acre**. 2007. 431 f. Tese (Doutorado) - Curso de Antropologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/1183>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- DEFRIES, R.; HANSEN, M.; TOWNSHEND, J.. Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 54, n. 3, p.209-222, dez. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00142-5](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(95)00142-5).
- DOBRINIC, D.; GASPAROVIC, M.; ŽUPAN, R.. HORIZONTAL ACCURACY ASSESSMENT OF PLANETSCOPE, RAPIDEYE AND WORLDVIEW-2 SATELLITE IMAGERY. **18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference**

Sgem2018, Informatics, Geoinformatics, [s.l.], v. 2, n. 1, p.129-136, 20 jun. 2018. Stef92 Technology. <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2018/2.3/s10.017>.

DU, P.; LI, X.; CAO, W.; LUO, Y.; ZHANG, H.. Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. **Mining Science And Technology (china)**, [s.l.], v. 20, n. 6, p.922-932, nov. 2010. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1674-5264\(09\)60308-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1674-5264(09)60308-2).

DUNBAR, B.. **Small Spacecraft Technology**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/offices/oct/crosscutting_capability/edison/smallsat_tech.html>. Acesso em: 28 abr. 2018.

EOPORTAL. **Planet - Flock Imaging Constellation**. Disponível em: <<https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/flock-1>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

ERDAS. **IMAGINE AutoSync™: User's Guide**. Norcross: ERDAS Inc, 2008. 76 p.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S.. O Desmatamento na Amazônia e a Importância das Áreas Protegidas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 19, n. 53, p.157-166, abr. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142005000100010>.

Fundação Nacional do Índio (FUNAI). **Terras Indígenas: o que é?**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/2014-02-07-13-24-32>>. Acesso em: 25 out. 2018.

GONÇALVES, A. B.; GODOI, R. F.; PARANHOS FILHO, A. C.; FOLHES, M. T.; Pistori, H.. Urban Phytophysiology Characterization Using NDVI from Satellites Images and Free Software. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [s.l.], v. 41, n. 3, p.24-36, 4 dez. 2018. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_24_36.

HASENACK, H. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

HOLBEN, B. N.. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n. 11, p.1417-1434, nov. 1986. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168608948945>.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.; GAO, X.; FERREIRA, L.. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 83, n. 1-2, p.195-213, nov. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(02\)00096-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(02)00096-2).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. INMET, Brasília/DF, Brasil, 2018. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes.

- JENSEN, J. R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres..** 2. ed. São José dos Campos, Sp: Parêntese, 2009. 598 p. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) *et al.*.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W.. **Remote sensing and image interpretation.** 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015. 736 p.
- MATZENAUER, R. ; RADIN, B. ; ALMEIDA, I. R. (Ed.). **Atlas Climático: Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: Unb, 2012.
- OLIVERO, J.; FERRI, F.; ACEVEDO, P.; LOBO, J. M.; FA, J. E; FARFÁN, M. Á; ROMERO, D.; BLANCO, G.; REAL, R.. Using Indigenous Knowledge to Link Land Cover Mapping with Land Use in the Venezuelan Amazon: "The Forest Pulse". **Revista de Biología Tropical**, [s.l.], v. 64, n. 4, p.1661-1682, 20 jul. 2016. Universidad de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i4.21886>.
- PLANET. **Planet Imagery: Product Specifications.** San Francisco, Ca: Planet, 2018a. 57 p. Disponível em: <[https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/ Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_Decemb](https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_Decemb)>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- PLANET. **Planet Surface Reflectance Product.** San Francisco, Ca: Planet, 2018b. 57 p. Disponível em: <https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf>. Acesso em: 11 maio 2018.
- PRINTES, R. B.. Território e territorialidade: revisando conceitos diante da complexidade da sociodiversidade. In: SEMINÁRIO OBSERVATÓRIOS, METODOLOGIAS E IMPACTOS: DADOS E PARTICIPAÇÃO, 5., 2015, São Leopoldo. **V Seminário Observatórios, Metodologias e Impactos: Dados e Participação. São Leopoldo:** Instituto Humanitas Unisinos, 2015. p. 66 - 68. Disponível em: <<http://repositorio.unisinos.br/ihu/v-seminario-observatorios/27-printes-territorio-territorialidade.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X.. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.** 4. ed. Berlin: Springer, 2006. 439 p.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 1974, S.L. **Proceedings...** Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017.
- SANDAU, R.. Status and Trends of Small Satellite Missions for Earth Observation. **Acta Astronautica**, [s.l.], v. 66, n. 1-2, p.1-12, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.06.008>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509003488?via=ihub>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E.. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, [s.l.], v. 36, n. 8, p.1627-1639, jul. 1964. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ac60214a047>.

STEINIER, J.; TERMONIA, Y.; DELTOUR, J.. Smoothing and differentiation of data by simplified least square procedure. **Analytical Chemistry**, [s.l.], v. 44, n. 11, p.1906-1909, set. 1972. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ac60319a045>.

WAGNER, A. P. L.; FONTANA, D. C.; FRAISSE, C.; WEBER, E. J.; HASENACK, H.. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 48, n. 9, p.1192-1200, set. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2013000900002>.

4. SEGUNDO ARTIGO - ANÁLISE DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E FATORES CONDICIONANTES EM ÁREA PERIURBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

Artigo submetido para a Revista Brasileira de Cartografia (RBC), ISSN 0560-4613 (Qualis B2 em Geociências), logo após a defesa desta dissertação de mestrado, com correções e sugestões da banca examinadora.

Revista Brasileira de Cartografia Tarefas 0 Português (Brasil) Ver o Site pedrobueno06

Revista Brasileira de Cartografia Rev. Bras. Cartogr. | RBC Biblioteca da Submissão Ver metadados

Submissões

Análise de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra e fatores condicionantes em área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre
Pedro Gabriel Bueno César, Marcos Wellausen Dias de Freitas, Claudio Wilson Me...

Submissão Avaliação Edição de Texto Editoração

Arquivos da Submissão [Q Buscar](#)

211484-1	pedrobueno06, ARTIGO_RBC.docx	outubro 13, 2019	Texto do artigo
----------	-------------------------------	------------------	-----------------

[Baixar Todos os Arquivos](#)

Discussão da pre-avaliação [Adicionar comentários](#)

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
Nenhum item				

ANÁLISE DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA E FATORES CONDICIONANTES EM ÁREA PERIURBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

Change detection analysis of land use/land cover and drive factor on periurban of Metropolitan Region of Porto Alegre

Pedro Gabriel Bueno CÉSAR¹, Marcos Wellausen Dias de FREITAS^{1,2} & Cláudio Wilson MENDES Júnior¹

¹Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil (pedrocesar06@hotmail.com, claudio.mendes@ufrgs.br).

²Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91540 -000, Porto Alegre, RS, Brasil (mfreitas@ufrgs.br).

Resumo

A análise de vetor de mudança (*Change Vector Analysis*- CVA) é uma técnica baseada na direção do ângulo do vetor de mudança e magnitude da mudança, envolve as características espaciais, espectrais e temporais das imagens, assim necessitando registro espacial, normalização radiométrica e calibração atmosférica. As imagens PlanetScope possuem nível de processamento 3B e reflectância superficial, 16 bits, 3 m de resolução espacial e 4 bandas espectrais (RGB+NIR). O objetivo desta pesquisa é a detecção de mudanças recentes em uma área periurbana da Região Metropolitana de Porto Alegre (RS), com uso de imagens de alta resolução espacial e radiométrica, e analisar fatores condicionantes dos processos de degradação e regeneração. A área analisada abrange os entornos da Aldeia Verdadeira no período entre 23 de agosto de 2016 e 29 de maio de 2018. Os processos de degradação foram mais baixos que os de regeneração na área de estudo, de 1,97% e 4,25%, respectivamente, demonstrando uma boa tendência para a conservação desta zona dos municípios de Porto Alegre e Viamão (RS). Para os setores censitários os percentuais foram próximos: degradação de 1,79% e regeneração de 4,06%. Os modelos de regressão, com R^2 0,235 para degeneração e R^2 0,824 para regeneração, indicaram que nos dois processos avaliados o fator condicionante de maior relevância foi a densidade de borda, uma vez que esta indica o aumento no número de fragmentos.

Palavras-chave: CVA. PlanetScope. Normalização radiométrica.

Abstract

The Change Vector Analysis (CVA) is a technique based on the direction of the angle of the change vector and magnitude of the change, involving the spatial, spectral and temporal characteristics of the images, thus requiring spatial registration, radiometric normalization and calibration atmospheric. PlanetScope images have processing level 3B and surface reflectance, 16 bits, 3 m spatial resolution and 4 spectral bands (RGB + NIR). The aims of this research is the detection of recent changes in a periurban area of the Metropolitan Region of Porto Alegre (RS), using high resolution spatial and radiometric images, and analyzing conditioning factors of degradation and regeneration processes. The analyzed area covers the surroundings of Aldeia Verdadeira in the period between August 23, 2016

and May 29, 2018. The degradation processes were lower than those of regeneration in the study area, of 1.97% and 4.25%, respectively, demonstrating a good tendency for the conservation of this zone of the municipalities of Porto Alegre and Viamão (RS). For the census sectors the percentages were close: degradation of 1.79% and regeneration of 4.06%. The regression models, with R^2 0,235 for degeneration and R^2 0,824 for regeneration, indicated that in the two evaluated processes the most relevant drive factor was the edge density, since this indicates the increase in the number of fragments.

Keywords: CVA. PlanetScope. Radiometric Normalization.

1 INTRODUÇÃO

A detecção de mudanças de uso e cobertura da terra (MUCT) é uma técnica bastante difundida e aplicada nos mais diversos processos ocorridos em ambientes urbano e rural. Baseia-se na variação espectral direta, que refletem mudanças reais ocorridas em determinada área e período de análise (ALQURASHI; KUMAR, 2013; YU *et al.*, 2016). A análise de vetor de mudança (*Change Vector Analysis* - CVA) baseia-se na direção do ângulo do vetor de mudança e a magnitude da mudança, entre imagens de distintas datas, utilizando as dimensões espectrais de brilho e verdor. Por envolver características espaciais, espectrais e temporais das imagens, o registro espacial, normalização radiométrica e calibração atmosférica são essenciais para a correta detecção (MALILA, 1980; JÚNIOR *et al.*, 2011).

Em estudos de detecção de MUCT, a utilização de imagens obtidas de diferentes datas e sensores são prejudicados por inconsistências relacionadas a mudanças de iluminação e variações na constituição atmosférica, alterando os valores de brilho dos pixels da imagem (HEO, FITZHUGH, 2000; O'CONNELL, 2012). A normalização radiométrica pelo método relativo é muito utilizada para reduzir interferências do sensor e do ambiente na imagem, porém não há remoção dos efeitos causados pela atmosfera (HALL *et al.*, 1991; YANG, 2000; HONG, 2007). No método relativo é utilizado um modelo de regressão linear a partir de uma imagem escolhida como referência (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

Em junho de 2016 é iniciado o lançamento de um novo tipo de plataforma orbital, denominada de nanossatélites, esta nova constelação possui tempo de revisita diário, assim permitindo o monitoramento das mudanças ocorridas na superfície terrestre. As imagens dos nanossatélites da constelação PlanetScope (mais de 175 em órbita) são disponibilizadas com nível de processamento 3B, que inclui a ortorretificação, acurácia horizontal com a raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Square Error* - RMSE) igual a 4,8 m (DOBRINIC; GASPAROVIC; ŽUPAN, 2018), calibração radiométrica de 5% (PLANET, 2018a) e correção atmosférica pelo modelo de transferência radiativa 6S - *Second Simulation of the*

Satellite Signal in the Solar Spectrum (PLANET, 2018b). Além disso, as imagens nível 3B tem resolução espacial de 3 m, radiométrica de 16 bits e espectral de 4 bandas (*RGB+NIR*).

Ainda que os dados sejam de uma mesma constelação, podem ocorrer distorções geométricas nos parâmetros de escala e posição das imagens (MENESES; ALMEIDA, 2012). A correção das distorções geométricas é realizada por meio de equações polinomiais. E para garantir a correta sobreposição dos pixels, permitindo a comparação espectral, é necessário realizar o correto registro das imagens, utilizando uma imagem como referência (RICHARDS; JIA, 2006).

Com os resultados da detecção de mudanças obtidos de imagens corrigidas multitemporais é possível analisar espaço-temporalmente os fatores condicionantes de MUCT. Estes fatores são resultantes de uma complexa interação de forças físicas, biológicas e sociais ocorridas tanto no meio urbano, como rural e florestal (PETIT, SCUDDER, LAMBIN, 2001; DENG *et al.*, 2009; DEWAN, YAMAGUCHI, 2009; AL-SHARIF; PRADHAN, 2015). Esta análise permite modelar coeficientes de mudanças e padrão espacial através de regressão linear.

Técnicas de detecção de mudanças (OLIVERO *et al.* 2016) são necessárias para prover informações temporais sobre MUCT em Terras Indígenas (TI) e áreas de seus entornos. Autores como Correia (2007); Barros *et al.* (2013) e Printes (2015) descrevem trabalhos de etnomapeamentos como formas de preservação e conservação de territórios indígenas.

A área de estudo está localizada em área de uso espacial, faixa de 10 km de UCs do RS. Classificada pelo MMA (2018) como local com alta e extremamente alta a importância biológica e de prioridade de ação. E dentro do contexto de uma TI da Aldeia Verdadeira, população Mbya-Guarani. Assim justificando a análise de mudanças de uso e cobertura da terra e fatores condicionantes nesta área de elevada relevância socioambiental.

2 OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo a detecção de mudanças de uso e cobertura da terra recentes (04/2017 a 08/2018) em uma área periurbana da Região Metropolitana de Porto

Alegre (RS), com uso de imagens de alta resolução espacial e radiométrica, e analisar fatores condicionantes dos processos de degradação e regeneração.

3 ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consiste em um retângulo distante 6,5 km dos limites da Aldeia Verdadeira (Teko'a Anhetengúá), totalizando 19.786 ha. Esta área tem centróide sobre as coordenadas geográficas $30^{\circ}8'45,173''$ S e $51^{\circ}5'32,603''$ O (Figura 1). Abrange os bairros Extrema, Lageado, Lomba do Pinheiro, Pitinga, Restinga e São Caetano, do município de Porto Alegre (RS), e os bairros Florescente, Planalto, Santo Onofre, São Tomé, Viamópolis e Vila Universal pertencentes ao município de Viamão (RS).

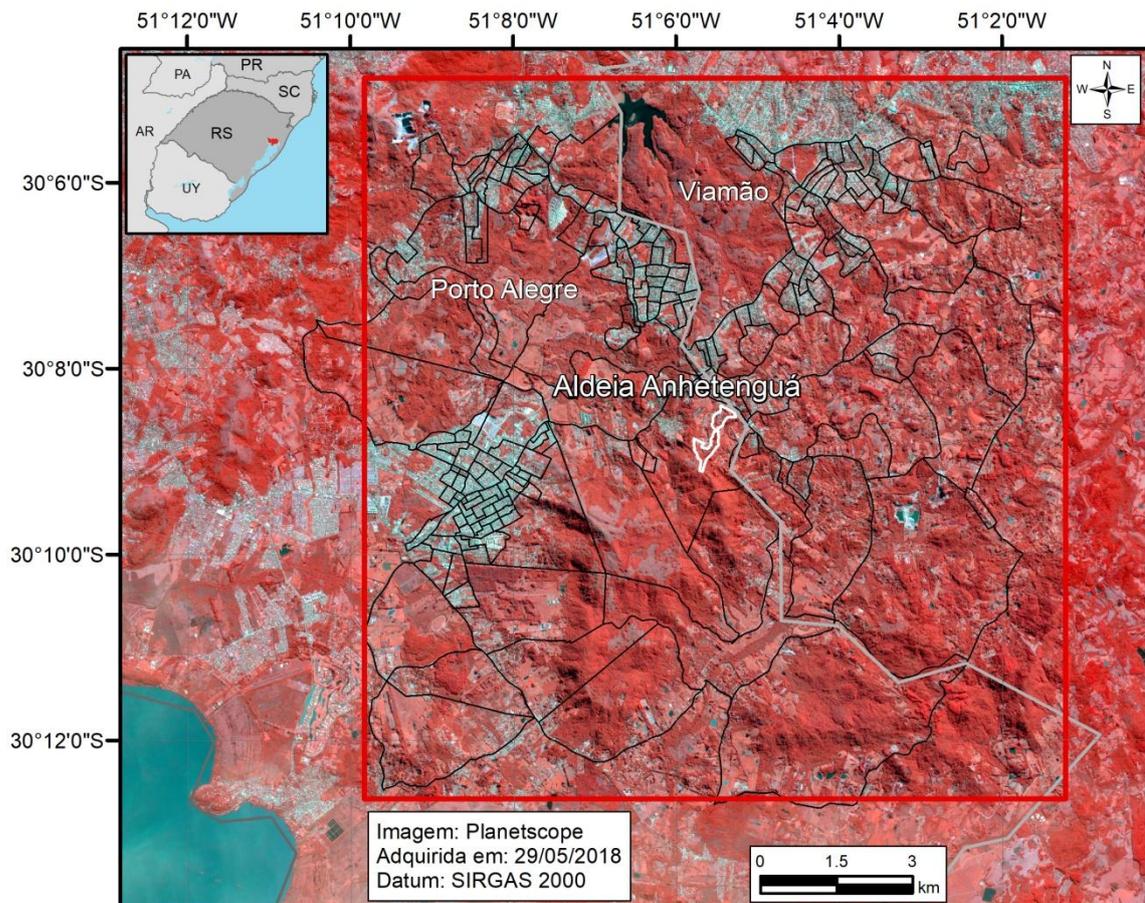


Figura 1 - Localização da área de estudo (retângulo vermelho), com os setores censitários do Censo 2010 (polígonos pretos), em composição colorida RGB 423 do PlanetScope.

A Geomorfologia local é descrita por Moura, Hasenack e Silva (2013), como morfoestrutura Bacia Sedimentar de Pelotas, com as morfoesculturas Planícies e Terras Baixas Costeiras, e Escudo Uruguaio Sul-riograndense, morfoescultura Planalto Uruguaio Sul-riograndense. Os padrões de formas encontrados são de planícies fluvio-lagunares com banhados, colinas com topos planos e convexos, morros com topos convexos.

Há ocorrência de vegetações classificadas como mata nativa; formação arbórea do tipo parque, com campo manejado; formação arbórea, com mata degradada; bosque; formação arbóreo-arbustiva; vegetação arbustiva, com potencial de recuperação; formação herbácea, com campo nativo; formação herbácea composta por gramíneas, com cultivos temporários; e silvicultura (HASENACK, 2008).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos usados para o processamento dos dados e para a geração dos resultados desta pesquisa estão descritos no fluxograma (Figura 2).

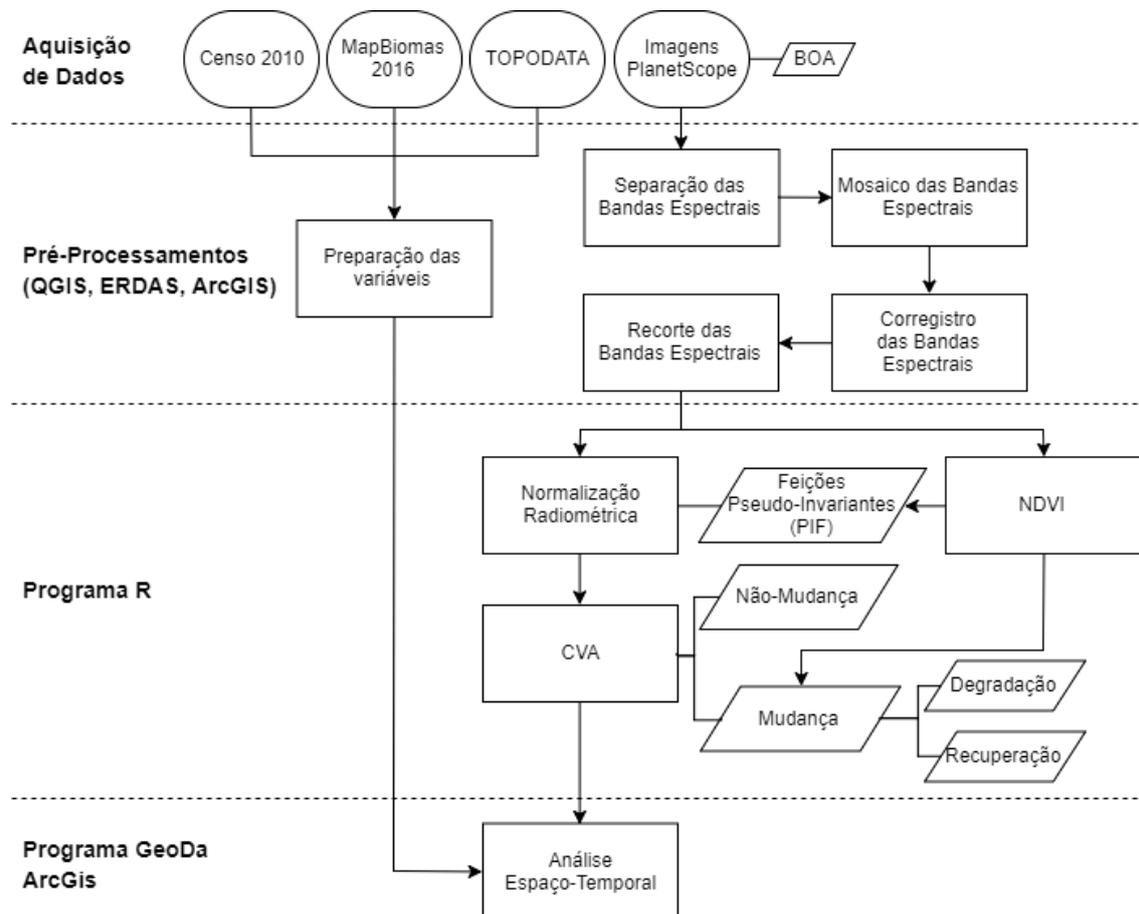


Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.

3.2.1 Pré-processamentos

As imagens usadas neste estudo, de 23 de agosto de 2016 e 29 de maio de 2018, foram adquiridas sob licença do Programa de Educação e Pesquisa da companhia Planet Labs, Inc. Estas imagens são da constelação PlanetScope e possuem reflectância superficial (*Bottom of Atmosphere* - BOA). As bandas espectrais foram separadas e cada uma destas foi mosaicada por meio do programa QGIS (Figura 2). Nos mosaicos utilizou-se o critério de maior área de cobertura da área de estudo e assim os pixels da área de sobreposição mantiveram o valor da imagem com maior cobertura.

Para evitar possíveis erros da CVA por deslocamento das imagens foi realizado o corregristo das imagens com a utilização do programa ERDAS IMAGINE 2015 (ERDAS, 2008). Este procedimento foi realizado para cada banda, utilizando a imagem mosaicada de 29 de maio de 2018 como referência. Os parâmetros usados nessa mosaicagem foram: a) 400 pontos de ligação entre mosaicos; b) modelo geométrico polinomial de 1º ordem; c) limiar de 0,5 para o RMS; e d) método de reamostragem pelo vizinho mais próximo.

Posteriormente, o mosaico corregristado de cada banda espectral foi recortado conforme os limites da área de estudo, por meio do programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc).

3.2.2 Normalização radiométrica

A normalização radiométrica foi realizada no programa R (Ihaka e Gentleman, 2018). O método de normalização radiométrica utilizado foi uma adaptação do proposto por Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), em que a seleção dos dados de controle, feições pseudo-invariantes (*Pseudo-Invariant Features* - PIF), é realizada através de equações em duas etapas, a primeira é calculado o limiar de mudança e a segunda é realizada a seleção das PIF.

Foram calculados os valores de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) (ROUSE *et al.* 1974) da imagem multiespectral de cada data, inicial e final do período, para gerar valores normalizados entre essas datas (HUETE *et al.*, 2002; JENSEN, 2009).

Com a imagem de NDVI resultante da data inicial e final foi calculado o limiar de mudança das PIF (Equação 1).

$$Lim_{pif} = min + (2 \times \sigma) \quad (1)$$

Em que:

Lim_{pif} = limiar das feições pseudo-invariantes (*Pseudo-invariant features*);

min = NDVI mínimo;

σ = desvio padrão.

Este limiar foi calculado para as duas datas, inicial e final. O fator multiplicativo 2 do desvio padrão foi definido empiricamente, com o melhor ajuste do R^2 e valor-p da estatística F e Teste t, a partir de diversos testes estatísticos ao longo do processamento.

Para a determinação das feições pseudo-invariantes foi realizado o cálculo (Equação 2).

$$PIFs = (NDVI_i < lim_i \text{ AND } NDVI_f < lim_f) = 1 \quad (2)$$

Em que:

$PIFs$ = Feições pseudo-invariantes;

lim_i = Limiar das feições pseudo-invariantes da data inicial;

lim_f = Limiar das feições pseudo-invariantes da data final;

$NDVI_i$ = NDVI da data inicial;

$NDVI_f$ = NDVI da data final.

Para os pixels em que o valor de NDVI foi menor que o limiar das feições pseudo-invariante, nas duas datas, foi atribuído o valor 1. Assim foram identificados os valores de cada pixel que posteriormente foram utilizados para equalizar a resolução radiométrica de cada banda espectral das duas datas. Estes pixels foram convertidos em uma grade de pontos de amostragem para o cálculo da regressão linear.

Com a identificação das $PIFs$, para cada banda espectral, foi realizada uma extração dos pixels de mesma localização nas duas datas e gerou-se uma nova grade de pontos de amostragem de cada banda espectral.

Foram calculados os coeficientes de regressão para cada banda espectral, utilizando os novos pontos de amostragem, com uso de uma regressão linear de distribuição gaussiana (Equação 3).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Em que:

Y_i = é o i-ésimo valor observado da variável resposta;

β_0 = intercepto populacional;

β_1 = inclinação populacional;
 ε_i = erro aleatório.

A partir dos coeficientes de regressão foi realizado o cálculo da normalização radiométrica (Equação 4).

$$B_e N = coef_1 + (B_{e1} \times coef_2) \quad (4)$$

Em que:

$B_e N$ = banda espectral normalizada;
 B_{e1} = banda espectral da data inicial;
 $coef_1$ = coeficientes β_0 e β_1 da data inicial;
 $coef_2$ = coeficientes β_0 e β_1 da data final.

A normalização radiométrica foi aplicada nas bandas espectrais da imagem da data inicial, correspondente a 23 de agosto de 2016.

3.2.3 Análise de vetor de mudança (CVA)

Para realizar a análise de vetor de mudança nas duas imagens, foi utilizada a metodologia proposta por Xian, Homer e Fry (2009), com uso do programa R (Ihaka e Gentleman, 2018).

O primeiro processo foi o cálculo da magnitude de mudança (Equação 5), executado para todos os pixels das duas imagens, 4608 colunas e 4771 linhas.

$$\Delta V = \sqrt{(B_1 - B_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (R_1 - R_2)^2 + (N_1 - N_2)^2} \quad (5)$$

Em que:

ΔV = magnitude de mudança;
 B_1, B_2 = banda espectral da faixa do azul, data inicial (1) e final (2);
 G_1, G_2 = banda espectral da faixa do verde, data inicial (1) e final (2);
 R_1, R_2 = banda espectral da faixa do vermelho, data inicial (1) e final (2);
 N_1, N_2 = banda espectral da faixa do infra-vermelho próximo, data inicial (1) e final (2).

Para selecionar os pixels que são característicos de mudança de cobertura e uso da terra foi necessário estimar um limiar de mudança da magnitude de mudança (Equação 6).

$$Lim_c = \mu + (\alpha \times \sigma) \quad (6)$$

Em que:

Lim_c = limiar de mudança;
 μ = média da magnitude de mudança;

α = ângulo de liberdade;
 σ = desvio padrão.

A seleção dos pixels em que ocorreram mudanças foi realizada utilizando os parâmetros calculados anteriormente (Equação 7).

$$Mud = \Delta V \geq Lim_c \quad (7)$$

Em que:
 Mud = mudança;
 ΔV = magnitude de mudança;
 Lim_c = limiar de mudança.

Foi executada uma filtragem dos valores de mudança em uma matriz 3x3. Os valores discrepantes dos seus vizinhos foram alterados para se caracterizarem como não-mudança. Este filtro eliminou possíveis ruídos, já que para a área e o período de estudo as mudanças que ocorreram não foram de grande magnitude.

Com os pixels de mudança identificados foi classificada a mudança em degradação ou regeneração ao longo do período de analisado (Equação 8).

$$Dif_{NDVI} = NDVI_1 - NDVI_2 \quad (8)$$

Em que:
 Dif_{NDVI} = diferença entre o NDVI inicial e final;
 NDVI₁ = NDVI inicial;
 NDVI₂ = NDVI final;

Se o valor da diferença entre os NDVIs for positivo, este resultado indica degradação, já que o valor inicial foi maior que o final, entretanto o contrário, diferença negativa, indica regeneração pelos dados dos pixels agrupados.

3.2.4 Preparação dos dados sócio-econômicos

Os setores censitários foram utilizados como unidades de agregação, para que a partir do cálculo de regressões lineares fosse possível inferir fatores condicionantes de mudança. Os dados sócio-econômicos de cada setor foram obtidos do Censo IBGE 2010. Para a inclusão nesta pesquisa foi necessário realizar os seguintes procedimentos no programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc): a) recorte e seleção dos setores censitários, foram incluídos aqueles que se localizam total ou em grande parte na área de estudo; b) integração dos dados de estrutura etária, gênero, raça, população, educação e renda com o respectivo setor censitário; e c)

exclusão dos setores censitários em que não havia dados sócio-econômicos. Foram selecionados 121 setores entre áreas em situação urbana e rural.

3.2.5 Preparação dos dados de cobertura e uso da terra

Os dados foram extraídos dos dados da série anual de cobertura e uso da terra do Projeto MapBiomass (camada 32), correspondente ao ano de 2016, que correspondem ao ano inicial da análise deste estudo.

Estes dados raster foram recortados e convertidos em um arquivo *shapefile* (feições de polígono). No programa QGIS foram ainda agrupadas as sub-classes da classe floresta, que estavam inseridas nos limites da área de estudo.

No programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc) foram feitas métricas de ecologia da paisagem (REMPEL; KAUKINEN; CARR, 2012), referentes ao tamanho, borda e forma das feições, para cada setor censitário. Com os dados de vias e hidrografia foi calculada a distância euclidiana.

Os dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) e declividade desenvolvidos por Valeriano e Rossetti (2012), TOPODATA, foram recortados pelos limites dos setores censitários, através do programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc).

Com os dados divididos para cada setor, foram calculados a média, mediana, desvio padrão e amplitude de cada dado geomorfométrico.

3.2.6 Modelos de regressão dos dados geomorfométricos, socio-econômicos e ambientais

Foi realizada a seleção das variáveis independentes, pelo método *Forward Stepwise Selection*, no programa ArcGIS 10.3 (ESRI, Inc), para os dados geomorfométricos, sócio-econômicos e ambientais, assim filtrando apenas as principais condicionantes de mudança para a degradação e regeneração da cobertura e uso da terra da área de estudo.

Primeiramente foram realizadas regressões lineares simples nos resultados gerados pela CVA, nas áreas identificadas como degradação e regeneração.

Em seguida selecionaram-se as variáveis que apresentaram significância e maior R^2 , que possuem inter-relação com o fenômeno, isto é, variáveis que podem relacionar os dados geomorfométricos e sócio-econômicos. Com estas variáveis foram realizadas as regressões lineares simples com os dados ambientais, conjunto de métricas de ecologia da paisagem.

As variáveis com significância e maior R^2 selecionadas pelo método *Forward Stepwise Selection*, para as feições identificadas como degradação e regeneração (Figura 3).

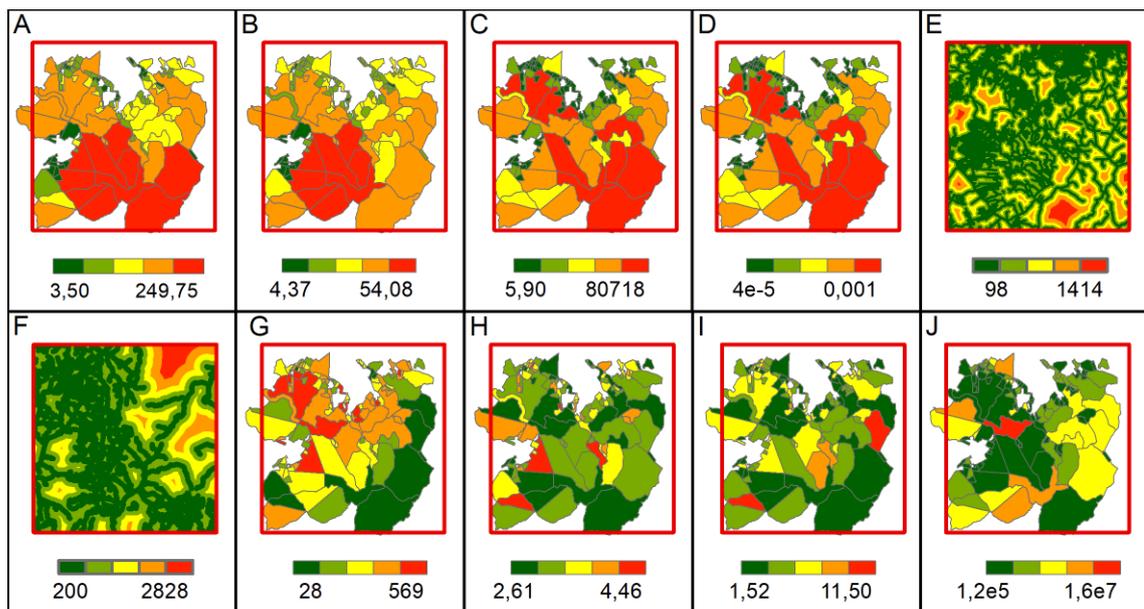


Figura 3 - Variáveis geomorfométricas, socio-econômicas e ambientais, legenda com quebras naturais. Área de estudo (retângulo vermelho) e setores censitários do Censo 2010 (polígonos); amplitude do MDE (m) (A); amplitude da declividade (m) (B); comprimento total do perímetro (m) (C); densidade de borda (D); distância de vias (m) (E); distância de hidrografia (m) (F); domicílios particulares permanentes (G); média do número de moradores (H); variância do número de moradores (I) e variância do rendimento nominal mensal (R\$) (J)

As variáveis pré-selecionadas foram utilizadas no programa GeoDa (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006) com os seguintes objetivos: a) estimar os coeficientes pelo modelo de regressão dos mínimos quadrados (OLS) e pelo modelo de regressão espacial global (ANSELIN, 1992); b) calcular a dependência espacial das variáveis por modelo de regressão.

Foram calculados os coeficientes pelo modelo OLS (Equação 9).

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (9)$$

Em que:

y = variável dependente;

X = matriz com observações de K co-variáveis;

β = vetor dos coeficientes de regressão;
 ε = erro aleatório.

O cálculo do modelo de regressão espacial global utiliza a (Equação 9) com a modificação do termo ε (Equação 10)

$$\varepsilon = \lambda W_{\varepsilon} + \xi \quad (10)$$

Em que:

λ = coeficiente autoregressivo;

W_{ε} = componente do erro com efeitos espaciais;

ξ = componente do erro com variância constante e não correlacionada.

Calculou-se o modelo de regressão do processo de degradação utilizando como variáveis independentes a amplitude da declividade; densidade de borda e domicílios particulares permanentes.

Para o modelo de regressão do processo de regeneração foram utilizadas as seguintes variáveis independentes: amplitude do MDE; densidade de borda; distância de vias; média do número de moradores; variância do número de moradores e variância do rendimento nominal mensal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de vetor de mudança (CVA), proposta por Xian, Homer e Fry (2009), foi realizada na área de estudo e seus resultados ainda foram recortados para a área de abrangência dos setores censitários, 13.318 ha, utilizados para calcular regressões lineares e inferir fatores condicionantes de MUCT.

4.1 DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE COBERTURA E USO DA TERRA

Os resultados da detecção de mudanças pelo método CVA, com e sem filtragem, para os anos de 2016 e 2018 (Figura 4).

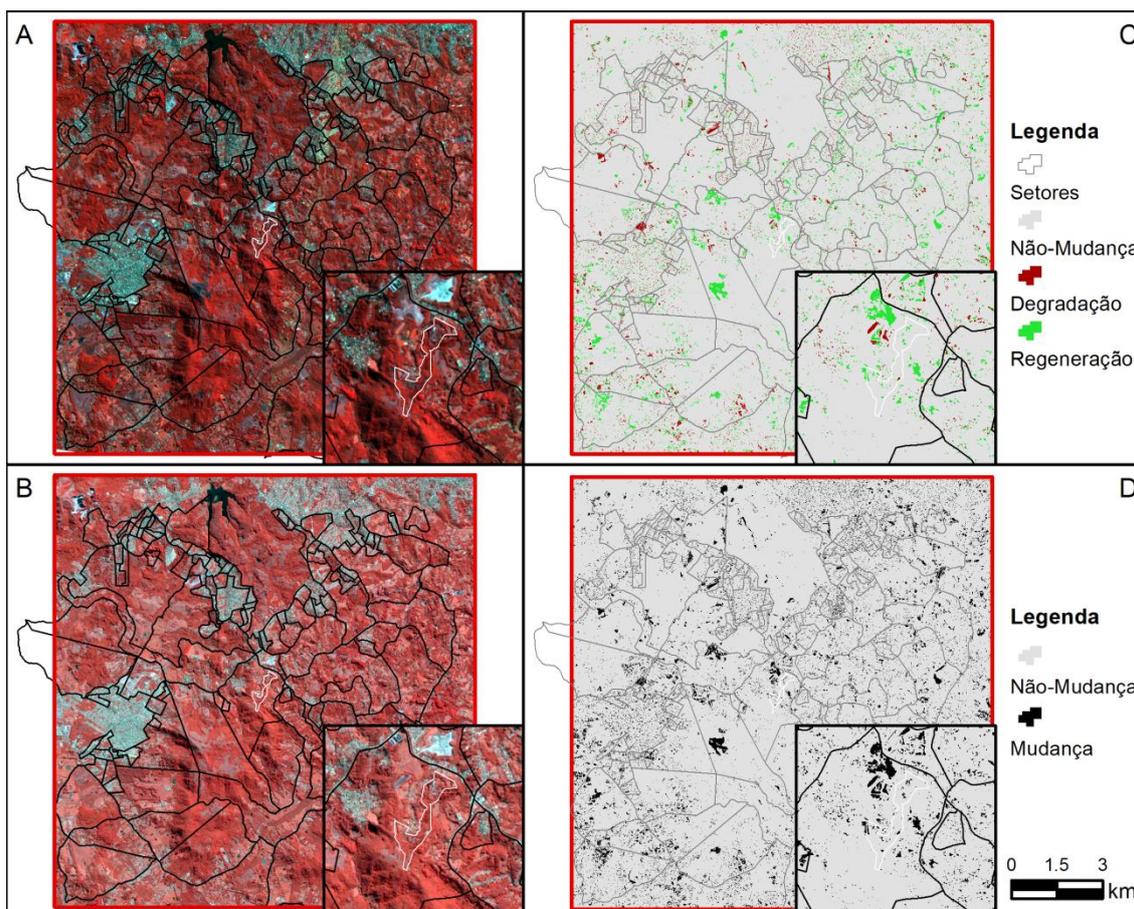


Figura 4 - Resultados da CVA entre os anos de 2016 e 2018 com janela de *zoom*. Área de estudo (retângulo vermelho); composição colorida RGB 423 de 23/08/2016 de imagens PlanetScope normalizadas (A); composição colorida RGB 423 de 29/05/2018 de imagens PlanetScope (B); CVA com classificação e filtragem (C) e CVA sem classificação e filtragem (D).

As imagens dos (A) e (B) da (Figura 4) apresentam diferença de brilho e contraste, ainda que tenha sido realizada a normalização radiométrica na imagem da data inicial. Em análise com imagens do mês de agosto de 2018 foram verificadas diferenças com as do ano de 2016. Verificou-se que na data inicial, possivelmente por erros de calibração do sensor e correção geométrica, já que foram as primeiras imagens geradas desta constelação, a presença de sombreamento em zonas de encostas dificultou o processo de detecção de MUCT e ocasionando erros. Assim optou-se por usar uma imagem final que mais se assemelhasse, em termos de sombreamento, à data inicial.

A utilização do ângulo de liberdade de 1,5 (MORISSETT; KHORRAM, 2000) para o cálculo do limiar de mudança (Equação 6) se mostrou eficiente para a detecção de mudanças, verificado visualmente em diferentes localizações da imagem na área de estudo.

A filtragem dos resultados da CVA reduziu em 50.248 pixels a classificação de mudanças (Figuras 4C e 4D), estes pixels estavam localizados em meio a áreas de não-mudança e em agrupamentos menores do que 3 pixels, e possivelmente foram classificados erroneamente.

Foram verificados casos que a CVA identificou áreas de edificação e corpos d'água como regeneração. Nas feições de corpos d'água isso possivelmente foi o resultado de um processo de eutrofização, ocorrido pelo período de aquisição da imagem, no mês de maio.

Os resultados quantitativos da detecção de MUCT dos processos de degradação e regeneração estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados percentuais da CVA.

	Área de estudo	Setores censitários
Área (ha)	19.786	13.318
Não-mudança (%)	93,78	92,72
Degradação (%)	1,97	1,79
Regeneração (%)	4,25	4,06

Os processos de degradação e regeneração podem ser considerados pouco significativos, em razão do curto período de análise. Este curto período está relacionado ao recente lançamento da constelação de nanossatélites PlanetScope. A localização da área de estudo, mais afastada de zonas com alta taxa de urbanização, também contribui com a baixa taxa de MUCT.

Para as duas unidades de recorte, área de estudo e setores censitários, os percentuais mantiveram um padrão com valores aproximados. Na unidade dos setores censitários foi desconsiderada uma área de 1,43% pois estava fora dos limites da área de estudo de 6,5 km.

4.2 FATORES CONDICIONANTES DE MUCT

Para analisar os fatores condicionantes de MUCT foram utilizados modelos de regressão linear. Os resultados dos modelos para o processo de degradação são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Resultados do modelo OLS do processo de degradação

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística T	Valor-p
Intercepto	-1,9971	0,833581	-2,39581	0,01757
Densidade de Borda	7613,66	1333,59	5,70913	0,00000
Domicílios particulares permanentes	0,00916356	0,00328638	2,78835	0,00585

Tabela 3 - Resultados do modelo de regressão espacial global do processo de degradação

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-z	Valor-p
Intercepto	-1,64555	0,826691	-1,99053	0,04653
Densidade de Borda	8387,97	1431,44	5,8598	0,00000
Domicílios particulares permanentes	0,00714458	0,00321564	2,22182	0,02630
Lambda	0,306279	0,098787	3,1004	0,00193

O modelo de regressão OLS do processo de degradação com as duas variáveis significativas teve um R^2 0,163, significante, estatística F com valor-p igual a 0,0000000571. A estatística T demonstrou que é maior a evidência contra a hipótese nula, ou seja, as variáveis incorporaram melhores resultados ao modelo. A autocorrelação espacial foi medida pelo Índice de Moran. Os resíduos do modelo do processo de degradação, pelo método dos mínimos quadrados, foi de 0,2197 com alta significância (valor-p = 0,001), revelando presença de tendência no modelo relacionada à dependência espacial (Tabela 2). Após ajuste do modelo, por regressão espacial global, obteve-se $I = 0,0046$, não significante (valor-p = 0,331) (Tabela 3). O resultado do método de regressão espacial global teve sucesso na remoção dos efeitos da dependência espacial no modelo linear não-espacial (ANSELIN, 1992). O modelo por regressão espacial global teve um melhoramento do valor de R^2 para 0,235.

A variável densidade de borda apresenta uma alta significância e um valor de coeficiente positivo, indicando que, quanto maior a densidade de borda, maior a presença do processo de degradação. A variável independente de domicílios particulares permanentes apresentou também significância (0,02630) e uma correlação positiva (0,00714458) com o

processo de degradação, indicando que este ocorreu mais em áreas mais urbanizadas com maior número de domicílios.

Com a utilização das cinco variáveis independentes (Tabela 4 e 5) o modelo de regressão OLS do processo de regeneração, apresentou R^2 0,816, sendo significativa (estatística F com valor-p igual a 1.52013×10^{-39}). O modelo obteve ganho de qualidade com a utilização das variáveis, conforme demonstra os resultados da estatística T. Os resíduos foram submetidos ao cálculo de autocorrelação pelo Índice de Moran e apresentaram coeficiente de 0,1423, considerado significativo (valor-p = 0,005), Tabela 4. Com o modelo de regressão espacial global os resultados foram de $I = -0,0084$, não significativo (valor-p = 0,423), demonstrando a eficácia de tal modelo para a redução dos efeitos de dependência espacial também neste modelo (Tabela 5). O modelo por regressão espacial global teve um melhoramento do valor de R^2 para 0,824.

Tabela 4 - Resultados do modelo OLS do processo de regeneração

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística T	Valor-p
Intercepto	5,63897	3,09387	1,82263	0,07098
Densidade de Borda	21378,7	2305,03	9,27479	0,00000
Amplitude do MDE	0,0270176	0,00802867	3,36514	0,00104
Média do número de moradores	-2,75545	1,02356	-2,69202	0,00817
Variância do número de moradores	1,16728	0,237787	4,90891	0,00000
Variância do rendimento nominal mensal	6,80566e-7	1,6272e-07	4,18245	0,00006
Distância de vias	-0,0262386	0,00574843	-4,56449	0,00001

Tabela 5 - Resultados do modelo de regressão espacial global do processo de regeneração

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-z	Valor-p
Intercepto	6,105	2,95199	2,06809	0,03863
Densidade de Borda	20797,5	2155,2	9,6499	0,00000
Amplitude do MDE	0,0264711	0,00805271	3,28723	0,00101
Média do número de moradores	-2,98433	0,967121	-3,08579	0,00203
Variância do número de moradores	1,25123	0,220413	5,67675	0,00000
Variância do rendimento nominal mensal	6,89736e-07	1,51028e-07	4,56696	0,00000
Distância de vias	-0,0248426	0,00543431	-4,57144	0,00000
Lambda	0,23297	0,115309	2,02039	0,04334

A densidade de borda é a variável que apresenta maior correlação com o processo de regeneração, podendo ser explicado pelo aumento de fragmentos de áreas florestadas e consequentemente maior perímetro em relação à área total da unidade de paisagem. A média do número de moradores foi a segunda variável que mais se correlaciona, porém de forma negativa; assim, quanto menor for a média maior será a regeneração, mostrando que tal processo ocorreu preferencialmente em áreas de ocupação urbana mais rarefeita. A menor correlação das variáveis foi com a variância do rendimento nominal mensal, demonstrando que quanto maior for a desigualdade de distribuição de renda, dispersão da renda, pouco irá resultar em regeneração.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens dos nanossatélites da constelação PlanetScope, mesmo possuindo nível de processamento 3B, apresentaram inconsistências de correção topográfica, problemas radiométricos, de sombreamentos, diferenças de brilho e contraste, e portanto, necessitam de procedimentos de normalização radiométrica para estudo temporais.

O procedimento de detecção de mudanças, pelo método de análise de vetor de mudanças - CVA foi consistente. Após interpretação visual dos resultados notaram-se poucas ocorrências de confusão da detecção de MUCT. Por não haver uma classificação de uso e cobertura da terra com imagens de alta resolução espacial e atualizadas, e por não terem sido realizadas checagens de campo, não foi possível avaliar a acurácia dos resultados, por meio do cálculo de uma matriz de erro ou confusão.

Os processos de degradação foram mais baixos que os de regeneração na área de estudo, de 1,97% e 4,25%, respectivamente, demonstrando uma boa tendência para a conservação desta zona dos municípios de Porto Alegre e Viamão (RS). Para os setores censitários os percentuais foram próximos: degradação de 1,79% e regeneração de 4,06%.

Os modelos de regressão indicaram que nos dois processos avaliados o fator condicionante de maior relevância foi a densidade de borda, uma vez que esta indica o aumento no número de fragmentos, podendo tanto ser um aspecto positivo quanto negativo.

Os resultados obtidos são relevantes na composição de estudos para a criação de etnomapeamentos, inserindo fatores externos à Aldeia na análise de conservação e manejo de seus territórios. A CVA com o uso de imagens de alta resolução espacial e temporal ainda permite o monitoramento da TI.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Este estudo é parte integrante de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR), realizado no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS (CEPSRM). As imagens utilizadas da constelação PlanetScope foram obtidas por meio de projeto aprovado junto ao Programa de Pesquisa e Educação da Planet Labs, Inc.

Referências bibliográficas

- ALQURASHI, A. F.; KUMAR, L.. Investigating the Use of Remote Sensing and GIS Techniques to Detect Land Use and Land Cover Change: A Review. **Advances In Remote Sensing**, [s.l.], v. 02, n. 02, p.193-204, 2013. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2013.22022>.
- AL-SHARIF, A. A. A.; PRADHAN, B.. Spatio-Temporal Prediction of Urban Expansion Using Bivariate Statistical Models: Assessment of the Efficacy of Evidential Belief Functions and Frequency Ratio Models. **Applied Spatial Analysis And Policy**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.213-231, 8 abr. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12061-015-9147-1>.
- ANSELIN, L. *SpaceStat TUTORIAL*. Urbana-Champaign, University of Illinois, 1992.
- ANSELIN, L.; Ibnu, S.; Youngihn, K.. (2006). **GeoDa**: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis* 38 (1), 5-22.
- BARROS, L. P.; MAZUREK, R. R. S.; BALIEIRO, C. P. P.; AMORA, P. B. C.; SZTUTMAN, M.. Etnomapeamento como instrumento de apoio à classificação da tipologia florestal nas terras indígenas Uaçá, Galibi e Juminã, no estado do Amapá. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 3191 - 3198. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.01.02.19>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GILLESPIE, A. R.; SILVA, N. C.; GOMES, R. A. T.. A New Approach to Change Vector Analysis Using Distance and Similarity Measures. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 3, n. 11, p.2473-2493, 18 nov. 2011. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs3112473>.
- CORREIA, C. S.. Etnozoneamento, etnomapeamento e diagnóstico etnoambiental: representações cartográficas e gestão territorial em terras indígenas no estado do Acre. 2007. 431 f. Tese (Doutorado) - Curso de Antropologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/1183>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- DENG, J. S.; WANG, K.; HONG, Y.; QI, J. G.. Spatio-Temporal Dynamics and Evolution of Land Use Change and Landscape Pattern in Response to Rapid Urbanization. **Landscape And Urban Planning**, [s.l.], v. 92, n. 3-4, p.187-198, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>.
- DEWAN, A. M.; YAMAGUCHI, Y.. Land Use and Land Cover Change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing to Promote Sustainable Urbanization. **Applied Geography**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.390-401, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.12.005>.

- DOBRINIC, D.; GASPAROVIC, M.; ŽUPAN, R.. HORIZONTAL ACCURACY ASSESSMENT OF PLANETSCOPE, RAPIDEYE AND WORLDVIEW-2 SATELLITE IMAGERY. **18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference Sgem 2018**, Informatics, Geoinformatics, [s.l.], v. 2, n. 1, p.129-136, 20 jun. 2018. Stef92 Technology. <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2018/2.3/s10.017>.
- ERDAS. IMAGINE AutoSync™: User's Guide. Norcross: ERDAS Inc, 2008. 76 p.
- HALL, F.G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J.. Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.11-27, jan. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90062-b](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90062-b).
- HEO, J.; FITZHUGH, T. W.. A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, Maryland, v. 66, n. 2, p.173-181, 02 fev. 2000. Disponível em: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2000journal/february/2000_feb_173-181.pdf>. Acesso em: 02 maio 2018.
- HONG, G.. **Image Fusion, Image Registration, and Radiometric Normalization for High Resolution Image Processing**. 2007. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geodesy And Geomatics Engineering, Geodesy And Geomatics Engineering, University Of New Brunswick, New Brunswick, Canada, 2007. Disponível em: <<http://www2.unb.ca/gge/Pubs/TR247.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.
- HUETE A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. .; GAO, X.; FERREIRA, L.. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 83, n. 1-2, p.195-213, nov. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(02\)00096-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(02)00096-2).
- IBGE. “Censo demográfico de 2010”. IBGE, Rio de Janeiro, 2010.
- JENSEN, J. R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres..** 2. ed. São José dos Campos, Sp: Parêntese, 2009. 598 p. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) *et al.*.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W.. **Remote sensing and image interpretation**. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015. 736 p.
- MALILA, W. A.. Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 6., 1980, West Lafayette, Indiana. **Proceedings...** . West Lafayette, Indiana: Anais..., 1980. p. 326 - 335. Disponível em: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1386&context=lars_symp>. Acesso em: 06 maio 2018.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Brasília: Unb, 2012.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 463, de 18 de dezembro de 2018.** Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade. Brasília, 19 dez. 2018. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/55881195/do1-2018-12-19-portaria-n-463-de-18-de-dezembro-de-2018-55880954. Acesso em: 19 jul. 2019.
- MORISSETT, J. T.; KHORRAM, S.. Accuracy Assessment Curves for Satellite-Based Change Detection. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Maryland, v. 66, n. 7, p.875-880, jul. 2000. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2000journal/july/2000_jul_875-880.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- MOURA, N.V.S.; HASENACK, H.; SILVA, L.L. **Mapa geomorfológico dos municípios de Porto Alegre, Viamão e Alvorada - RS.** Porto alegre: UFRGS - IB - Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-10-4. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.
- O'CONNELL, J.; Connolly, J.; Vermote, E. F.; Holden, N. M.. Radiometric normalization for change detection in peatlands: a modified temporal invariant cluster approach. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 34, n. 8, p.2905-2924, 20 abr. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.752886>. Acesso em: 02 maio 2018.
- OLIVERO, J.; FERRI, F.; ACEVEDO, P.; LOBO, J. M.; FA, J. E; FARFÁN, M. Á; ROMERO, D.; BLANCO, G.; REAL, R.. Using Indigenous Knowledge to Link Land Cover Mapping with Land Use in the Venezuelan Amazon: "The Forest Pulse". **Revista de Biología Tropical**, [s.l.], v. 64, n. 4, p.1661-1682, 20 jul. 2016. Universidad de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i4.21886>.
- PETIT, C.; SCUDDER, T.; LAMBIN, E.. Quantifying Processes of Land-Cover Change by Remote Sensing: Resettlement and Rapid Land-Cover Changes in South-Eastern Zambia. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 22, n. 17, p.3435-3456, jan. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160010006881>.
- PLANET. **Planet Imagery:** Product Specifications. San Francisco, Ca: Planet, 2018a. 57 p. Disponível em: https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_Decemb. Acesso em: 15 abr. 2018.
- PLANET. **Planet Surface Reflectance Product.** San Francisco, Ca: Planet, 2018b. 57 p. Disponível em: https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf. Acesso em: 11 maio 2018.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M.. **Sensoriamento Remoto da Vegetação.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.
- PRINTES, R. B.. Território e territorialidade: revisando conceitos diante da complexidade da sociodiversidade. In: SEMINÁRIO OBSERVATÓRIOS, METODOLOGIAS E IMPACTOS: DADOS E PARTICIPAÇÃO, 5., 2015, São Leopoldo. **V Seminário**

Observatórios, Metodologias e Impactos: Dados e Participação. São Leopoldo: Instituto Humanitas Unisinos, 2015. p. 66 - 68. Disponível em: <<http://repositorio.unisinos.br/ihu/v-seminario-observatorios/27-printes-territorio-territorialidade.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

Projeto MapBiomias - **Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, acessado em 3 jul. 2019 através do link: http://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/COLECAO/3_1/CONSOLIDACAO/PAMPA.tif

REMPEL, R.S.; KAUKINEN, D.; CARR, A.P.. 2012. **Patch Analyst and Patch Grid**. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.

RICHARDS, J. A.; JIA, X.. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 4. ed. Berlin: Springer, 2006. 439 p.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 1974, S.L. **Proceedings...** Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.300-309, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>.

XIAN, G.; HOMER, C.; FRY, J.. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 113, n. 6, p.1133-1147, 15 jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.004>.

YANG, X.; LO, C.P.. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, Maryland, v. 66, n. 8, p.967-980, 08 ago. 2000. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/0a0f/21d33163519eee054b717575bb14f3649dfd.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.

YU, W.; ZHOU, W.; QIAN, Y.; YAN, J.. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 177, p.37-47, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.030>.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados das imagens dos nanossatélites PlanetScope apresentaram inconsistências, que possivelmente foram geradas por variações de altitude e atitude dessas plataformas (inclinação, rolamento e arfagem) e pela grande quantidade de sensores utilizados (89), que adquiriram imagens em diferentes horários local (219), entre as 10 e 13 horas.

Ainda que estes dados possuam nível de processamento 3B e correção atmosférica pelo modelo de transferência radiativa 6S, os mesmos apresentaram problemas de correção, inconsistências radiométricas, resultando em diferenças de brilho e contraste, de correções topográficas, caracterizada pela ocorrência de sombreamento em regiões com grande amplitude de relevo. Fatores possivelmente relacionados a estas inconsistências são descritos por Planet (2018c), como a não correção de neblina, nuvens finas e de efeitos de dispersão luminosa; a utilização de um modelo global único de aerossol e a generalização da altitude das imagens ao nível do mar.

Os processamentos de normalização radiométrica, pelo método adaptado de Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) e pela utilização do NDVI (JENSEN, 2009; HUETE *et al.*, 2002), realizados na preparação dos dados se mostraram eficientes na atenuação das inconsistências verificadas na série temporal de imagens. Foram utilizadas 272 imagens para gerar o mosaico da área de estudo em 123 datas diferentes, entre o mês de agosto de 2016 e agosto de 2018.

O correção das imagens foi um procedimento fundamental neste estudo, por se verificar deslocamentos entre as imagens de datas distintas ao longo de toda a série temporal.

A filtragem e reconstrução dos dados de CMV NDVI para as diferentes composições temporais, realizada pelo método proposto por Savitzky e Golay (1964), ainda que tradicionalmente usada para dados com média resolução espacial, como os do sensor MODIS, foi eficiente na geração de perfil temporal estável para as imagens de alta resolução espacial dos nanossatélites PlanetScope.

O processamento desta grande quantidade de dados, com cerca de 95 GB, foi uma das dificuldades enfrentadas nesta pesquisa. Os programas R e MATLAB operaram de formas diferentes no uso da memória RAM (32 GB) da estação de trabalho utilizada (com

processador Intel Xeon 3,5 GHz). Para o processamento de filtragem da série temporal foi necessário particionar em 4 conjuntos os dados de CMV NDVI, composição de 10 dias, para executar o *script* no programa MATLAB.

A análise de imagens com uso de série temporal filtrada e reconstruída apresentou resultados satisfatórios; a dispersão dos valores de NDVI em relação à média se manteve baixa, indicando ganho de qualidade. As classes amostradas puderam ser bem diferenciadas e divididas em dois grupos: edificação e solo exposto, nas faixas de aproximadamente 0,1 a 0,3; e floresta e vegetação herbácea, entre valores próximos a 0,6 e 0,8. Os valores mínimo, máximo e médio do NDVI na série temporal permitem inferir estas classes e possíveis mudanças destas ao longo da série temporal.

A detecção de mudanças pela técnica CVA demonstrou que na área de estudo está ocorrendo um maior processo de regeneração do uso e cobertura da terra, mesmo que a série temporal tenha apenas 2 anos, podendo ser atribuído a novas formas de ocupação da terra nesta região, como condomínios rurais, que mantem áreas com vegetação arbórea e herbácea. A densidade de borda foi o fator condicionante com maior correlação linear com os processos de degradação e regeneração.

Os resultados desta pesquisa podem agregar conhecimentos da dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra nos entornos da Aldeia Verdadeira, possibilitando o monitoramento desta área de extrema relevância para a conservação e preservação ambiental e cultural da população mbyá-guarani que ocupa tradicionalmente este território.

Referências gerais

- ALQURASHI, A. F.; KUMAR, L.. Investigating the Use of Remote Sensing and GIS Techniques to Detect Land Use and Land Cover Change: A Review. **Advances In Remote Sensing**, [s.l.], v. 02, n. 02, p.193-204, 2013. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2013.22022>.
- AL-SHARIF, A. A. A.; PRADHAN, B.. Spatio-Temporal Prediction of Urban Expansion Using Bivariate Statistical Models: Assessment of the Efficacy of Evidential Belief Functions and Frequency Ratio Models. **Applied Spatial Analysis And Policy**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.213-231, 8 abr. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12061-015-9147-1>.
- BAYLOR, M.. **Planet Labs Targets a Search Engine of the World**. 2018. Disponível em: <https://www.nasaspaceflight.com/2018/01/planet-labs-targets-search-engine-world/>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- BLACKWELL, W.; CAHOY, K.; ERICKSON, N.. MicroMAS: A First Step Towards a Nanosatellite Constellation for Global Storm Observation. In: SMALL SATELLITE CONFERENCE, 27., 2013, Logan, Utah. **Proceedings...** . Logan: Anais, 2013. p. 1 - 10. Disponível em: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2985&context=smallsat>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- BRASIL. Decreto nº 5758, de 13 de abril de 2006. **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas - PNAP**. Brasília, DF, p. 1-44. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/205/_arquivos/planonacionaareasprotegidas_205.pdf. Acesso em: 25 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011. 76 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/areas_protegidas/snuc/Livro%20SNUC%20PNAP.pdf. Acesso em: 25 out. 2018.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GILLESPIE, A. R.; SILVA, N. C.; GOMES, R. A. T.. A New Approach to Change Vector Analysis Using Distance and Similarity Measures. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 3, n. 11, p.2473-2493, 18 nov. 2011. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs3112473>.
- CHEN, J.; GONG, P.; HE, C.; PU, R.; SHI, P.. Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [s.l.], v. 69, n. 4, p.369-379, 1 abr. 2003. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.14358/pers.69.4.369>.
- DENG, J. S.; WANG, K.; HONG, Y.; QI, J. G.. Spatio-Temporal Dynamics and Evolution of Land Use Change and Landscape Pattern in Response to Rapid Urbanization.

Landscape And Urban Planning, [s.l.], v. 92, n. 3-4, p.187-198, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>.

DEWAN, A. M.; YAMAGUCHI, Y.. Land Use and Land Cover Change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing to Promote Sustainable Urbanization. **Applied Geography**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.390-401, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.12.005>.

DOBRINIC, D.; GASPAROVIC, M.; ŽUPAN, R.. HORIZONTAL ACCURACY ASSESSMENT OF PLANETSCOPE, RAPIDEYE AND WORLDVIEW-2 SATELLITE IMAGERY. **18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference Sgem 2018**, Informatics, Geoinformatics, [s.l.], v. 2, n. 1, p.129-136, 20 jun. 2018. Stef92 Technology. <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2018/2.3/s10.017>.

DUNBAR, B.. **Small Spacecraft Technology**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/offices/oct/crosscutting_capability/edison/smallsat_tech.html>. Acesso em: 28 abr. 2018.

EOPORTAL. **Planet - Flock Imaging Constellation**. Disponível em: <<https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/flock-1>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S.. O Desmatamento na Amazônia e a Importância das Áreas Protegidas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 19, n. 53, p.157-166, abr. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142005000100010>.

Fundação Nacional do Índio (FUNAI). **Terras Indígenas**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>>. Acesso em: 25 out. 2018b.

Fundação Nacional do Índio (FUNAI). **Terras Indígenas: o que é?**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/2014-02-07-13-24-32>>. Acesso em: 25 out. 2018a.

HALL, F.G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J.. Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.11-27, jan. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90062-b](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90062-b).

HASENACK, H. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

HEO, J.; FITZHUGH, T. W.. A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, Maryland, v. 66, n. 2, p.173-181, 02 fev. 2000. Disponível em: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2000journal/february/2000_feb_173-181.pdf>. Acesso em: 02 maio 2018.

- HEROLD, M.; COUCLELIS, H.; CLARKE, K. C.. The Role of Spatial Metrics in the Analysis and Modeling of Urban Land Use Change. *Computers, Environment And Urban Systems*, [s.l.], v. 29, n. 4, p.369-399, jul. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.12.001>.
- HONG, G.. **Image Fusion, Image Registration, and Radiometric Normalization for High Resolution Image Processing**. 2007. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geodesy And Geomatics Engineering, Geodesy And Geomatics Engineering, University Of New Brunswick, New Brunswick, Canada, 2007. Disponível em: <<http://www2.unb.ca/gge/Pubs/TR247.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.
- INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Terras Indígenas na Amazônia Brasileira: Reservas de Carbono e Barreiras ao Desmatamento**. Brasília: Ipam, 2015. 16 p. Disponível em: <http://ipam.org.br/wp-content/uploads/2015/12/terras_indigenas_na_amazonia_brasileira_pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA) (São Paulo). **Situação Jurídica das TIs no Brasil Hoje**. 2018. Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt/Situa%C3%A7%C3%A3o_jur%C3%ADdica_das_TIs_no_Brasil_hoje>. Acesso em: 25 out. 2018.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Territorios de los Pueblos Indígenas Amazónicos, Bosques y Cambio Climático: Análisis y Opciones de Política**. 2017. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/policybrief_span.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.
- JENSEN, J. R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José dos Campos, Sp: Parêntese, 2009.598 p. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) *et al.*.
- JOHNSON, R. D.; KASISCHKE, E. S.. Change Vector Analysis: A Technique for the Multispectral Monitoring of Land Cover and Condition. *International Journal Of Remote Sensing*, [s.l.], v. 19, n. 3, p.411-426, jan. 1998. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698216062>.
- JOSÉ "Pepe" Mujica. Direção de Luiz Sperotto. Produção de Francisco Milanez. Roteiro: Thais Aragão. Porto Alegre: Ufrgs Tv, 2014. Son., color. Legendado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/103922>>. Acesso em: 07 jan. 2019.
- KULU, E.. **Nanosatellite & CubeSat Data Base**. Disponível em: <<http://www.nanosats.eu/index.html#database>>. Acesso em: 28 abr. 2018.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W.. **Remote sensing and image interpretation**. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015. 736 p.
- MALDONADO, F. D.. **Desenvolvimento e Avaliação de uma Metodologia de Detecção de Mudanças na Cobertura Vegetal do Semi-árido**. 2005. 311 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (inpe),

São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/11.24.09.33/doc/publicacao.pdf?metadataarepository=&mirror=sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.08.10.39>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

MALILA, W. A.. Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 6., 1980, West Lafayette, Indiana. **Proceedings...** West Lafayette, Indiana: Anais..., 1980. p. 326 - 335. Disponível em: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1386&context=lars_symp>. Acesso em: 06 maio 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Corredores Ecológicos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/corredor-es-ecologicos>>. Acesso em: 10 maio 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 463, de 18 de dezembro de 2018**. Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade. Brasília, 19 dez. 2018. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/55881195/do1-2018-12-19-portaria-n-463-de-18-de-dezembro-de-2018-55880954. Acesso em: 19 jul. 2019.

O'CONNELL, J.; Connolly, J.; Vermote, E. F.; Holden, N. M.. Radiometric normalization for change detection in peatlands: a modified temporal invariant cluster approach. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 34, n. 8, p.2905-2924, 20 abr. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.752886>. Acesso em: 02 maio 2018.

OLIVERO, J.; FERRI, F.; ACEVEDO, P.; LOBO, J. M.; FA, J. E; FARFÁN, M. Á; ROMERO, D.; BLANCO, G.; REAL, R.. Using Indigenous Knowledge to Link Land Cover Mapping with Land Use in the Venezuelan Amazon: "The Forest Pulse". **Revista de Biología Tropical**, [s.l.], v. 64, n. 4, p.1661-1682, 20 jul. 2016. Universidad de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i4.21886>.

PETIT, C.; SCUDDER, T.; LAMBIN, E.. Quantifying Processes of Land-Cover Change by Remote Sensing: Resettlement and Rapid Land-Cover Changes in South-Eastern Zambia. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 22, n. 17, p.3435-3456, jan. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160010006881>.

PLANET LABS BUYS ... San Jose, Ca, 03 fev. 2017. Disponível em: <<https://www.bizjournals.com/sanjose/news/2017/02/03/planet-labs-buys-satellite-business-thatgoogle.h>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

PLANET. **Our Approach**. Disponível em: <<https://www.planet.com/company/>>. Acesso em: 26 abr. 2018b.

- PLANET. **Planet Imagery**: Product Specifications. San Francisco, Ca: Planet, 2018a. 57 p. Disponível em: <https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_Decemb>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- PLANET. **Planet Surface Reflectance Product**. San Francisco, Ca: Planet, 2018c. 57 p. Disponível em: <https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf>. Acesso em: 11 maio 2018.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M.. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.
- SANDAU, Rainer. Status and Trends of Small Satellite Missions for Earth Observation. **Acta Astronautica**, [s.l.], v. 66, n. 1-2, p.1-12, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.06.008>.
- SELVA, D.; KREJCI, D.. A Survey and Assessment of the Capabilities of Cubesats for Earth Observation. **Acta Astronautica**, [s.l.], v. 74, p.50-68, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.12.014>.
- SINGH, A.. Review Article Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 10, n. 6, p.989-1003, jun. 1989. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168908903939>.
- SWARTWOUT, M.. The First One Hundred CubeSats: A Statistical Look. **Journal Of Small Satellites**, Hampton, Virgínia, v. 2, n. 2, p.213-233, 2 dez. 2013. Mensal. Disponível em: <<http://www.jossonline.com/wp-content/uploads/2014/12/0202-The-First-One-Hundred-Cubesats.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- TAUBENBÖCK, H. *et al.* New Dimensions of Urban Landscapes: The Spatio-Temporal Evolution from a Polynuclei Area to a Mega-Region Based on Remote Sensing Data. **Applied Geography**, [s.l.], v. 47, p.137-153, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.12.002>.
- TEWKESBURY, A. P.; COMBER, A. J.; TATE, N. J.; LAMB, A.; FISHER, P. F.. A Critical Synthesis of Remotely Sensed Optical Image Change Detection Techniques. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 160, p.1-14, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.006>.
- TOTH, C.; JÓZKÓW, G.. Remote Sensing Platforms and Sensors: A survey. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 115, p.22-36, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>.
- Union Of Concerned Scientist (UCS). **UCS Satellite Database**. 2017. Disponível em: <<https://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.WueNu4jwbIU>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- WULDER, M. A.; COOPS, N. C.; ROY, D. P.; WHITE, J. C.; HERMOSILLA, T.. Land Cover 2.0. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 39, n. 12, p.4254-

4284, 27 mar. 2018. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1452075>.

YANG, X.; LO, C.P.. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, Maryland, v. 66, n. 8, p.967-980, 08 ago. 2000. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/0a0f/21d33163519eee054b717575bb14f3649dfd.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.

YOUNG, C. E. F.; MEDEIROS, R. (Org.). **Quanto Vale o Verde**: a importância econômica das unidades de conservação brasileiras. Rio de Janeiro: Conservação Internacional, 2018. 180 p. Disponível em: <https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/quanto_vale_o_verde_com_capa.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

YU, W.; ZHOU, W.; QIAN, Y.; YAN, J.. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 177, p.37-47, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.030>.

YUAN, D.; ELVIDGE, C. D.. Comparison of Relative Radiometric Normalization Techniques. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 51, n. 3, p.117-126, jun. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0924-2716\(96\)00018-4](http://dx.doi.org/10.1016/0924-2716(96)00018-4).