



**DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA DE
MADEIRAS NA AMAZÔNIA USANDO DADOS DE
RADAR**

MARIA TEREZA LEITE MONTALVÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA DE
MADEIRAS NA AMAZÔNIA USANDO DADOS DE
RADAR**

MARIA TEREZA LEITE MONTALVÃO

ORIENTADOR: ERALDO A. T. MATRICARDI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO, 2019

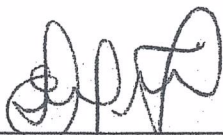
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRAS NA AMAZÔNIA
USANDO DADOS DE RADAR”

MARIA TEREZA LEITE MONTALVÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

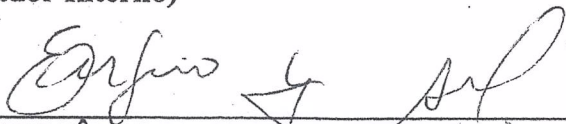
APROVADA POR:



Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)



Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Prof. Dr. EUGÊNIO YATSUDA ARIMA (University of Texas at Austin – UT);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. MAURO ELOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 19 de fevereiro de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTALVAO, M.T (2019). **Detecção de extração seletiva de madeiras na Amazônia usando dados de RADAR**. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF 98p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Maria Tereza Leite Montalvão

TÍTULO: **Detecção de extração seletiva de madeiras na Amazônia usando dados de RADAR**.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Maria Tereza Leite Montalvão
mterezalm@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e minha irmã que sempre acreditaram em meu potencial e me apoiaram. Seus valores são e sempre serão minha fonte de motivação.

Ao meu orientador Eraldo Matricardi por me inspirar com seu profissionalismo e por me guiar no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por sua sabedoria, empatia e enorme paciência durante este processo. Sem seu apoio e compreensão este trabalho não seria possível, ser sua orientada é um grande privilégio.

Ao Humberto Mesquita por proporcionar o suporte e acesso aos dados e imagens e seu histórico de pesquisa na área. Seu auxílio nas etapas de processamento dos dados de foram fundamentais.

Aos meus amigos e colegas de turma, que desde a graduação me acompanharam nesta aventura e tornaram a jornada mais leve e alegre.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e a todo o corpo docente e funcionários que foram integrantes em minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

“Sometimes good things fall apart so that better things can fall together” – Marilyn Monroe

RESUMO

Além de sua importância ecológica, a floresta amazônica proporciona importantes atividades econômicas relacionadas à agricultura, pecuária e extração madeireira. Entretanto, as atividades humanas provocam diversos impactos ambientais na floresta. Mais especificamente, as atividades de extração seletiva de madeiras aumentaram nas últimas décadas, causando vários distúrbios, mesmo quando adotadas técnicas e gerenciamento da extração por impacto reduzido (EIR). Portanto, detectar e monitorar as áreas de florestas nativas exploradas seletivamente é uma tarefa desafiadora, principalmente devido à grande frequência de cobertura de nuvens em imagens obtidas por sensores ópticos, comumente utilizados para esta finalidade. O potencial das imagens de RADAR para monitorar a extração seletiva de madeira é alto e surge como uma ferramenta alternativa e eficiente para o monitoramento ambiental devido à sua capacidade de penetração em nuvens e copas de árvores. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do sensor ALOS PALSAR (banda L de abertura sintética) para mapear áreas na floresta sob atividades de corte seletivo na Amazônia. As áreas estudadas estão localizadas na Floresta Nacional do Jamari, Floresta Nacional do Jacundá no estado de Rondônia e na Fazenda 4 Ventos, localizada no município de Feliz Natal, no estado do Mato Grosso. Estas áreas representam duas regiões de extração seletiva, em floresta ombrófila, sendo duas Florestas Nacionais (FLONAS) sob Exploração de Impacto Reduzido (EIR) e uma área privada em região de transição de vegetação sob regime de Manejo Florestal Sustentável aprovado pela Secretaria de Meio Ambiente do estado do Mato Grosso. O conjunto de dados consistiu em 09 cenas duplamente polarizadas (modo FBD, HH + HV) adquiridas em 2014, 2015, 2016 e 2017. Todas as cenas foram geo-retificadas, e seu Número Digital (DN) foi convertido para o coeficiente de retroespalhamento normalizado (σ° dB) para ambos os sensores. Um filtro textura para redução de *speckle* foi aplicado a todas as cenas e um modelo foi aplicado para detectar e mapear as áreas sob atividade de extração seletiva. A metodologia de mapeamento consistiu em imagens temporais, obtidas antes e depois da operação de corte seletivo para identificar e medir a infraestrutura comum (pátios, estradas, trilhas de arraste). A acurácia do mapeamento foi medida usando dados de campo para matriz de confusão e o índice *Kappa*. Para o sensor PALSAR, a polarização HV mostrou melhores resultados visuais em comparação com a polarização HH, especialmente após a conversão para sigma, cujos valores variaram entre -50 e +30dB. Além disso, a composição RGB HH-HV-HH melhorou consideravelmente a interpretação e localização das áreas exploradas. As imagens diferença (HH-HV e razão HH/HV) entre os diferentes anos não apresentaram alterações significativas na qualidade ou precisão do mapeamento para as regiões de EIR. A acurácia global para estas regiões de EIR foi entre 60 e 80% enquanto que para a região de extração seletiva realizada na Fazenda 4 Ventos, foi de 88% no mapeamento utilizando imagens ALOS PALSAR. As diferenças na capacidade de detecção de áreas de extração seletiva ocorreram essencialmente devido ao tamanho da infraestrutura associada à exploração e do tipo e da densidade de cobertura florestal associada à cada área estudada

Palavras-chave: Extração seletiva, Floresta amazônica, Radar, banda-L, monitoramento florestal

ABSTRACT

The Amazon rainforest has important ecological functions while delivers important economic activities related to agriculture, cattle and timber logging. However, human activities cause several environmental impacts on the forest. More specifically, selected timber extraction activities have been increasing in the last decade, causing numerous disturbances, even when extraction techniques and management using reduced-impact logging (RIL) are adopted. Thus, detecting and monitoring the native forest areas that are selectively explored is a challenging task, mainly because of the great frequency of cloud coverage on satellite images obtained through optical sensors, commonly used for this purpose. The potential of RADAR satellite images for monitoring selective timber logging may be a useful tool for an efficient and alternative environmental monitoring due to its cloud and canopy penetration capacity. The goal of this study was to access the potential the sensor ALOS PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) to detect selective logging operations in the Amazon rainforest. The study sites were in the National Forest of Jamari and National Forest of Jacundá in the Rondônia State and Fazenda 4 Ventos, located in the municipality of Feliz Natal, in Mato Grosso State. The studied areas represent harvesting areas, in which two are Ombrophylous Forests located at National Forests (FLONAS) under reduced impact logging (RIL) and one private area under sustainable forest management approved by the Environmental Secretary of Mator Grosso State in transition zones of vegetation types. The dataset consisted of 09 dual-polarized scenes (FBD mode, HH+HV) acquired in 2014, 2015, 2016 and 2017. All scenes were geo-rectified and subset, and its digital number (DN) were converted to the normalized backscattering coefficient (σ° dB) for both sensors. A speckle reduction filter was applied to all scenes using a clump model and a texture filter to detect and map the areas under selective extraction. The mapping methodology consisted on temporal images, acquired before and after the selective logging operation to identify and measure common infrastructure (decks, roads, skids and canopy gaps). The mapping accuracy was measured using ground field data for confusion matrix and the Kappa index. For the PALSAR sensor, the polarization HV showed better visual results when compared to HH, especially after sigma calibration, for which the values ranged between -50 and +30dB. In addition, the RGB composition HH-HV-HH improved considerably can the interpretation and location of the explored areas. The difference images (HH-HV) and (HH / HV) among the different years did not show significant changes on the image quality and mapping accuracy for the EIR regions. The mapping overall accuracy for these regions was between 60% and 80%, while for the area under sustainable management the global accuracy was 88%, when mapping with ALOS PALSAR images. The differences in the ability to detect impacts of selective logging occurred essentially due to the size of infrastructure associated to logging activities and the vegetation type and density and behavior of forest cover associated with each studied area.

Keywords: Selective logging, Amazon forest, Radar, band-L, monitoring

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE SIGLAS	15
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA	17
1.1. INTRODUÇÃO.....	17
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.3. OBJETIVOS.....	19
1.3.1. OBJETIVOS GERAIS.....	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. BIOMA AMAZÔNICO: CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	20
2.2. EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA.....	21
2.2.1. FLORESTAS PÚBLICAS E CONCESSÕES FLORESTAIS NO BRASIL.....	21
2.2.2. TÉCNICAS DE EXPLORAÇÃO MADEIREIRA.....	24
2.3. MODELOS DE MONITORAMENTO.....	27
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO.....	28
2.5. RADAR.....	31
2.5.1. PARÂMETROS DO SENSOR.....	35
2.5.1.1. POLARIZAÇÃO.....	35
2.5.1.2. SPECKLE (RÚIDO).....	37
2.5.2. PARÂMETROS DO ALVO.....	39
2.5.2.1. RUGOSIDADE E UMIDADE.....	39
2.5.2.2. TEXTURA.....	39
2.6. ALOS PALSAR.....	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.2. MATERIAIS E BASES DE DADOS.....	43
3.2.1. IMAGENS ALOS PALSAR.....	43
3.2.2. DADOS DE CAMPO E OUTROS DADOS DE REFERÊNCIA.....	45
3.3. MAPEAMENTO DA EXTRAÇÃO SELETIVA.....	47
3.3.1. PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	49
3.3.2. CALIBRAÇÃO E CORREÇÃO RADIOMÉTRICA.....	49
3.3.3. CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	50
3.3.4. FILTROS POLARIMÉTRICOS E REDUÇÃO DO SPECKLE.....	51
3.3.5. MAPEAMENTO DA EXTRAÇÃO SELETIVA.....	53
3.3.5.1. INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS ÁREAS DE EXTRAÇÃO SELETIVA.....	53

3.3.6. MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO E ACURÁCIA DO MAPEAMENTO	54
3.3.7. FRAÇÃO DE COBERTURA (FC)	56
<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</u>	<u>57</u>
<u>5. CONCLUSÕES.....</u>	<u>85</u>
<u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>87</u>
<u>APENDICE 1</u>	<u>97</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica das Florestas Públicas do Brasil até dezembro de 2017.	22
Figura 2: Áreas de florestas públicas federais sob concessão florestal geridas pelo SFB com concessões até dezembro de 2016.	23
Figura 3: Localização das unidades de Manejo Florestal geridas pelo SFB com concessões até dezembro de 2017.	24
Figura 4: Diferenças entre os padrões de exploração seletiva de madeira de acordo e o corte raso/desmatamento em uma área de floresta	25
Figura 5: Diferenças visuais e estruturais da extração seletiva de baixa intensidade (a) e extração seletiva convencional (b).	26
Figura 6: Monitoramento da execução do Manejo Florestal Sustentável na Floresta Nacional de Jacundá-RO.....	27
Figura 7: Espectro eletromagnético e comprimento de ondas	29
Figura 8: Princípio de imageamento dos sensores de RADAR	32
Figura 9: Vantagem operacional da utilização das imagens de RADAR em detrimento das imagens óticas convencionais.....	34
Figura 10: Direção da energia eletromagnética que determina as características de polarimetria das ondas de RADAR. A primeira letra indica a polarização transmitida e a segunda letra a polarização recebida	36
Figura 11: Efeito rugosidade da superfície em relação ao retroespalhamento, onde (a) lisa – especular e (b) rugosa – difusa e (c) lisa – reflexão de canto	39
Figura 12: Localização da área de estudo 01 – FLONA de JACUNDÁ localizada no estado de Rondônia, Brasil.	41
Figura 13: Classificação da vegetação da área de estudo 01 – FLONA de JACUNDÁ localizada no estado de Rondônia, Brasil.	41
Figura 14: Localização da área de estudo 02 – FLONA de JAMARI localizada no estado de Rondônia, Brasil.	42
Figura 15: Classificação da vegetação da área de estudo 02 – FLONA de JAMARI localizada no estado de Rondônia, Brasil.	42
Figura 16: Localização da área de estudo 03 – FAZENDA 4 VENTOS localizada no estado do Mato Grosso, Brasil.	42
Figura 17: Classificação da vegetação da área de estudo 03 - FAZENDA 4 VENTOS localizada no estado do Mato Grosso, Brasil.	42
Figura 18: Distribuição e localização das cenas obtidas do sensor PALSAR para a área de estudo, considerando a sobreposição entre as diferentes áreas.	44
Figura 19: Exemplo um arquivo .txt com os metadados das imagens do sensor ALOS PALSAR disponibilizadas para a FLONA de Jamari.	45
Figura 20: Exemplo de dados de campo disponibilizados para as áreas de interesse, com foco na localização de pátios e estradas principais para a FLONA de Jacundá.....	46
Figura 21: Metodologia para o mapeamento das áreas de extração seletiva na área de estudo.	48
Figura 22: Detalhe do deslocamento apresentado pelas imagens ALOS em relação à base vetorial dos limites das UMFs e FLONAS.	51
Figura 23: Processo de seleção dos valores espectrais para o mapeamento de áreas sob extração seletiva e infraestrutura.....	52
Figura 24: Tipo de infraestrutura mapeada em uma área com exploração seletiva de madeira (adaptado de Pereira et al., 2002) Onde: Skids = trilhas de arraste; Roads = estradas; Decks = pátios e Harvested trees = árvores retiradas.....	54
Figura 25: Exemplo de matriz de confusão e cálculos de acurácia do produtor, acurácia do usuário e exatidão global.....	55

Figura 26: Diferenças entre a exploração seletiva de madeira, com a retirada de alguns indivíduos e do corte raso, em que há desbaste total de uma parcela no município de Feliz Natal –MT, observada pelo sensor PALSAR para o ano de 2017.	57
Figura 27: Processo manual de correção geométrica e registro de uma imagem ALOS PALSAR após a correção a partir do DEM gera uma imagem que se encaixa adequadamente na base georreferenciada (base de referência – linha vermelha), ao contrário de sua posição original (linha amarela).....	58
Figura 28: Comparação entre as imagens brutas, a composição RGB (HH-HV-HH) do ano de 2017 e uma imagem óptica para a região da área 04, próxima à Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso.	59
Figura 29: Comparação entre as imagens brutas, a composição RGB (HH-HV-HH) do ano de 2017 e uma imagem óptica para a FLONA de Jacundá, UMF I – UPA 04.	60
Figura 30: Comparação entre as imagens brutas, do ano de 2017 e uma imagem óptica para a FLONA de Jamari, UMF I – UPA01.	61
Figura 31: Mecanismos de retroespalhamento nas florestas onde: (1) retroespalhamento da superfície e interior do dossel, (2) retroespalhamento direto do tronco, (3) retroespalhamento direto do solo, (4) dupla reflexão tronco-solo e (5) retroespalhamento integrado copa-solo	66
Figura 32: Resposta visual para cada polarização na área da Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso. As figuras (a), (b) e (c) representam a polarização HH para 2015, 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (d), (e) e (f) representam a polarização HV para 2015,2016 e 2017, respectivamente.	67
Figura 33: Resposta visual para cada polarização na área da UMF i – UPAS 02 e 03 da FLONA de Jacundá (RO). As figuras (a), (b) e (c) representam a polarização HH para 2015, 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (d), (e) e (f) representam a polarização HV para 2015,2016 e 2017, respectivamente.	68
Figura 34: Resposta visual para cada polarização na área FLONA de Jamari (RO). As figuras (a) e (b) representam a polarização HH para 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (c) e (d) representam a polarização HV para 2016 e 2017, respectivamente.	69
Figura 35: Cena na região da Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso, para 2017, na polarização HV, após a máscara do PRODES.	70
Figura 36: Resultado do processamento da diferença entre os anos de (a) 2017 e 2016; (b) 2017-2015 e (c) 2016-2015 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras.	71
Figura 37: Detalhe do resultado do processamento da diferença entre os anos de 2017 e 2016 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras.	72
Figura 38: Detalhe do resultado do processamento da diferença entre os anos de 2016 e 201 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras em uma imagem RGB.	73
Figura 39: Resultado do processamento da diferença entre os anos de (a) 2017 e 2016; (b) 2017-2015 e (c) 2016-2015 na Fazenda 4 Ventos para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras e as imagens diferença considerando a diferença em RGB nos mesmo anos	74
Figura 40: Exemplo de perfil espacial e espectral dos valores (dB) relacionados aos pátios em uma área de exploração de madeira na imagem ALOS PALSAR da Fazenda 4 Ventos.....	75
Figura 41: Amostragem visual do efeito de diferentes filtros texturais e tamanhos de janelas em uma cena ALOS PALSAR.....	75
Figura 42: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a Fazenda 4 Ventos.....	76
Figura 43: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a Fazenda 4 Ventos.....	77
Figura 44: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a FLONA de Jacundá.....	79
Figura 45: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a FLONA de Jamari.....	80

Figura 46: Resultado do índice de Fração de Cobertura para a região da fazenda 4 Ventos no MT, com clara indicação dos polígonos cuja biomassa é menor devido a retirada de árvores onde, Alaranjado: solo exposto Azul: dossel completo	81
Figura 47: Resultado do índice de Fração de Cobertura para a região Flona de Jacundá, com clara indicação dos polígonos cuja biomassa é menor devido a retirada de árvores onde, Alaranjado: solo exposto Azul: dossel completo	82
Figura 48: Exemplo de aleatorização de pontos em uma área de interesse para análise de acurácia	83
Figura 49: Resultado da análise de acurácia para as três áreas de estudo	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Revisão de trabalhos relacionados ao mapeamento de extração seletiva utilizando técnicas de sensoriamento remoto com diferentes tipos de sensores	30
Tabela 2: Principais bandas dos sensores SAR	35
Tabela 3: Características e vantagens dos principais filtros texturais.....	38
Tabela 4: Principais características de polarização do sensor PALSAR no satélite ALOS	40
Tabela 5: Características do Sensor PALSAR do Satélite ALOS2 para as imagens obtidas na área de estudo	43
Tabela 6: Relação dos dados utilizados para cada área de estudo e suas respectivas datas ...	44
Tabela 7: Características da infraestrutura construída na área de estudo	45
Tabela 8: Índice do coeficiente Kappa e a qualificação do desempenho da classificação	56
Tabela 9: Valores de dB - polarização HH e HV para todos os anos e áreas estudadas	65

LISTA DE SIGLAS

ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*

dB - Decibéis

DEGRAD - Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira/Monitoramento da Exploração Seletiva de Madeira

DETER - Sistema de Detecção do Desmatamento na Amazônia Legal em Tempo Real

DETEX - Detecção da Extração Seletiva de Madeiras

EC – Exploração Convencional

EIR - Exploração de Impacto Reduzido

ESA - *European Space Agency*

FBD - *Fine Beam Dual Polarization*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAXA - *Japan Aerospace Exploration Agency*

JERS - *Japanese Earth Resources Satellite*

Km - Kilômetro

LGFP – Lei de gestão de florestas públicas

m – Metro (unidade de medida)

MHz - *MegaHertz*

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PALSAR - *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*

PMFS - Planos de Manejo Florestal Sustentável

PRODES - Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

RAR - Radar de abertura real

RAS – Radar de abertura sintética

RADAR - *Radio Detection and Ranging*

RDS - Reservas de desenvolvimento sustentável

RESEX – Reserva extrativista

SAR – *Syntetic aperture radar*

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

TERRACLASS - Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na
Amazônia

UMF – Unidade de Manejo Florestal

UPA – Unidade de Produção Anual

DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA DE MADEIRAS NA AMAZÔNIA USANDO DADOS DE RADAR

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA

1.1. Introdução

A Amazônia é a maior floresta tropical em extensão e biodiversidade no planeta responsável pela manutenção do regime hídrico e pela disponibilização de diferentes recursos. Além da imensa variedade em plantas e animais (Nepstad *et al.*, 2008) também provê recursos minerais, produtos madeireiros e não madeireiros (Fearnside, 1997) e garante a manutenção de diversas funções ecossistêmicas necessárias à dinâmica da floresta.

Entre as diferentes atividades econômicas presentes na região (extrativistas, pecuária, agrícola, conservacionistas etc.), uma das mais importantes é a exploração madeireira (Costa, 2017) seja ela considerada como de baixo impacto ou não. O intenso e contínuo desenvolvimento desta atividade gera preocupação quanto as taxas de degradação associadas as alterações biofísicas da estrutura da floresta (Pinheiro, 2015).

A exploração seletiva é caracterizada pela retirada sistemática de indivíduos arbóreos em uma área pré-determinada. No Brasil, além das propriedades particulares, foi implementado no início dos anos 2000 o sistema de concessões em florestas públicas, onde há normas e diretrizes específicas em conjunto com um sistema de rastreamento das áreas exploradas.

O Brasil possui mais de 300 milhões de hectares de florestas públicas (SFB, 2017) essenciais para a conservação da biodiversidade bem como, fonte de desenvolvimento econômico. A Lei de Gestão de Florestas Públicas (LGFP) nº 11.284/2006 (Brasil, 2006) que estabelece as áreas de concessão florestal, geridas pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB), delega o direito à prática do manejo florestal sustentável na exploração de recursos e produtos florestais. Além de gerar empregos e contribuir no aumento da renda e qualidade de vida de populações, essas áreas contribuem na melhoria da infraestrutura local e na implantação de políticas de investimento e capacitação para a comunidade local (Bomfim *et al.*, 2016).

O sistema de controle e monitoramento desenvolvido pelo SFB é baseado no inventário florestal e no cadastramento de cada árvore retirada pela concessionária. Entretanto, essa verificação demanda intensa atividade de campo e, é limitada por recursos humanos, financeiros e tempo.

Apesar da quantidade de mecanismos existentes, o mapeamento através de imagens de satélite das áreas de exploração florestal ainda é complexo é influenciado por variáveis como a umidade, o tempo entre a exploração e o imageamento, a intensidade da exploração (Pinagé e Matricardi, 2015), e como fator determinante, a disponibilidade de imagens e a qualidade, em termos de cobertura de nuvens geradas em grande intensidade na região.

As estimativas das áreas desmatadas ou sob regime de exploração madeireira obtidas a partir da utilização de imagens óticas de livre acesso e resolução espacial variável, diferem em seus resultados devido à metodologia utilizada, as técnicas de processamento digital e a escala temporal utilizadas (Costa, 2017).

Os produtos de imagens de RADAR (*Radio Detection and Ranging*) consistem em opções e alternativas de melhoria nos resultados e mecanismos utilizados para solucionar parte os problemas mais comuns encontrados pelo imageamento realizado com imagens óticas, por exemplo, a presença de nuvens, a disponibilidade de imagens em escala temporal reduzida e a possibilidade de detecção com maior capacidade de penetração no dossel da floresta. E assim, as imagens de RADAR podem gerar novas informações de fenômenos que não são captados ou imageados por imagens óticas, consideradas mais convencionais.

1.2. Problema de pesquisa

Uma das maiores dificuldades encontradas no monitoramento de áreas de extração florestal de madeira na Amazônia, diz respeito à eficiência dos métodos de detecção remota. O uso de imagens multiespectrais tem baixa capacidade de mapear as mudanças que ocorrem abaixo do dossel, além de serem limitadas pela presença de nuvens, e o processo em campo é lento e dispendioso.

Apesar disso, a maioria das técnicas desenvolvidas para detecção dos impactos causados pela extração seletiva de madeira na Amazônia utiliza dados de sensores ópticos. Os dados de sensores ópticos são limitados para regiões na Amazônia com alta frequência de nuvens.

Por outro lado, dados de RADAR que possibilitam imagear áreas independentes da cobertura de nuvens têm sido pouco utilizados e testados na região, podendo ser uma alternativa viável à detecção de fragmentos de exploração florestal, que ofereçam informações mais detalhadas. Deste modo, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões: Quais os potenciais e limitações da utilização de imagens de RADAR na detecção e mapeamento de florestas exploradas seletivamente nas áreas do presente estudo? Quais os impactos ou características das atividades de extração seletiva de madeira são detectáveis com imagem ALOS PALSAR? Qual a acurácia na detecção da extração seletiva de madeiras na floresta usando imagem ALOS PALSAR?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos gerais

Avaliar o potencial o uso de imagens de RADAR associadas a técnicas de geoprocessamento para o mapeamento das áreas impactadas por atividades de extração seletiva de madeira em áreas privadas e públicas na Amazônia, como subsídio ao processo de monitoramento dessas atividades.

1.3.2. Objetivos específicos

- Desenvolver um método e avaliar o uso de imagens do Satélite ALOS, sensor PALSAR para detectar as áreas de florestas nativas com atividades de extração seletiva de madeira em áreas de estudo localizadas na Amazônia.
- Estimar a acurácia da detecção de florestas impactadas por extração seletiva utilizando imagens de RADAR.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bioma Amazônico: características gerais

A Amazônia é o maior Bioma brasileiro, ocupa aproximadamente 4.196.943 milhões de km², e abrange nove países: Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname (IBGE, 2017), abrigando uma enorme diversidade biológica e essencial na manutenção dos padrões climáticos e hídricos do país. Apesar de apresentar uma grande faixa de área com floresta contínua, sofre impactos relacionados à pecuária, agricultura, mineração, expansão urbana (Asner, Keller e Silva, 2004) e extração madeireira, sendo esta a atividade predominante na região (Nepstad *et al.*, 1999).

Devido à sua grande extensão e dificuldade de monitoramento, sofre intenso desmatamento e degradação, além das práticas de exploração florestal não planejadas ou pouco estruturadas (SFB, 2015). Atividades na floresta são responsáveis por alterações em funções ecossistêmicas de suporte, essenciais à manutenção de diversos processos, bem como a integridade das florestas no que diz respeito aos maiores riscos de queimadas (Matricardi *et al.*, 2007; Nepstad *et al.*, 1999) e fragmentação florestal (Cowles, 1998).

Alguns estudos (Matricardi, 2001; Souza e Barreto, 2000; Asner *et al.*, 2004; Locks e Amaral, 2015); procuram mapear e estimar as alterações na floresta após exploração seletiva de madeira. Além disso, florestas que sofreram processos de degradação tem maior probabilidade de serem desmatadas nos anos seguintes (Gibbs *et al.*, 2007).

A exploração madeireira na Amazônia se expandiu, sendo hoje uma das principais regiões produtoras de madeira tropical do mundo, responsável por cerca de 85% da produção nacional (Lentini, Veríssimo e Pereira, 2005). A indústria madeireira regional é responsável por 15% do PIB da Amazônia, gera uma renda bruta de US\$ 2,5 bilhões empregando cerca de 5% da população economicamente ativa (Lentini *et al.*, 2003) e alavancando o Brasil como um dos principais produtores de madeira no mundo, (13% da produção mundial que representa mais de 25 milhões de m³ em tora produzidos anualmente).

Essas atividades estão concentradas em mais de 300mil hectares de florestas públicas (SFB, 2016) que são essenciais não apenas para garantir a conservação do ecossistema e do bioma como um todo, mas também são uma importante fonte de desenvolvimento econômico.

Os principais estudos conduzidos na Amazônia Legal em relação ao processo de extração seletiva utilizando séries temporais e estudos de caso são os trabalhos de Asner (2005) e Matricardi *et al.*, (2013) cujos resultados apontam grandes extensões de áreas degradadas em razão da extração seletiva de madeira e outras atividades. Até o início dos anos 2000 estimou-se que mais de 35.000km² de florestas foram diretamente impactadas pelo processo de extração seletiva (Matricardi *et al.*, 2013) e que mais de 50.000km² da Amazônia Brasileira foi afetada por esses processos entre 2000 e 2010 (Souza *et al.*, 2013).

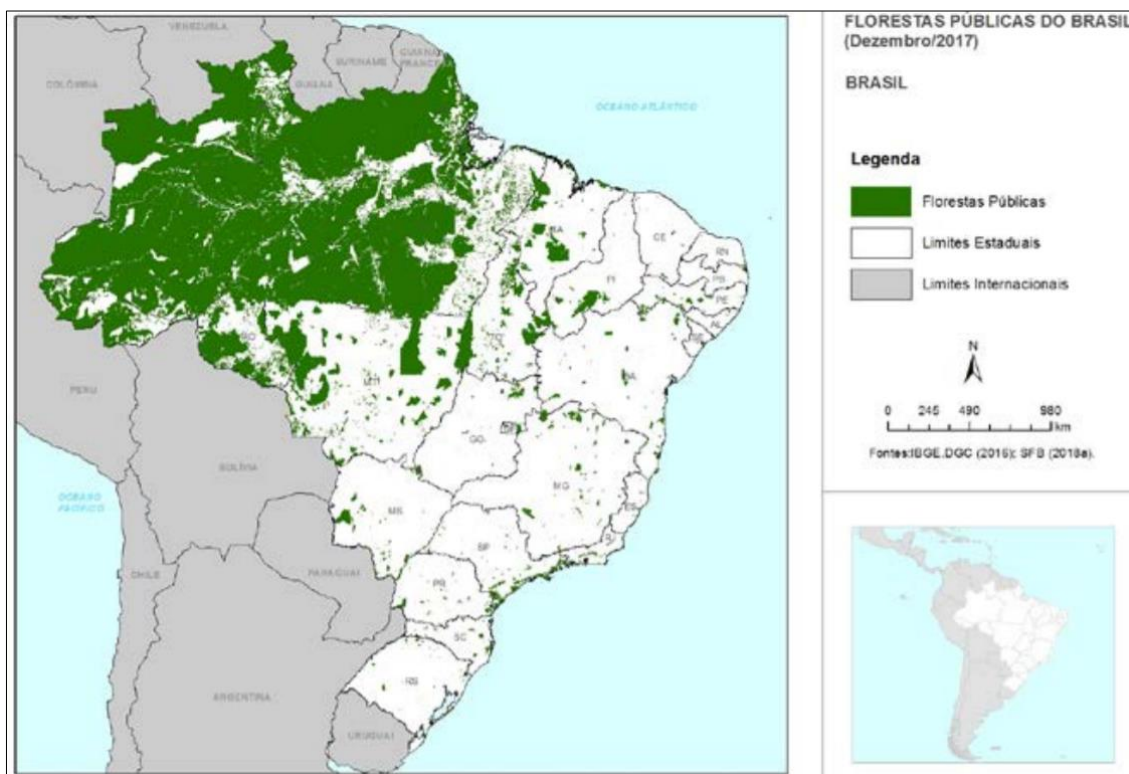
2.2. Exploração seletiva de madeira

2.2.1. Florestas públicas e concessões florestais no Brasil

Para uma produção contínua de madeira, bem como a garantia da conservação da biodiversidade, o manejo florestal e o planejamento de atividades são essenciais, no sentido de analisar as melhores ações para uma resposta socioeconômica e ambiental favorável (Cariello, 2008). Além dos serviços ambientais prestados pelas florestas, estão associadas à ganhos econômicos (produtos de origem florestal) e sociais (abrigo de diferentes povos e comunidades), garantindo a manutenção e continuidade de diversos povos.

As florestas destinadas à exploração de madeira, podem ser naturais ou plantadas, em diferentes biomas. Estão localizadas em áreas particulares ou em áreas sob administração pública, chamadas de florestas públicas (Figura 1). Mais de 1/3 do território brasileiro é coberto por florestas públicas e mais de 90% dessas áreas estão localizadas no Bioma Amazônico (SFB, 2017)

Figura 1: Localização geográfica das Florestas Públicas do Brasil até dezembro de 2017.



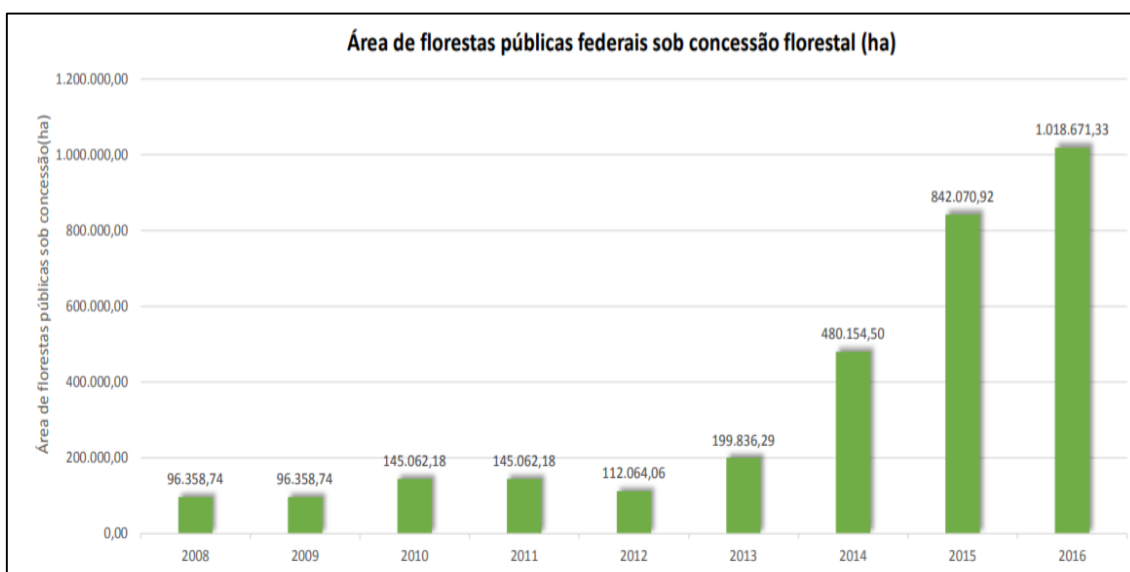
Fonte: SFB (2016)

Em 2006 foi promulgada a Lei Federal de Gestão de Florestas Públicas nº 11.284 (LGFP) que define as diretrizes sobre a gestão destas áreas, além de criar o Serviço Florestal Brasileiro (SFB), órgão responsável por sua gestão, atualmente dentro da estrutura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. No Brasil, o modelo de gestão de florestas públicas pode ser dividido em três categorias:

1. Criação de Florestas Nacionais, Estaduais e Municipais (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC nº 9.985/2000)
2. Comunidades locais tem a posse de florestas públicas por meio de projetos de Assentamentos florestais ou agroextrativistas, ou a partir da criação de unidades de conservação de uso sustentável como Reservas de desenvolvimento sustentável (RDS) ou Reservas extrativistas (RESEX) (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC nº 9.985/2000)
3. Concessões florestais que são destinadas as empresas para terem o direito de exploração dos produtos e serviços de uma parcela de floresta.

Os benefícios sociais gerados pelas concessões incluem a geração de emprego e investimento em infraestrutura local, além de promover a conservação das florestas e a expansão das atividades madeireiras e serviços associados. As primeiras atividades de concessão florestal no Brasil iniciaram em 2008 cuja, maioria das áreas se encontrava no estado do Pará e até 2016 ocupavam uma área demais de 1,2 milhão de ha (Figura 2) (SFB,2016).

Figura 2: Áreas de florestas públicas federais sob concessão florestal geridas pelo SFB com concessões até dezembro de 2016.



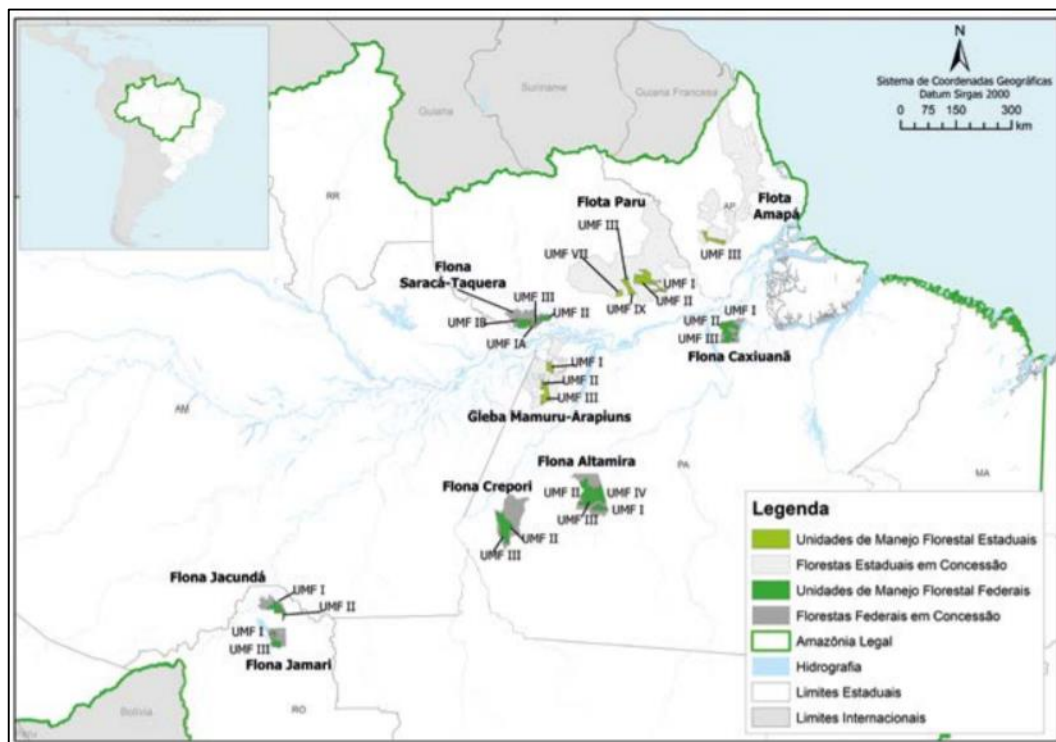
Fonte: SFB (2016)

A administração dos recursos de uma área explorada, devem estar vinculadas a Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) descritos na Instrução Normativa N°. 5/2006 do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006), onde são estabelecidas as diretrizes da Exploração de Impacto Reduzido (EIR) para minimizar os danos gerados do processo de exploração madeireira (SFB, 2015). A definição legal e atualizada de manejo florestal pode ser encontrada na Lei Federal de Gestão de Florestas Públicas artigo 3º, inciso VI:

“Administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza floresta”. Lei Federal de Gestão de Florestas Públicas nº 11.284 (LGFP), artigo 3º, inciso VI.

As concessões florestais podem ser destinadas a empresas, associações comunitárias ou cooperativas que passam a ter o direito à exploração, durante determinado tempo e sob diretrizes específicas de uma área pública, cujo manejo deve seguir práticas sustentáveis. As áreas sob concessão são nomeadas Unidade de Manejo Floresta (UMF) e até dezembro de 2017 existiam 26 UMFs em atividade (Figura 3) na região do Bioma Amazônico.

Figura 3: Localização das unidades de Manejo Florestal geridas pelo SFB com concessões até dezembro de 2017.



Fonte: SFB (2017).

2.2.2. Técnicas de exploração madeireira

Ao contrário do corte raso, onde todos os indivíduos de uma floresta são removidos, a extração seletiva pode se tornar um instrumento essencial no combate à supressão ilegal da vegetação nativa principalmente na região do Bioma amazônico (Demetrio *et al.*, 2007). Portanto a regulamentação e o monitoramento das atividades relacionadas à exploração florestal são necessários para garantir a sustentabilidade do ambiente e a continuidade das atividades do setor florestal.

A extração seletiva é caracterizada pela retirada sistemática de indivíduos e as operações de exploração florestal, que incluem os processos de preparar, cortar e transportar a madeira podem apresentar diferentes intensidades, com base nos diferentes usos de tecnologia e práticas consolidadas e estão diretamente ligadas com o planejamento de atividades .

A identificação de atividades de exploração seletiva está relacionada, principalmente, aos padrões de estradas e abertura de clareiras para a construção de pátios, bem como na redução da cobertura vegetal e densidade do dossel nas áreas exploradas, diferente do que ocorrem em áreas desmatadas (Figura 4).

Figura 4: Diferenças entre os padrões de exploração seletiva de madeira de acordo e o corte raso/desmatamento em uma área de floresta



Fonte: Adaptado de Costa (2017)

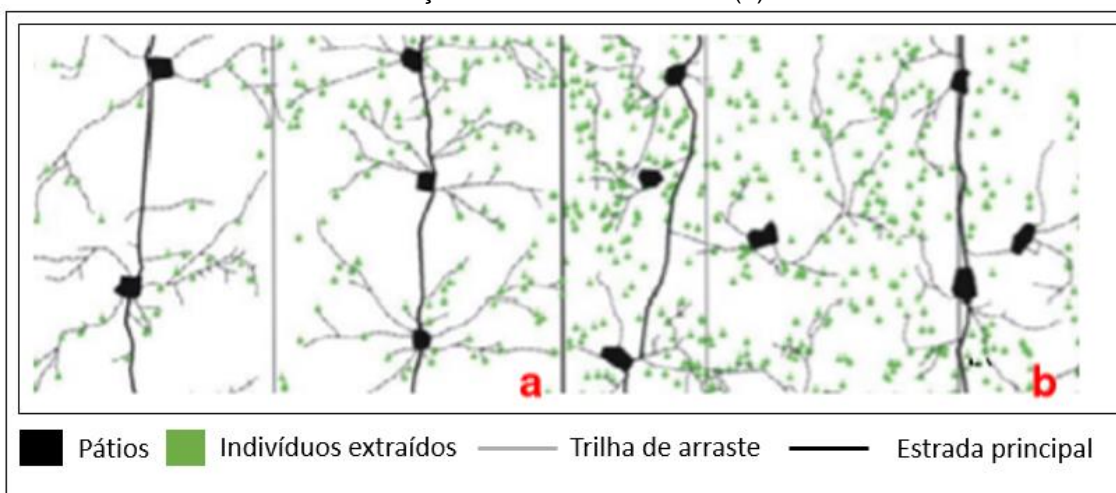
A infraestrutura necessária para os processos de exploração florestal inclui a abertura de estradas de acesso e pátios de estocagem. A extração seletiva por apresentar diferentes intensidades (legalmente a extração é permitida até 30 m³/ha), implica em enorme dificuldade de estabelecer generalizações sobre os efeitos dessa atividade. São muitas as variáveis que definem a intensidade da extração seletiva, como acesso a estradas e distâncias

das madeiras economicamente importantes (Putz et al., 2001), e com a infraestrutura que deve ser aberta, vem os danos e impactos associados.

O tipo de exploração adotada pode variar, considerando que as floretas tropicais são muito heterogêneas. Nesse sentido, dois tipos principais de exploração podem ser considerados (Figura 5):

- Extração seletiva convencional (EC) – não há possibilidade de aprovação em órgão ambiental
- Extração seletiva de impacto reduzido (EIR) - PMFS

Figura 5: Diferenças visuais e estruturais da extração seletiva de baixa intensidade (a) e extração seletiva convencional (b).



Fonte: Adaptado de Silva (2004).

A exploração convencional (EC) é caracterizada pela retirada de espécies de alto valor comercial, em intervalos curtos para extração dos indivíduos. Esse tipo de atividade, aumenta significativamente o risco de degradação, incêndios florestais e redução do estoque de madeira disponível, acarretando em danos e desperdícios (Cariello, 2008). É um método utilizado na Amazônia para retirada de indivíduos cujas espécies são de alto valor comercial (Amaral *et al.*, 1998), podendo chegar à um volume de exploração de até 43m³/ha (Asner *et al.*, 2009)

A exploração de impacto reduzido (EIR) é um sistema que utiliza melhores técnicas e é caracterizada pela redução de danos à floresta remanescente, bem como ao solo e a qualidade da água, com menor risco de incêndios e maior potencial de regeneração (Barreto *et al.*, 1988; Uhl *et al.*, 1997). A EIR está

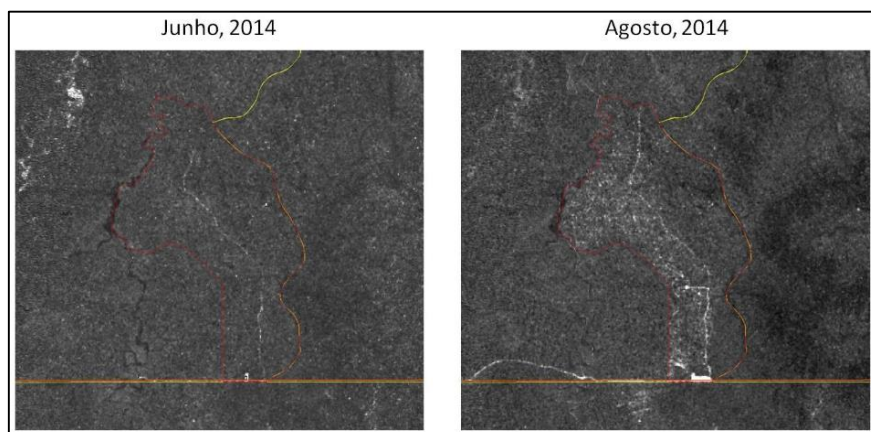
baseada em princípios de planejamento, treinamento e desenvolvimento de mão-de-obra especializada e tecnologia adequada (Dykstra, 2001).

2.3. Modelos de monitoramento

O Brasil possui diversos programas e projetos de monitoramento por satélite da cobertura e uso do solo, mecanismo essencial para o acompanhamento dos processos de supressão da vegetação nativa e degradação dos biomas.

Na Amazônia, esse monitoramento tem sido realizado sistematicamente desde 1988 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através de técnicas de sensoriamento remoto, utilizando sensores óticos, em sua maioria. Alguns dos sistemas operacionais de destaque são: (i) Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES); (ii) Sistema de Detecção do Desmatamento na Amazônia Legal em Tempo Real (DETER); (iii) Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira/Monitoramento da Exploração Seletiva de Madeira (DEGRAD), (iv) Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia (TERRACLASS) e (v) Detecção da Extração Seletiva de Madeiras (DETEX) (Figura 6).

Figura 6: Monitoramento da execução do Manejo Florestal Sustentável na Floresta Nacional de Jacundá-RO.



Fonte: SFB (2016)

O monitoramento da extração seletiva sempre foi um desafio, do ponto de vista de recursos computacionais e dados disponíveis. Asner *et al.*, (2004) definem que as principais dificuldades encontradas no processo de monitoramento por satélite estão relacionadas à: (i) resolução espacial

adequada; (ii) frequência de imageamento e disponibilização de dados, especialmente em uma região com alta cobertura por nuvens; (iii) rápido processo de regeneração natural das áreas exploradas.

Especificamente, o mapeamento do corte seletivo hoje é feito através de imagens ópticas e atividades de campo, que muitas vezes são limitadas pelo acesso e pela falta de recursos humanos e financeiros. A utilização de imagens ópticas, para mapear uma parcela da floresta em que a maior parte de seus indivíduos permanece em pé e apenas alguns dos elementos se destacam na paisagem, é uma atividade complexa, (Uhl *et al.*, 1997; Veríssimo *et al.*, 1995; Read, 2003); como é o caso da extração seletiva. Isso requer, uma metodologia que leva em consideração fatores como a umidade, o tempo decorrido desde a exploração e o imageamento, bem como as características da exploração. Além disso, a disponibilidade de imagens de boa resolução e sem a presença de nuvens é o maior desafio do processo de monitoramento por sensoriamento remoto.

Os modelos de monitoramento utilizados atualmente não detectam os impactos reais e devem ser complementados por outros produtos, que permitam uma verificação não apenas das áreas em que foram realizadas atividades de corte seletivo, mas também, das condições do sub-bosque e relacionar os fenômenos à estrutura da floresta e sua capacidade de regeneração. Além disso, a utilização de imagens que possam auxiliar na identificação de fenômenos na floresta, especialmente no período chuvoso, também representam um grande diferencial no processo de controle e monitoramento destas atividades.

2.4. Sensoriamento remoto

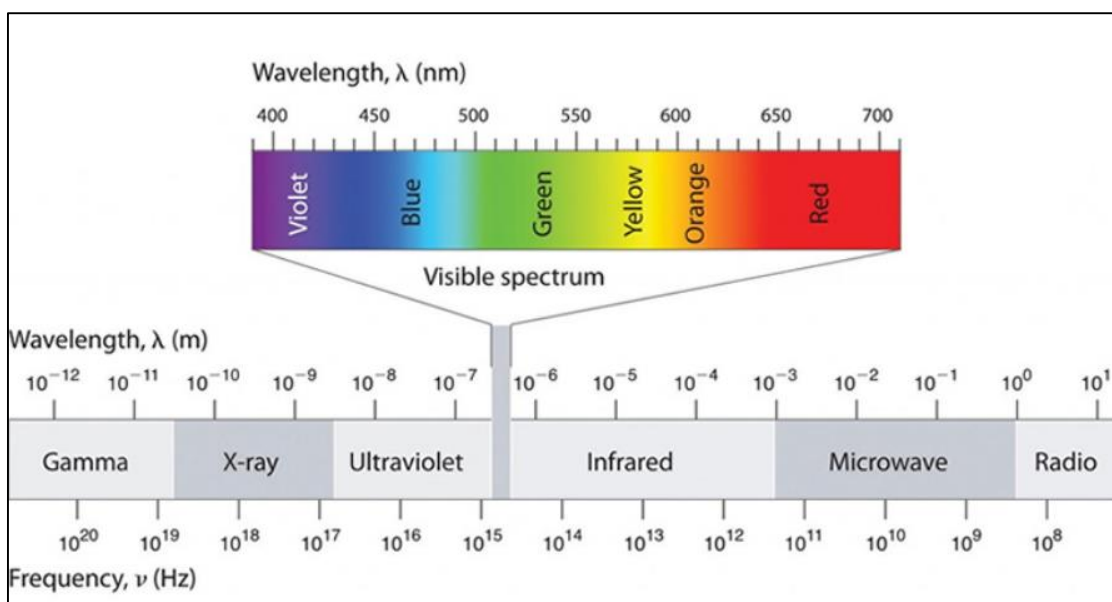
Sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores e equipamentos para o processamento e transmissão de dados a bordo de plataformas, cujo objetivo é estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, a partir da análise da interação da radiação eletromagnética (ondas) e os elementos presentes na superfície.

A interação destas ondas nos alvos na superfície terrestre, geram respostas captadas pelos sensores e transformadas em dados e imagens, que ao serem

processados, permitem identificar padrões e fazer inferências sobre determinado fenômeno ou área.

Em geral, os sensores mais utilizados nas atividades de sensoriamento remoto são conhecidos como sensores passivos, a bordo de satélites, são dependentes da fonte luminosa do sol para registrar os dados provenientes do imageamento. Os sensores disponíveis atualmente, trabalham em uma região do espectro eletromagnético entre as faixas do visível e do infravermelho (Figura 7), com comprimentos de onda curtos, variando entre 10^{-9} m e 10^{-3} m, de acordo com os objetivos de cada aplicação.

Figura 7: Espectro eletromagnético e comprimento de ondas



Fonte: Mantto Telecom (2017)

A detecção de áreas de extração seletiva contribui positivamente para o entendimento dos processos de desmatamento e degradação florestal. O sensoriamento remoto permite que esse acompanhamento seja feito de maneira sistemática e contínua, especialmente em áreas de difícil acesso.

O início do mapeamento por imagens de satélite deste fenômeno foi em 1992 por Watrin e Rocha, cujas imagens disponíveis na época eram do satélite Landsat-5, sensor TM, com resolução espacial de 30 m. O critério utilizado pelos autores para identificar as áreas de exploração foi a presença de pátios e estradas em análise visual das bandas 4 e 5 (infravermelho próximo e médio

respectivamente), critério este, utilizado até hoje, considerando que este padrão é característico da atividade.

Ao longo do tempo, vários estudos demonstraram que a exploração madeireira em imagens de resolução espacial moderada só pode ser detectada até um ano depois dos distúrbios (Stone e Lefebvre, 1998; Asner et al., 2004b); A necessidade de mapeamento rápido e replicável em áreas extensas levou vários pesquisadores a desenvolver técnicas de processamento digital de imagem para mapear a exploração madeireira.

Dados de RADAR foram utilizados em estudos para diferenciação entre estágios de sucessão florestal (Rignot *et al.*, 1997, Yanasse *et al.*, 1997) e entre floresta, áreas desmatadas e de corte seletivo (Saatchi *et al.*, 1997, Van der sanden e Hoekman, 1999). A identificação e discriminação entre tipos florestais como floresta estacional e as diferentes fisionomias do cerrado (Mesquita Junior, 2003) também foram observadas através de imagens RADAR. (Almeida-Filho *et al.*, 2009) com imagens na banda L, obtiveram informações sobre o incremento em áreas desmatadas detectadas inicialmente em imagens Landsat-5 TM em Roraima.

Na Tabela 1 são apresentados alguns dos trabalhos realizados com sensoriamento remoto para identificação de extração seletiva e seus impactos na Amazônia, que ao longo do tempo e com a disponibilização de diferentes tecnologias e sensores (Óptico, RADAR, LiDAR), utilizaram diferentes produtos e técnicas de mapeamento (automáticas, interpretação visual).

Tabela 1: Revisão de trabalhos relacionados ao mapeamento de extração seletiva utilizando técnicas de sensoriamento remoto com diferentes tipos de sensores

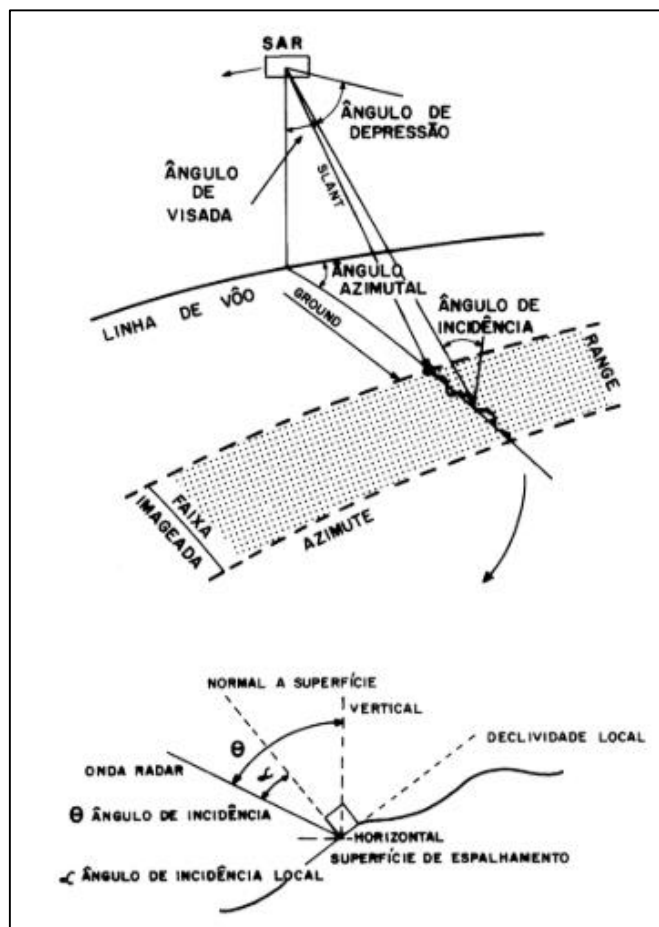
Autor (es)	Tipo de sensor	Ano	Descrição
Watrín e Rocha	Óptico	1992	Mensuração de área de florestas degradadas por interpretação visual
Nepstad et al	Óptico	1999	Mapeamento de florestas degradadas com análise de mistura espectral
Souza Junior e Barreto	Óptico	2000	Modelo linear de mistura para detectar pátios de estocagem
Souza Júnior et al	Óptico	2003	Mapeamento de classes de floresta degradada com imagens fração e árvore decisão
Asner <i>et al</i>	Óptico	2002	Análise de textura para avaliar danos ao dossel

Souza <i>et al</i>	Óptico	2005	Índices de Vegetação para mapear degradação florestal
Matricardi <i>et al</i>	Óptico	2005	Estimativa das áreas de floresta que sofreram corte seletivo (classificação automática)
Asner	Óptico	2005	Técnica automática para mapear florestas degradadas por corte seletivo
Matricardi <i>et al</i>	Óptico	2007	Mapeamento de florestas degradadas por interpretação visual e técnicas semi-automáticas
Matricardi <i>et al</i>	Óptico	2010	Extensão e impactos do corte seletivo de madeira e queimadas
Matricardi <i>et al</i>	Óptico	2013	Fogo e extração seletiva
INPE (DETEX)	Óptico	2007-2010	Deteção de extração seletiva de madeira
Santos <i>et al</i>	Radar	2006	Utilização do SAR-Sipam para corte seletivo
Mesquita <i>et al</i>	Radar	2009	Monitoramento da Amazônia com ALOS Palsar
Urbazaev <i>et al</i>	Radar	2015	Mapeamento da vegetação
Antropov <i>et al</i>	Radar	2015	Mapeamento de extração seletiva com bandas L e C
Cassol <i>et al</i>	Radar	2017	Modelagem de Biomassa em florestas secundárias na Amazônia com ALOS-PALSAR

2.5. RADAR

O RADAR é um sistema que atua com um sensor ativo, com fonte de iluminação própria, emitindo e recebendo radiação eletromagnética, cujo comprimento de onda pode variar de 1 mm a 1 m. Em geral o imageamento dos sensores RADAR é feito de forma angulada e diferentes faixas e extensões podem ser imageadas, dependendo do tipo de equipamento (Figura 8). Além disso, as diferentes direções de voo (ascendente ou descendente), modos de imageamento e polarizações, permitindo a identificação e visualização de padrões diferentes dos padrões obtidos em imagens óticas convencionais.

Figura 8: Princípio de imageamento dos sensores de RADAR



Fonte: Lowman et al (1987)

Dois tipos de radares imageadores são usados: (i) os radares de abertura real (RAR) e (ii) os radares de abertura sintética (RAS), ambos são sistemas de visada lateral e podem ser acoplados em diferentes instrumentos (aviões, satélites).

Os sensores de abertura real (RAR) em geral operam em faixas e a intensidade de reflexão é utilizada para produzir as imagens nas direções *range* (alcance da imagem) e *azimute* (deslocamento do sensor). A resolução *range* é inversamente proporcional a amplitude dos pulsos, porém é necessário emitir energia suficiente para que o sinal seja detectado. A resolução *azimute* é proporcional ao tamanho da antena utilizada (aumentar a antena ou diminuir a distância da superfície) influência na resolução espacial da imagem.

Os sensores de abertura sintética (RAS) - SAR (*Synthetic Aperture Radar*) são capazes de processar o sinal e simular as antenas e conseqüentemente, geram dados de alta resolução espacial. Com base em uma diferença de tempo

conhecida, são emitidos vários pulsos e seus tempos de retorno armazenados e processados para gerar a imagem (Ratter, Ribeiro e Bridgwater, 1997).

Em função do imageamento lateral, a compreensão da resolução espacial no RADAR difere das imagens ópticas. Ao imagear determinada área, o tamanho do pixel e as características da imagem dependem do modo de operação e do processamento dos dados.

O imageamento é feito com o deslocamento do sensor a uma determinada velocidade (v) em uma altura (h) conhecida, apontando a antena lateralmente a uma angulação (θ) em relação à posição vertical (90° - nadir). Ao mesmo tempo em que se desloca, pulsos são enviados pelo sensor, cujo tamanho e intervalo de tempo da transmissão também são conhecidos. O pulso de energia enviado varia de frequência (f) entre um valor máximo e um valor mínimo (largura de banda do pulso), que é o que determina a resolução espacial na direção perpendicular (*range*).

Durante este processo, várias amostras de “energia” são coletadas para o alvo imageado e armazenadas. Essas amostras variam em função do efeito do deslocamento do sensor durante o imageamento, conhecido como efeito Doppler. Quanto maior for a variação nas frequências durante o envio de um pulso e a resposta do alvo, menor será a resolução espacial.

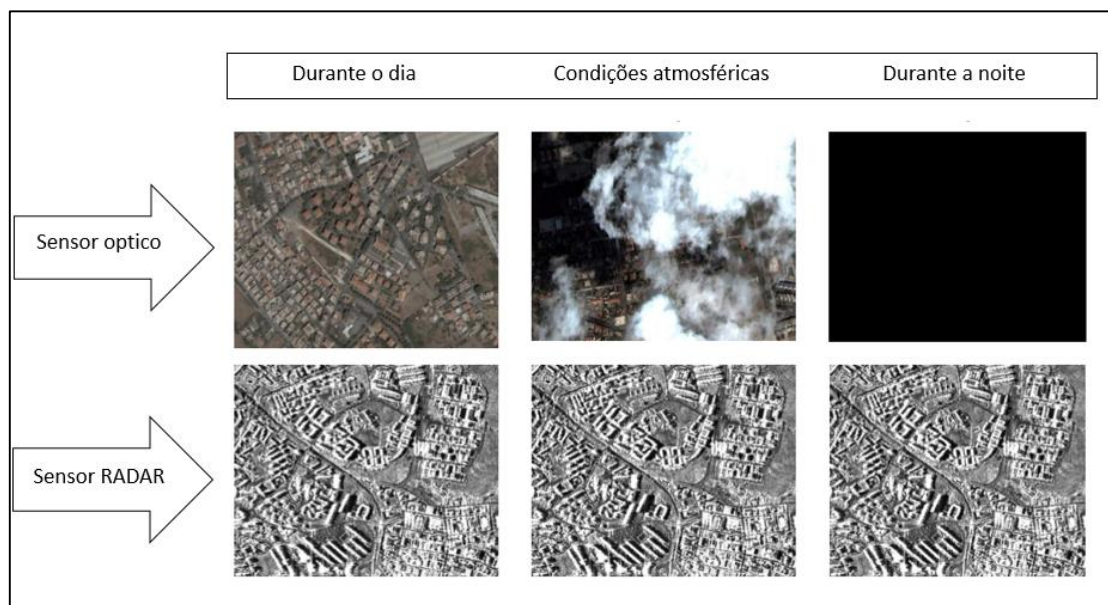
Para ajustar a resolução e produzir imagens SAR digitais precisas é possível realizar processamentos digitais que separam a imagem em “visadas” (*looks*). Se houve uma sub-amostragem dos dados denominamos que esta é uma “*multilook*”, caso contrário se chama “imagem *singlelook*”. As imagens *multilook* em geral, contribuem para a redução de ruídos na imagem e são geradas a partir da divisão do intervalo de tempo do imageamento em *looks*, o que leva à uma redução do comprimento sintético da antena (Ratter, Ribeiro e Bridgwater, 1997), e conseqüentemente à um ajuste da resolução espacial.

Outra característica da geração das imagens está relacionada ao ângulo de incidência durante o imageamento. As imagens SAR são geradas com base nas informações de intervalo de tempo e sua relação como o ângulo de incidência, logo a imagem bruta possui uma distorção geométrica chamada de *Slant range*, cujos pixels não são espacialmente relacionados aos alvos na

superfície chamados de *Ground range*. A conversão dos dados *Slant* para *Ground range* é necessária devido à esta visada lateral do sensor, que faz com que a projeção seja inclinada em relação ao alvo e provoca distorções. Para fazer a conversão são utilizados parâmetros referentes a geometria do SAR como a altura do voo, distância entre o sensor e o primeiro pixel, e o tempo registrado entre o sensor e o primeiro pixel (INPE).

Estas características estão relacionadas ao seu mecanismo estar condicionado à pulsos de energia na faixa de microondas, a qual interage com a superfície de forma abrangente e ultrapassando mais obstáculos com menor grau de interferência atmosférica (Marques, 2017). Este é o seu maior diferencial em relação aos sensores passivos, que em geral trabalham em comprimentos de ondas menores e acabam limitados pela presença de nuvens e pela densidade de determinadas características no solo ou dossel da floresta (Figura 9).

Figura 9: Vantagem operacional da utilização das imagens de RADAR em detrimento das imagens óticas convencionais.



Fonte: Adaptado de Santilli et al. (2016)

O valor resultante da interação da energia eletromagnética e dos alvos na superfície, consiste na estimativa do tempo de retorno da energia em função do atraso a partir da emissão de um pulso (essa diferença é provocada pelo deslocamento da plataforma e é chamada de efeito Doppler). A quantidade relativa de energia que retorna é o coeficiente de retroespalhamento (σ°),

expressa em decibéis e função de parâmetros do sensor e do alvo, resultando em interações físicas e elétricas da superfície imageada (Ribeiro, 1997).

A Tabela 2 mostra as bandas espectrais existentes para os sensores SAR. Além disso, os sensores de RADAR possuem mapeamento com visada lateral, com resolução em duas direções (angulada ou azimute/nadir).

Tabela 2: Principais bandas dos sensores SAR

Banda na faixa de micro-ondas	Comprimento de onda (cm)	Frequência (GHz)
K	0.75 – 2.4	40.0 – 12.5
X	2.4 – 3.8	12.5 – 8.0
C	3.9 – 7.5	8.0 - 4.0
S	7.5 – 15.0	4.0 – 2.0
L	15.0 - 30.0	2.0 – 1.0
P	30.0 – 100.0	1.0 – 0.3

Fonte: Adaptado de Jensen (2009)

As diferentes bandas possuem mecanismos e características próprias de penetração e interação com os alvos na superfície. A banda L possui alta correlação com dados de biomassa e a variedade de polarizações facilita a distinção de alvos (Cianciaruso, Silva e Batalha, 2009). De forma geral, os trabalhos que tratam do mapeamento do desmatamento consideram que o corte raso mapeados utilizando dados SAR têm resposta inquestionável na detecção dos alvos. Alguns trabalhos que tratam do corte seletivo como Araujo *et al.*, (2001) fazem uso da polarimetria cruzada e banda L para mapeamento de fases de transição entre Cerrado-Floresta.

2.5.1. Parâmetros do Sensor

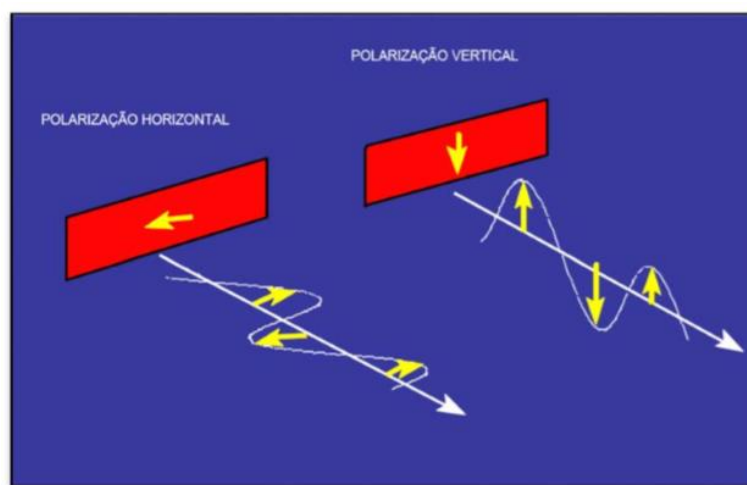
Os diferentes níveis de cinza (resolução radiométrica), a textura, sombreamentos e distorções, feições geométricas e efeitos atmosféricos influenciam no processamento digital das imagens de radar e algumas características são essenciais para o processamento dos dados em RADAR.

2.5.1.1. Polarização

As imagens de RADAR apresentam componentes relacionadas à energia eletromagnética. Por estarem na faixa de microondas, a direção dos campos elétrico e magnéticos são perpendiculares entre si (Ratter, Ribeiro e Bridgwater, 1997).

Os pulsos podem ser descritos com base na orientação em que são propagados e, podem ser em dois sentidos (Figura 10): horizontal (H) e vertical (V), gerando combinações diferentes de polarizações, contudo, as mais usadas são: HH – envio e retorno de energia polarizada horizontalmente; HV – envio de energia polarizada horizontalmente e retorna verticalmente; VV – envio e retorno de energia polarizada verticalmente; VH – envio de energia polarizada verticalmente e retorna horizontalmente (Jensen, 2009).

Figura 10: Direção da energia eletromagnética que determina as características de polarimetria das ondas de RADAR. A primeira letra indica a polarização transmitida e a segunda letra a polarização recebida



Fonte: *Globe SAR CCRS* (2001)

Dados que apresentam todas as combinações de polarização (HH, HV, VH e VV), geralmente melhoram a acurácia da classificação quando comparadas à produtos com dupla-polarização (Nepomuceno, 2003). Os alvos possuem respostas baseadas nas diferentes configurações de polarizações utilizadas e a escolha do tipo deve estar relacionada com o realce das feições de interesse (Ratter, Ribeiro e Bridgwater, 1997).

A inferência dos parâmetros de alvos na superfície terrestre pode ser mais completa a partir da análise da diversidade de polarizações que os sistemas RADAR geram. Para cada elemento imageado, um coeficiente de espalhamento é medido resultando na caracterização da onda de acordo com a resposta do objeto imageado. O objetivo da decomposição polarimétrica é indicar os mecanismos de espalhamento dominante e associa-los à soma de elementos e propriedades dos alvos e para isso há diferentes métodos e técnicas disponíveis

na literatura como: decomposição de Pauli; decomposição de Krogager; decomposição de Cameron, entre outros.

Basicamente, os elementos de interesse associados à polarimetria são:

- Entropia: é uma indicação do grau de aleatoriedade do espalhamento. Quando a entropia de um determinado pixel é baixa, significa que um mecanismo simples de espalhamento é dominante, o contrário indica que múltiplos mecanismos que geram o espalhamento estão presentes
- Anisotropia: representa a importância relativa dos mecanismos de espalhamento que não são os dominantes, logo, para uma entropia baixa, a anisotropia não possui muito peso. Entretanto, no caso de elevados valores de entropia, há um indicativo relativamente alto da importância dos mecanismos secundários responsáveis pelo espalhamento.
- Alpha: é o parâmetro utilizado para indicar o tipo de espalhamento dominante e varia de 0° a 90° . Quanto mais próximo de zero, maior a dominância de espalhamentos difusos (superfícies rugosas).

2.5.1.2. Speckle (ruído)

A densidade de dossel é à medida que o intérprete deseja obter, quando busca identificar padrões de corte seletivo e sua estrutura física é composta de diferentes elementos vegetais: o tronco, as folhas, os galhos, e outros componentes da biomassa vegetal, seja seca ou úmida. É com essa diversidade de material, que uma onda na banda L interage ao imagear um dossel de floresta tropical e ao fazer isso, a onda sofre atenuação no seu retroespalhamento (Paradella e Bignelli, 1996).

É com base neste tipo de interação, que um aspecto importante das imagens SAR, deve ser levado em consideração: o efeito “*speckle*”, o padrão granuloso das imagens, gerado a partir das condições das ondas que geram interferências aleatórias nos alvos criando áreas escuras e claras entre os pixels (Jensen, 2009).

O aspecto visual deste tipo de ruído é granuloso e dificulta a interpretação das imagens, reduzindo a qualidade da classificação e a sensibilidade em diferenciar os alvos em uma cena. Para amenizar este efeito, podem ser

utilizados filtros espectrais para melhorar a combinação entre os pixels e gerar melhores imagens para análises. Esta etapa é essencial para eliminar ou amenizar o ruído (*speckle*) e alcançar uma boa classificação, e assim, definir com melhor eficiência as áreas de possível extração seletiva.

Os tratamentos de dados SAR apresentam uma variedade de filtros adaptativos, tais como: filtro de Lee (Dellepiane e Angiati, 2012; Zhao *et al.*, 2014; Carvalho júnior *et al.*, 2014), filtro de Kuan (Carvalho júnior *et al.*, 2014) e filtro de Frost (Dellepiane e Angiati, 2012), cujas características podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características e vantagens dos principais filtros texturais

Nome do filtro	Data	Fundamento	Vantagens
Filtro de Frost	1982	deriva da minimização do erro quadrático do ruído; existe dependência estática do sinal original e é baseado em uma função de correlação exponencial entre pixels	Preserva o valor médio da imagem e máxima preservação da textura; menor perda de informação
Filtro de Lee	1981	deriva de um modelo multiplicativo para o ruído e utiliza estatísticas locais do pixel; é um filtro linear e torna o ruído e o sinal em variáveis independentes a partir da minimização do erro médio quadrático	Preserva o valor médio da imagem
Filtro de Kuan	1982	deriva de um modelo multiplicativo do ruído, semelhante ao filtro de Lee, entretanto não gera aproximações entre as estatísticas	Preserva o valor médio da imagem

Fonte: Adaptado de INPE (2017)

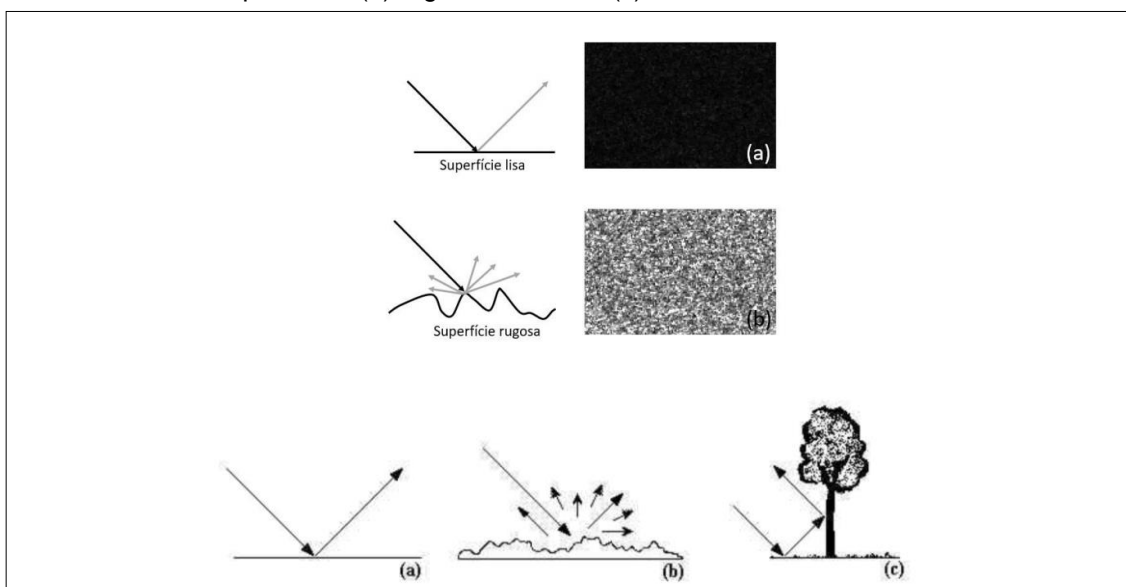
Entretanto, as referências com o uso de diferentes filtros em geral envolvem abordagens com propósitos de classificação (Fàbregas, 2003; Farage *et al.*, 2006; Helmy e El-talweel, 2016; Wozniak *et al.*, 2016) e áreas alagadas (Hess *et al.*, 2003) logo, estes filtros ainda devem ser melhor explorados para propósitos de mapeamento em sistemas SAR de alta resolução.

2.5.2. Parâmetros do Alvo

2.5.2.1. Rugosidade e umidade

A rugosidade depende do tamanho do comprimento da onda e do ângulo. As ondas emitidas pelos sensores SAR refletem a rugosidade e geram diferentes formas de retroespalhamento (*backscattering*) ao encontrarem com seus alvos. Cada feição pode resultar em uma característica diferente na onda refletida (Figura 10). De forma geral, superfícies mais lisas são representadas em tons de cinza mais escuros, como por exemplo a água e solo exposto, enquanto que superfícies mais rugosas como o dossel de uma floresta, tendem a ser mais claras (Marques, 2017).

Figura 11: Efeito rugosidade da superfície em relação ao retroespalhamento, onde (a) lisa – especular e (b) rugosa – difusa e (c) lisa – reflexão de canto



Fonte: Adaptado de Kuplich (2003)

As propriedades elétricas da superfície imageada também reagem à onda refletida e geram diferentes respostas, com base nas características de umidade do material. Quanto maior o nível de umidade do material ou da atmosfera, maior a reflectância (Ribeiro, 1997).

2.5.2.2. Textura

Textura se refere à variação espacial de tons em uma imagem (Haralick; Shanmugam; Dinstein, 1973) em função da escala (ENVI, 2004). A etapa de classificação geralmente é baseada nas feições extraídas dos domínios espectral, espacial e/ou temporal (Kasischke *et al.*, 1997). No que tange aos

estudos sobre classificação para identificação das áreas de exploração florestal é importante levar em consideração a presença de pátios, clareiras e possíveis trilhas de arraste. Além disso ainda é possível trabalhar com filtros temporais para identificar mudanças no padrão da floresta a partir da diferença de bandas entre imagens antes e depois das atividades de corte seletivo.

2.6. ALOS PALSAR

As imagens do sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) são disponibilizadas pela *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, e opera na banda L (23,6 cm de comprimento de onda), com multi-polarização (HH, VV, HV, e VH). O ângulo de imageamento pode variar entre 18° e 60° e as larguras de faixas imageadas entre 40 e 350m dependendo do modo de aquisição (Tabela 4).

O sensor PALSAR está a bordo do satélite orbital ALOS-2, lançado em 2006. O modo de imageamento *fine*, é adequado para o mapeamento na escala 1:100.000, enquanto o modo *ScanSAR* pode fornecer rapidamente imagens adequadas para um mapeamento na escala 1:250.000. A capacidade polarimétrica do sensor traz vantagens adicionais, como melhor discriminação da vegetação e da interferência humana no terreno (Gomes *et al*, 2007).

Tabela 4: Principais características de polarização do sensor PALSAR no satélite ALOS

Modo	Polarização e ângulo de incidência	Faixa imageada (km)	Resolução transversal (m)	Resolução radiométrica
Fine Single	HH ou HV (8 -60°)	40 -70	7 - 44	5 bits
Fine dual	HH+HV ou VV+VH (8-60°)	40 -70	14 - 88	5 bits
ScanSAR	HH ou VV (18-43°)	250 -350	100	3 – 5 bits
Polarimétrico	HH+VV+HV+VH (8-30°)	20 -65	24 - 89	3 – 5 bits

Fonte: Adaptado JAXA (1997)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A região de estudo abrangeu 03 ÁREAS em dois estados brasileiros na região da Amazônia: Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT), com diferentes características e padrões de atividades de corte seletivo. As áreas destinadas ao estudo possuem cobertura vegetal densa, classificadas como florestas ombrófilas. O período chuvoso nessas áreas ocorre geralmente entre janeiro e maio (Nepstad *et al.*, 1990) e pode chegar a mais de 1700 mm/ano, entretanto a variação climatológica e de altitude nas diferentes áreas da Amazônia gera alterações nas fitofisionomias e características vegetativas encontradas ao longo do Bioma.

De acordo com classificação feita pelo IBGE (2012), a fitofisionomia predominante na região de estudo é de floresta ombrófila densa e/ou aberta, formada por diferentes unidades de paisagem. A seleção das áreas foi baseada na disponibilidade de dados de campo e interesse nas atividades de extração seletiva presentes na região:

ÁREA 01 – A FLONA de Jacundá (Figura 12), criada pelo Decreto S/Nº em 1º de dezembro de 2004 abrange os municípios de Porto Velho e Candeias do Jamari, no estado de Rondônia, com uma área de 220 mil ha. A vegetação (Figura 13) predominante na região é de Floresta Ombrófila Aberta e ecótonos com áreas de Cerrado/Savana (IBGE,2012). Foram concedidos 112 mil ha para exploração em duas UMFs, com atividades iniciadas em 2014 (SFB, 2015).

Figura 12: Localização da área de estudo 01 – FLONA de JACUNDÁ localizada no estado de Rondônia, Brasil.

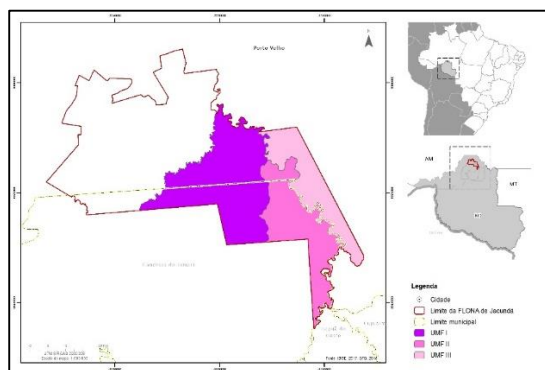
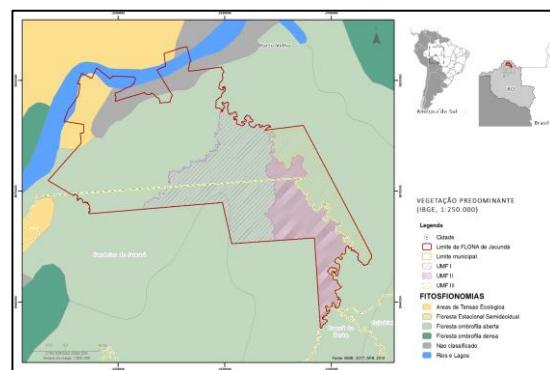


Figura 13: Classificação da vegetação da área de estudo 01 – FLONA de JACUNDÁ localizada no estado de Rondônia, Brasil.



ÁREA 02 - Floresta Nacional de Jamari (Figura 14) foi criada em 1984 pelo Decreto nº 90.224/84 e abrange os municípios de Itapuã do Oeste, Candeias do Jamari e Cujubim, com uma área de 215 mil ha. A vegetação (Figura 15) predominante na região é de Floresta Ombrófila Densa (IBGE,2012) e possui cerca de 96 mil ha sob exploração em três UFM's, iniciada em 2010 (SFB, 2015).

Figura 14: Localização da área de estudo 02 – FLONA de JAMARI localizada no estado de Rondônia, Brasil.

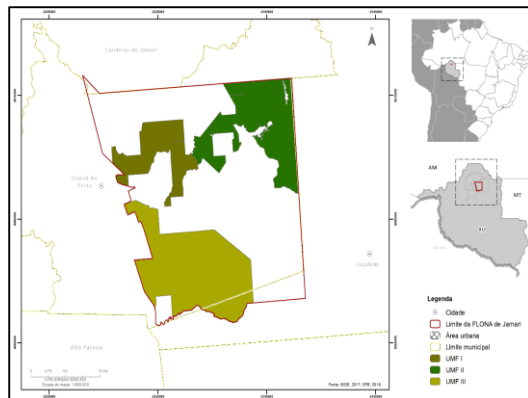
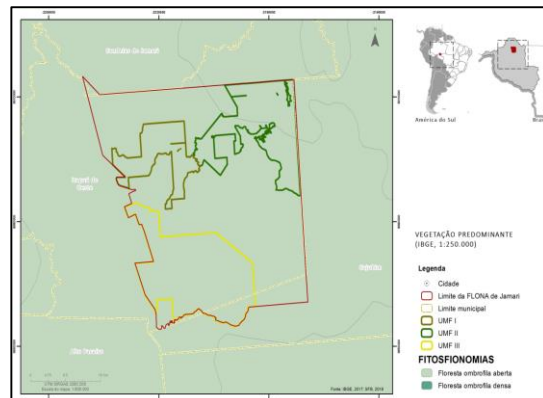


Figura 15: Classificação da vegetação da área de estudo 02 – FLONA de JAMARI localizada no estado de Rondônia, Brasil.



ÁREA 03 - está localizada (Figura 16) no município de Feliz Natal – MT e está inserida em uma fazenda particular (4 VENTOS), cujas atividades de extração seletiva são guiadas por um Plano de Manejo Florestal Sustentável aprovado pela Secretaria de Meio Ambiente do estado do Mato Grosso. A vegetação na região é bastante variada, com manchas de floresta ombrófila e savana, sendo caracterizada pelo IBGE como uma área de tensão ecológica (Figura 17). A análise das áreas exploradas foi realizada dentro da propriedade e em áreas adjacentes a ela.

Figura 16: Localização da área de estudo 03 – FAZENDA 4 VENTOS localizada no estado do Mato Grosso, Brasil.

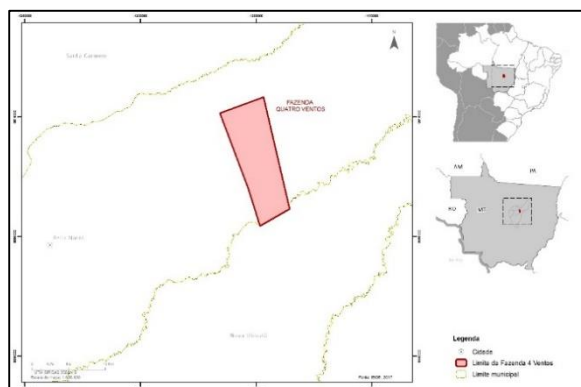
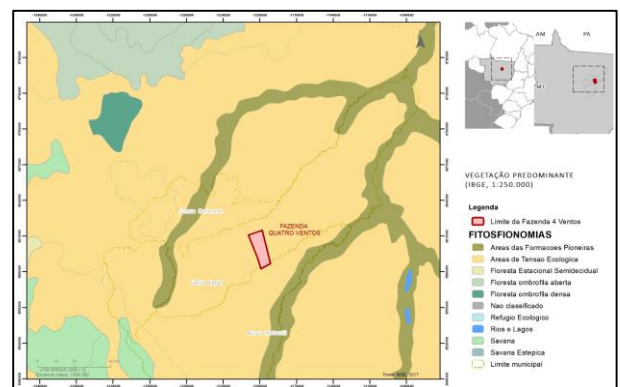


Figura 17: Classificação da vegetação da área de estudo 03 - FAZENDA 4 VENTOS localizada no estado do Mato Grosso, Brasil.



3.2. Materiais e bases de dados

3.2.1. Imagens ALOS PALSAR

O conjunto de dados que será utilizado neste estudo foi obtido através de uma parceria entre o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e a Agência de Exploração Espacial Japonesa (*Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA*) para as imagens dos anos de do satélite ALOS 2 (*Advanced Land Observing Satellite -2*) sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) (Tabela 5).

O ALOS -2 foi lançado em 2014 e desde 2012, através de um acordo de cooperação entre o governo Brasileiro e o Japão, o SFB possui acesso à uma cota de imagens, destinadas à pesquisa e monitoramento de áreas no Brasil. O sensor PALSAR-2 é a continuidade de um programa de observação da terra desenvolvido pela JAXA e é o sucessor de outros dois sistemas em banda L (JERS-1 – *Japanese Earth Resource Satellite* (1992-1998) e o PALSAR (2006-2011)).

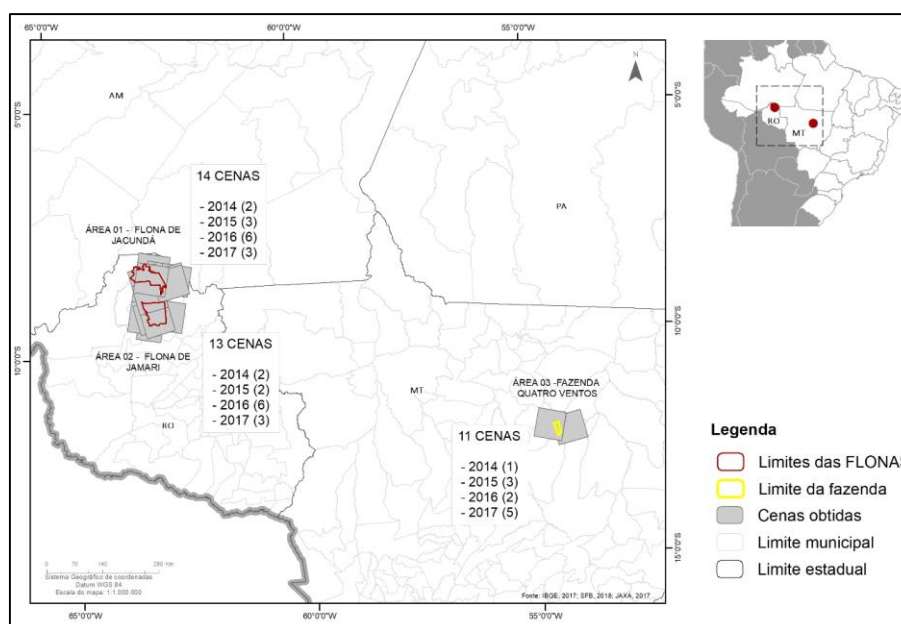
Tabela 5: Características do Sensor PALSAR do Satélite ALOS2 para as imagens obtidas na área de estudo

Item	Parâmetro
Frequência	Banda L - 1.257,5 MHz (~1m)
Largura de banda	84 MHz
Ângulo de incidência	8 a 70°
Modo de observação	Scan SAR
Resolução espacial (m)	6x6
Largura da faixa (km)	25x25
Direção de visada	Direita e esquerda
Polarização	HH/HV
Resolução temporal	14 dias

Fonte: Adaptado de Okada et al (2011)

Devido à limitação de imagens da área de estudo, neste trabalho foram utilizadas imagens duplamente polarizadas HH-HV para os anos de 2014,2015,2016 e 2017 (Figura 18), imageadas em órbita ascendente com um ângulo de inclinação de 38° e a resolução espacial das imagens (*Fine Beam Dual Polarisation - FBD*) é 6,3 metros, com cobertura de uma área entre 40 e 70km. As imagens foram georreferenciadas para o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude), Datum WGS84, em seguida para projeções UTM e convertidas para coeficientes de retroespalhamento (σ°).

Figura 18: Distribuição e localização das cenas obtidas do sensor PALSAR para a área de estudo, considerando a sobreposição entre as diferentes áreas.



Foram adquiridas ao todo 38 cenas para as datas e locais apresentados. Considerando a abrangência das áreas exploradas e datas dos dados, 09 imagens foram utilizadas neste estudo (Tabela 6) entre os anos de 2014 e 2017, considerando o período de exploração das áreas de estudo (entre 2014 e 2016). A seleção das imagens priorizou a cobertura da área de interesse e datas de imageamento em períodos semelhantes, quando disponíveis.

Tabela 6: Relação dos dados utilizados para cada área de estudo e suas respectivas datas

Nº	Nome do arquivo	Área	Data
1	188324		16/06/2015
2	188329	FAZENDA 4 VENTOS	14/06/2016
3	188331		13/06/2017
4	79276		27/12/2014
5	79272		12/03/2015
6	138717	FLONA JACUNDA	06/09/2016
7	138708		09/03/2017
8	138716		06/09/2016
9	138712	FLONA JAMARI	24/01/2017

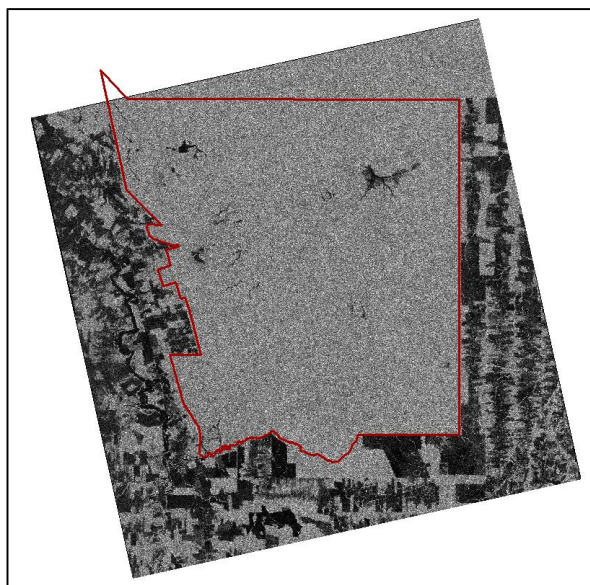
Todas as imagens vieram acompanhadas de um arquivo .kml (formato *Google Earth*) de sua localização, bem como de um arquivo .txt com os metadados (Figura 18) com informações de forma de imageamento, angulação, tamanho de pixel, tamanho e coordenadas da cena e nível de processamento.

Figura 19: Exemplo um arquivo .txt com os metadados das imagens do sensor ALOS PALSAR disponibilizadas para a FLONA de Jamari.

```

001_SceneId="SAR0000000146738-00010-002-052"
001_SiteDateTime="PROCESS:JAPAN-JAXA-ALOS2-EICS 20170322 101723"
SCS_SceneId="ALOS2144316994-170124"
SCS_SceneShift="4"
Pds_ProductId="FBDR1_SRIA"
Pds_AcquisitionMode="NW"
Pds_UTM_ZoneNo="20"
Pds_FrameSpacing="6, 250000"
Pds_OrbitDataPrecision="Precision"
Pds_AttitudeDataPrecision="Orbital"
Img_SceneCenterDateTime="20170124 04:34:07.098"
Img_SceneStartDateTime="20170124 04:34:02.098"
Img_SceneEndDateTime="20170124 04:34:12.098"
Img_ImageSceneCenterLatitude="-9, 363"
Img_ImageSceneCenterLongitude="-62, 914"
Img_ImageSceneCenterTopLatitude="-9, 324"
Img_ImageSceneCenterTopLongitude="-63, 286"
Img_ImageSceneCenterBottomLatitude="-9, 399"
Img_ImageSceneCenterBottomLongitude="-62, 689"
Img_ImageSceneCenterRightLatitude="-9, 365"
Img_ImageSceneCenterRightLongitude="-62, 920"
Img_ImageSceneCenterRightTopLatitude="-9, 325"
Img_ImageSceneCenterRightTopLongitude="-63, 287"
Img_ImageSceneCenterRightBottomLatitude="-9, 399"
Img_ImageSceneCenterRightBottomLongitude="-62, 689"
Img_FrameSceneCenterLatitude="-9, 365"
Img_FrameSceneCenterLongitude="-62, 920"
Img_FrameSceneCenterTopLatitude="-9, 325"
Img_FrameSceneCenterTopLongitude="-63, 287"
Img_FrameSceneCenterBottomLatitude="-9, 399"
Img_FrameSceneCenterBottomLongitude="-62, 689"
Img_FrameSceneRightLatitude="-9, 365"
Img_FrameSceneRightLongitude="-62, 920"
Img_FrameSceneRightTopLatitude="-9, 325"
Img_FrameSceneRightBottomLatitude="-9, 399"
Img_FrameSceneRightBottomLongitude="-62, 689"
Img_OffNadirAngle="36, 6"
PDI_ProductCase="456.1"
PDI_CntOfL1SProductFilename="4"
PDI_L1SProductFilename01="IMG-HH-ALOS2144316994-170124-FBDR1_SRIA.tif"
PDI_L1SProductFilename02="LUT-HH-ALOS2144316994-170124-FBDR1_SRIA.txt"
PDI_L1SProductFilename03="IMG-HV-ALOS2144316994-170124-FBDR1_SRIA.tif"
PDI_L1SProductFilename04="LUT-HV-ALOS2144316994-170124-FBDR1_SRIA.txt"
PDI_BitPixel="16"
PDI_NoOfPixels_Q="10773"
PDI_NoOfLines_Q="1108"
PDI_ProductFormat="Geotiff"
ACh_TimeCheck="GOOD"
ACh_AttitudeCheck="GOOD"
ACh_AbsoluteNavigationStatus=""
ACh_PoskeepingDataCheck="GOOD"
ACh_OrbitCheck="GOOD"
ACh_OrbitDataCheck="GOOD"
ACh_LossLines="GOOD"
ACh_AbsoluteNavigationTime=""
ACh_Pse_Check=""
ACh_CalibrationDataCheck=""
Rad_PracticeResultCode="GOOD"
Lbi_Satellite="ALOS2"
Lbi_Sensor="SAR"
Lbi_ProcessLevel="1, 5"
Lbi_ProcessFacility="EICS"
Lbi_ObservationDate="20170124"

```



3.2.2. Dados de campo e outros dados de referência

Os dados de campo foram obtidos de forma secundária a partir dos inventários sistemáticos realizados pelas equipes do SFB e pelas concessionárias que realizam o mapeamento dos pátios construídos, das trilhas abertas e dos indivíduos retirados (Tabelas 7 e 8). Foram disponibilizados dados referentes ao Inventário 100%, realizado para cada uma das Unidades de Produção Anual (UPA) exploradas, obedecendo as diretrizes técnicas para apresentação de PMFS e Plano Operacional Anual (PO), contidas na Norma de Execução N.º 1/2007 do IBAMA (IBAMA, 2007), e disponibilizados em formato de planilha eletrônica *.xls e arquivo vetorial *.shp para os anos até 2017.

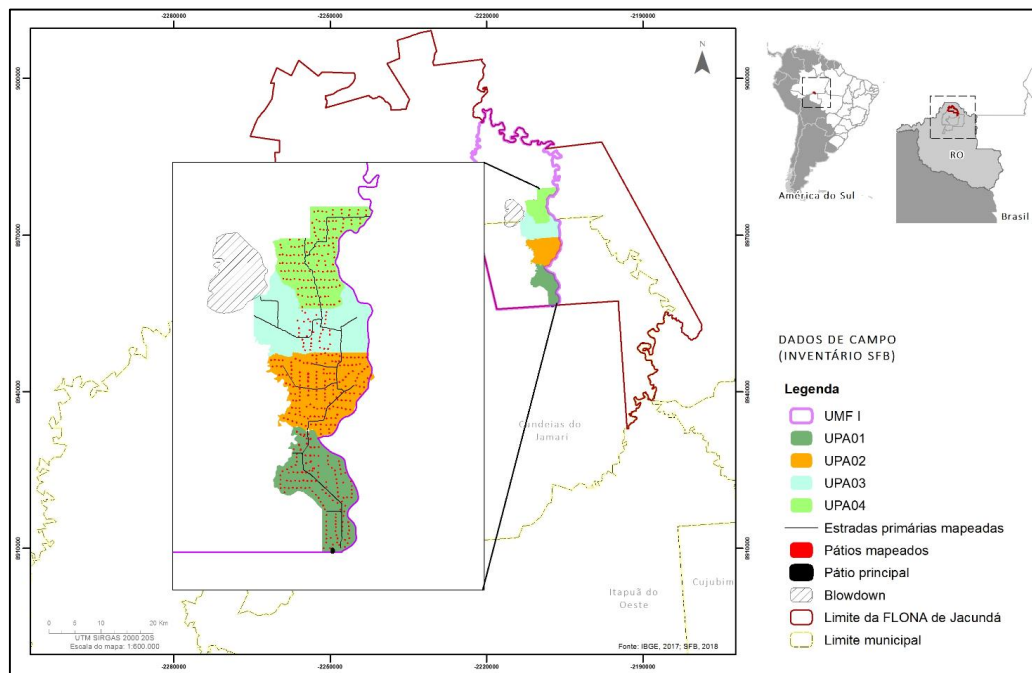
Tabela 7: Características da infraestrutura construída na área de estudo

Parâmetro	FLONAS	Faz. 4Ventos
Tamanho médio dos pátios*	500 m ²	500 m ²
Largura das estradas principais	5 a 6 m	10 a 15 m
Largura das estradas secundárias	3 a 4 m	5 a 6 m

*A legislação vigente recomenda que sempre que possível as dimensões sejam de 20 x 25m² mas pode haver variação em função do tipo de transporte e tamanho do caminhão

Os dados foram obtidos para todos fragmentos e UMFs das Flonas estudadas em que foram ser coletados pontos das áreas conhecidas de exploração florestal, bem como das áreas em que há dano visível ao sub-bosque da floresta. Quanto à Fazenda 4 ventos, os dados foram obtidos diretamente com os executores e proprietários do manejo florestal conduzido na propriedade (Figura 20).

Figura 20: Exemplo de dados de campo disponibilizados para as áreas de interesse, com foco na localização de pátios e estradas principais para a FLONA de Jacundá



Além das imagens de satélite, foram utilizadas imagens ópticas Landsat ETM+, e o *Google Earth* (USGS Earth Explorer), para auxiliar no processo de mapeamento e detecção da infraestrutura relacionada à extração seletiva, e para as análises de acurácia. O processamento dos dados PALSAR foi realizado com apoio do *software* de acesso livre ASFMapReady 3.2.1, para a etapa de pré-processamento ([https://www.asf.alaska.edu/data-tools/mapready/Map Ready.](https://www.asf.alaska.edu/data-tools/mapready/MapReady/)) Os *softwares* ERDAS (para o processo de detecção e mapeamento) e ArcGIS (para a etapa de cartografia e produção de mapas) também foram utilizados no fluxo de trabalho.

3.3. Mapeamento da extração seletiva

Distinguir e identificar as composições e padrões em uma superfície é um dos principais objetivos do mapeamento a partir de técnicas de sensoriamento remoto. A detecção da exploração madeireira é considerada difícil porque se trata de um padrão de uso da terra que gera um mosaico complexo de ambientes formados por diferentes tipos de materiais, com arranjo espacial variado (Souza Júnior et al., 2003).

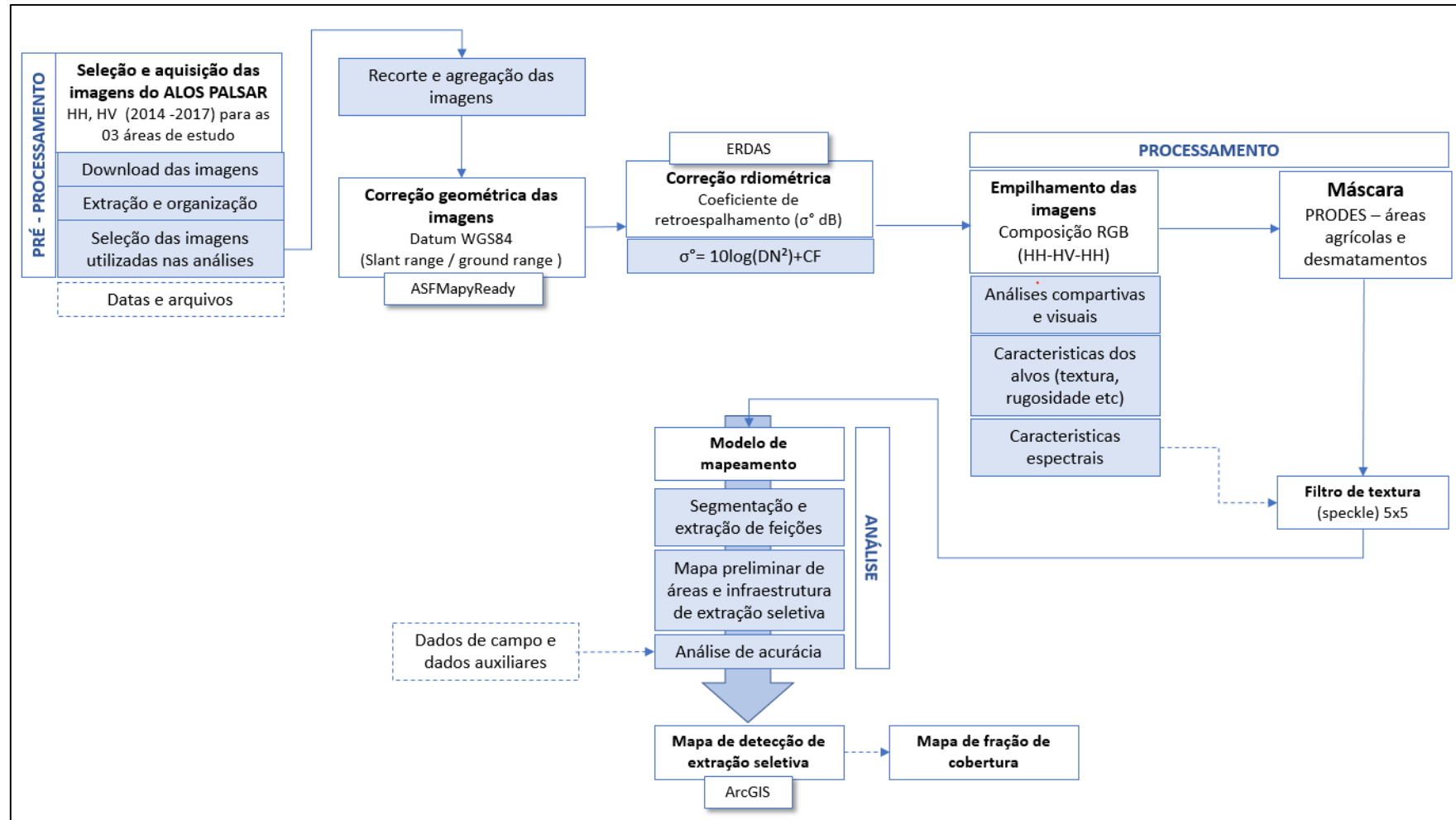
A estrutura do dossel de uma floresta é descrita com base na distribuição dos indivíduos pelo terreno, a densidade espacial foliar e sua característica angular (Kuplich, 2011). A utilização de sensores SAR no mapeamento da estrutura florestal deve levar em conta a estrutura da vegetação local, que determina a forma e a intensidade do retroespalhamento, bem como outras características físicas e químicas da região, como o teor de umidade.

Nesse caso, o mapeamento e monitoramento das áreas destinadas à exploração seletiva a partir de técnicas de interpretação visual ou de classificação digital (alto consumo de recursos computacionais) está relacionada à identificação de infraestrutura relacionada às atividades de extração seletiva. Esta é a melhor forma de localizar as áreas e avaliar as alterações na floresta, especialmente quando se há informações sobre o manejo e a intensidade da exploração na área.

São encontradas nas florestas exploradas áreas com solos expostos devido a pequenos desmatamentos para a construção de pátios de estocagem e estradas, clareiras no dossel da floresta causada pela queda de árvores e movimentação de máquinas e de remanescentes florestais não danificados (Uhl e Vieira, 1989).

A metodologia foi descrita em forma de fluxograma para melhorar a visualização das diferentes etapas do processo de mapeamento da extração seletiva utilizando imagens do sensor ALOS PALSAR (Figura 21) incluindo os processos de calibração radiométrica e de filtragem, bem como a extração dos atributos espectrais. Cada etapa é discutida em detalhe nos itens subsequentes.

Figura 21: Metodologia para o mapeamento das áreas de extração seletiva na área de estudo.



3.3.1. Pré-processamento das imagens

O processamento das imagens consistiu nos seguintes procedimentos de correção geométrica, calibração, filtragem e extração dos atributos de reflectância das imagens. O processo de *multilooking*, não foi realizado na etapa de pré-processamento, as imagens obtidas pela JAXA já passaram por esta etapa de processamento e possuem resolução espacial ajustada para 6,3m.

As decomposições polarimétricas são utilizadas para determinar qual tipo de espalhamento é o predominante em uma imagem. Entretanto, são análises complexas e dependem de entendimentos profundos sobre as características físicas da região e de propriedades dos sensores, e podem ser executadas no software ASFMapReady.

Dada a natureza de dupla polarização dos dados, o *software* é limitado e não possui opções para essa decomposição em imagens. Ademais, alguns estudos questionam a eficiência e validade dos resultados da decomposição de imagens de dupla polarização (Cloude, 2007; Ji e Wu, 2015). Considerando ainda a natureza deste trabalho, e a necessidade de desenvolvimento de algoritmos ou rotinas específicas para gerar estes dados, a decomposição planimétrica não foi realizada e as análises foram baseadas nos resultados obtidos a partir do processo de calibração e interpretações visuais.

3.3.2. Calibração e correção radiométrica

A etapa de calibração das imagens PALSAR envolve a correção radiométrica em que é realizada a conversão dos números digitais das imagens em amplitude para coeficientes de retroespalhamento. Uma imagem pode ser considerada calibrada quando o coeficiente de retroespalhamento é determinado e aplicado. O dado de entrada da imagem é em unidade de número digital (DN) e os resultados derivados podem ser β_0 (beta), γ_0 (gamma) e σ_0 (sigma). Dependendo da aplicação, um ou outro coeficiente vai produzir melhores efeitos:

- β_0 = utilizado especialmente por desenvolvedores de sistemas pois são valores que não dependem das características dos terrenos
- γ_0 = muito utilizados nos processos de calibração, pois considera os valores igualmente espaçados

- σ_0 = geram medidas quantitativas relacionadas ao terreno

Para trabalhar com retroespalhamento em função da área imageada, trabalha-se com o coeficiente de retroespalhamento (σ°), que de tão variável é expresso como logaritmo em unidades de decibel (dB) (Waring *et al.*, 1995). Considerando o interesse pelas características a aplicações referentes ao terreno, o coeficiente sigma (σ_0) unidade em decibel (dB) foi o escolhido. Para isto, foi utilizada a equação 1 e as especificações técnicas produzidas pela JAXA (2018) (Ulander 1996; Shimada *et al.*, 2009). Este processamento permitiu compreender melhor os processos de retroespalhamento dos alvos e, conseqüentemente, comparar imagens de datas distintas (Amaral e Shimabukuro, 1997).

$$\sigma^\circ = 10 * \log (DN^2) + CF \quad \text{eq 1.}$$

Onde,

σ° = coeficiente de retro espalhamento (dB)

DN = número digital

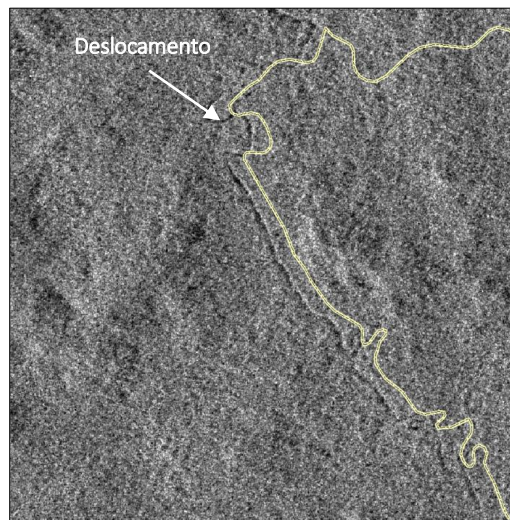
CF = Fator de calibração = -79dB (Mohoka *et al.*, 2018)

3.3.3. Correção geométrica

As imagens de sensores remotos contêm distorções geométricas que não podem ser utilizadas diretamente como base para um produto no SIG (Figura 22). A correção geométrica das imagens ALOS PALSAR foi necessária já que as imagens apresentam nível de retificação de 1.1 a 1.5, com correção geométrica básica. As imagens foram corrigidas geometricamente com apoio da análise de geocode no *software* MapReady a partir de um modelo digital de elevação (DEM) obtido do site TOPODATA com resolução espacial de 30m.

O arquivo DEM passou pelo processo de preenchimento, para ajustar valores muito discrepantes. Para ajustes posteriores foi utilizada a ferramenta de registro, selecionando a imagem base (georreferenciada) e a imagem a ser corrigida.

Figura 22: Detalhe do deslocamento apresentado pelas imagens ALOS em relação à base vetorial dos limites das UMFs e FLONAS.



As cenas foram empilhadas em camadas para produzir imagens RGB (*red-green-blue*) e análises aritméticas foram realizadas usando as polarizações HH e HV, com foco na diferença entre bandas. O estudo das diferenças de polarizações e histogramas ajuda a ajustar e a melhorar o contraste das imagens e permite o aprimoramento da interpretação visual e segmentação da imagem (Dellepiane e Angiati, 2012).

Áreas desmatadas, previamente detectadas por outras ferramentas de monitoramento, como o PRODES (Monitoramento florestal da Amazônia brasileira por satélite), foram mascaradas para eliminar áreas abertas e já desmatadas. O mesmo foi feito para rios e cidades para evitar a classificação errônea usando o banco de dados oficial brasileiro do IBGE (IBGE,2017).

Para detectar mudanças na cobertura florestal de forma visual as imagens foram agrupadas para gerar um mosaico multitemporal, combinando imagens de radar adquiridas em diferentes anos. Qualquer alteração na coloração do local modificado ao longo do tempo foi observada em um mosaico multitemporal com facilidade.

3.3.4. Filtros polarimétricos e redução do speckle

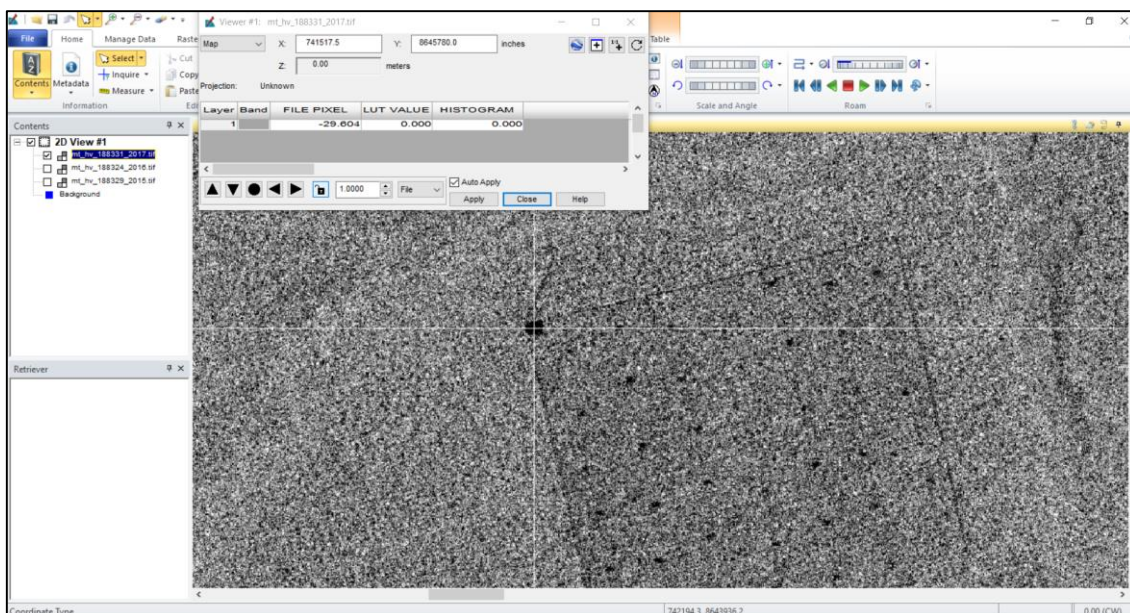
Uma etapa fundamental para a correta discriminação de alvos florestais é a utilização de filtros texturais, com dimensão apropriada para minimizar a perda da informação espectral e colaborar significativamente na redução do *speckle*. Em geral, filtros de dimensões maiores tendem a suavizar o *speckle*, enquanto

filtros menores preservam as informações texturais (Lee; Pottier, 2009; Lopéz-Martínez; Fábregas, 2003).

A fim de reduzir o ruído *speckle*, as imagens HH e HHV foram filtradas a partir de um modelo no *software* ERDAS para detectar “espaços” deixados no dossel após a remoção de indivíduos na floresta. O filtro “Lee” (Lee, 1981), que é mais empregado na literatura, foi utilizado com janelas de dimensão de 5x5. Esta dimensão foi considerada como um equilíbrio (*trade-off*) entre o ganho obtido pelo aumento indiscriminado da janela de filtro e a perda de informações radiométricas relevantes causada pela suavização.

O histograma foi utilizado para a seleção dos valores de retroespalhamento médio, mínimo e máximo para detectar quais valores representam as mudanças sutis no dossel da floresta sob atividades de exploração seletiva. Para isso, a seleção dos valores dos *pixels* foi feita de forma semiautomática, para que polígonos com reflectância similares à das áreas de padrões de extração seletiva fossem retirados (Figura 23).

Figura 23: Processo de seleção dos valores espectrais para o mapeamento de áreas sob extração seletiva e infraestrutura



A partir das imagens corrigidas nos valores de coeficiente de retroespalhamento, foram geradas imagens razão (HH/HV) bem como imagens de diferença entre polarizações entre os anos antes e depois do corte. Os valores de sigma foram analisados a partir das médias dos valores para cada feição de

infraestrutura identificada. As imagens foram posteriormente classificadas utilizando o valor médio de sigma encontrado para cada ano como um limiar (*threshold*) para identificar as áreas sob exploração seletiva de madeira a partir da infraestrutura associada.

3.3.5. Mapeamento da extração seletiva

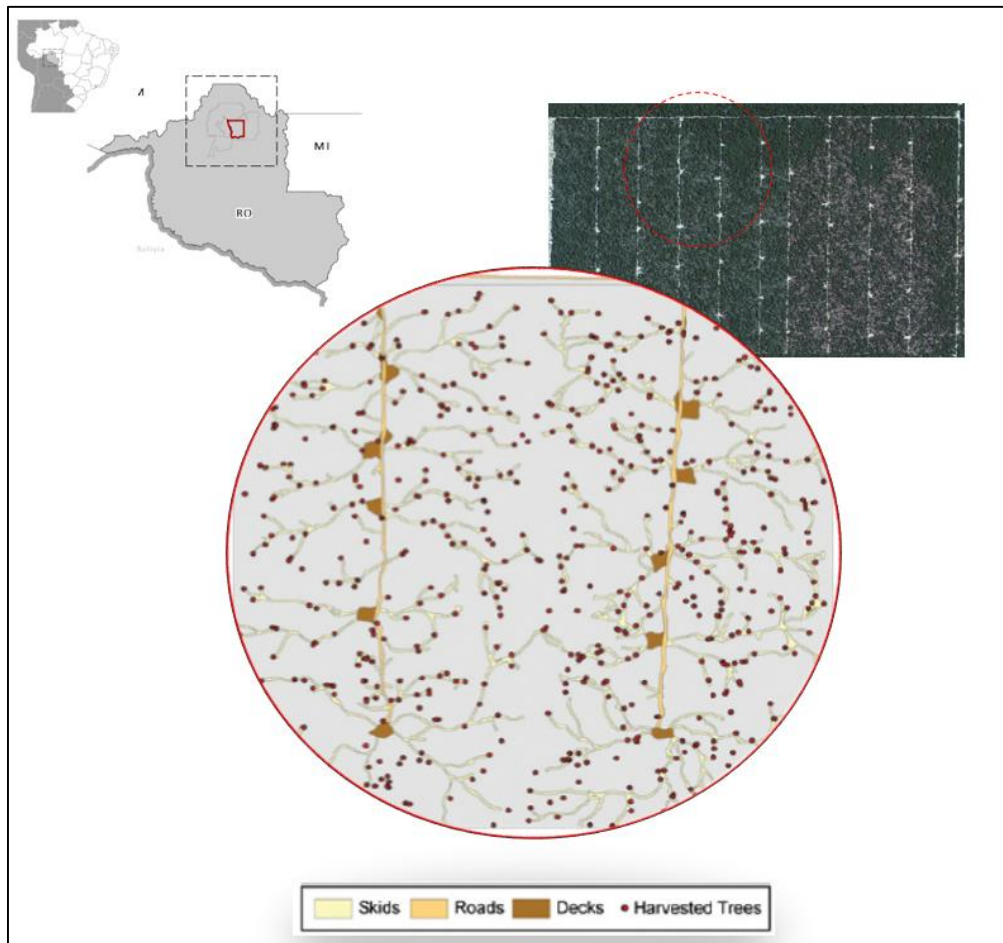
A metodologia de mapeamento é baseada em imagens temporais, adquiridas antes e depois da operação de corte seletivo. A etapa de classificação foi baseada nas características espectrais, espaciais e/ou temporais do conjunto de dados ALOS PALSAR.

3.3.5.1. Interpretação visual das áreas de extração seletiva

Para fins de identificação e classificação seletiva da exploração madeireira, a presença de infraestrutura comum (pátios, estradas e trilhas de arraste) foram os atributos a serem identificados e mensurados. Os padrões desses recursos podem mudar dependendo da localização e dos planos e intensidade de manejo da colheita (Figura 24).

A intensidade e o período da exploração podem influenciar a detecção dessas infraestruturas e seus impactos (Pinagé e Matricardi, 2015). Nos pátios identificados foram construídos buffers de 180 m. Esse valor foi estipulado em campo por Matricardi et al (2005) como a área afetada pela extração seletiva em torno do pátio. Para as estradas, foram identificadas as larguras médias para cada região de técnica de extração.

Figura 24: Tipo de infraestrutura mapeada em uma área com exploração seletiva de madeira (adaptado de Pereira et al., 2002) Onde: *Skids* = trilhas de arraste; *Roads* = estradas; *Decks* = pátios e *Harvested trees* = árvores retiradas.



Fonte: Adptado de Asner et al (2004)

3.3.6. Matriz de classificação e acurácia do mapeamento

Depois de realizada a classificação foi analisada a precisão dos resultados obtidos, de forma tabular a partir de uma matriz de confusão (Figura 25), cujas classes utilizadas foram: (i) pátios; (ii) estradas; (c) floresta; e (d) outros. Foram aleatorizados 100 pontos para cada área e os dados de campo foram utilizados como proxy (verdade do terreno) com a localização conhecida dos pátios e estradas. Para a acurácia dos pátios, foi considerado um buffer de 180m e para a acurácia das estradas, foi feito um buffer de 5m. Qualquer área ponto fora da área de interesse (que não representassem as classes de floresta, pátio ou estrada) ou fora das UMFs foi considerado como outro. Para o cálculo da acurácia do mapeamento foi calculada:

- Acurácia do produtor (que indica o % de acerto de um pixel ter sido classificado corretamente)
- Acurácia do usuário (indica o % de acerto da classificação em relação à verdade do terreno).
- Exatidão global é dada pela soma dos valores das categorias dividido pelo valor total.

Figura 25: Exemplo de matriz de confusão e cálculos de acurácia do produtor, acurácia do usuário e exatidão global

		Observado (verdade de campo)				TOTAL	ACURÁCIA DO USUÁRIO
		PÁTIO	ESTRADA	FLORESTA	OUTROS		
Mapeado	PÁTIO						Valor da observação / Total da linha
	ESTRADA						
	FLORESTA						
	OUTROS						
TOTAL							Soma da diagonal / Total geral
ACURÁCIA DO PRODUTOR							
EXATIDÃO GLOBAL							

Por fim, foi utilizado o índice Kappa (Equação 4) pra cada matriz de confusão como apresentado por Costa (2017) originalmente desenvolvido por Cohen (1960) para avaliar o desempenho da classificação.

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii} \sum_{i=1}^r x_{i+} + x_{+i}}{N^2 \sum_{i=1}^r x_{i+} + x_{+i}} \quad \text{Eq 4.}$$

Onde,

r = o número de linhas ou colunas da matriz de confusão;

X_{ii} = o número de observações dos elementos da diagonal da matriz;

x_{i+} = L x_{ii} é a soma dos valores da j linha i;

x_{+i} = L x_{ii} é a soma dos valores da coluna i;

N corresponde ao número j total de observações.

Quando todos os elementos da matriz de confusão fora da diagonal possuem valor nulo, o coeficiente Kappa possui valor 1, o que significa um desempenho excelente. Caso o valor seja negativo, o desempenho foi péssimo. A Tabela 8 apresenta o desempenho da classificação em relação ao valor de Kappa obtido.

Tabela 8: Índice do coeficiente Kappa e a qualificação do desempenho da classificação

Índice Kappa	Classificação do desempenho
<0	Péssimo
0<k≤0,2	Ruim
0,2<k≤0,4	Médio
0,4<k≤0,6	Bom
0,6<k≤0,8	Muito bom
0,8<k≤1,0	Excelente

Fonte: Costa (2017)

3.3.7. Fração de cobertura (FC)

O estudo da área impactada pelas diferentes atividades em uma floresta podem ser realizados a partir de estudos de regressão (Matricardi *et al*, 2013). A fração impactada corresponde à porcentagem da área degradada em relação à uma área vizinha e estimada a partir de uma relação linear entre a cobertura do dossel e a área de solo exposto identificada pela resposta espectral. O índice de fração de cobertura (FC), pode ser calculado utilizando a equação 5. O índice varia de 0 a 100, onde 0 representa solo completamente exposto e 100 dossel fechado.

$$FC = \frac{IV - IV \text{ solo exposto}}{IV \text{ vegetação} - IV \text{ solo exposto}}$$

Onde,

IV = índice de vegetação

IV solo exposto = é o valor do índice de vegetação de uma área de solo exposto

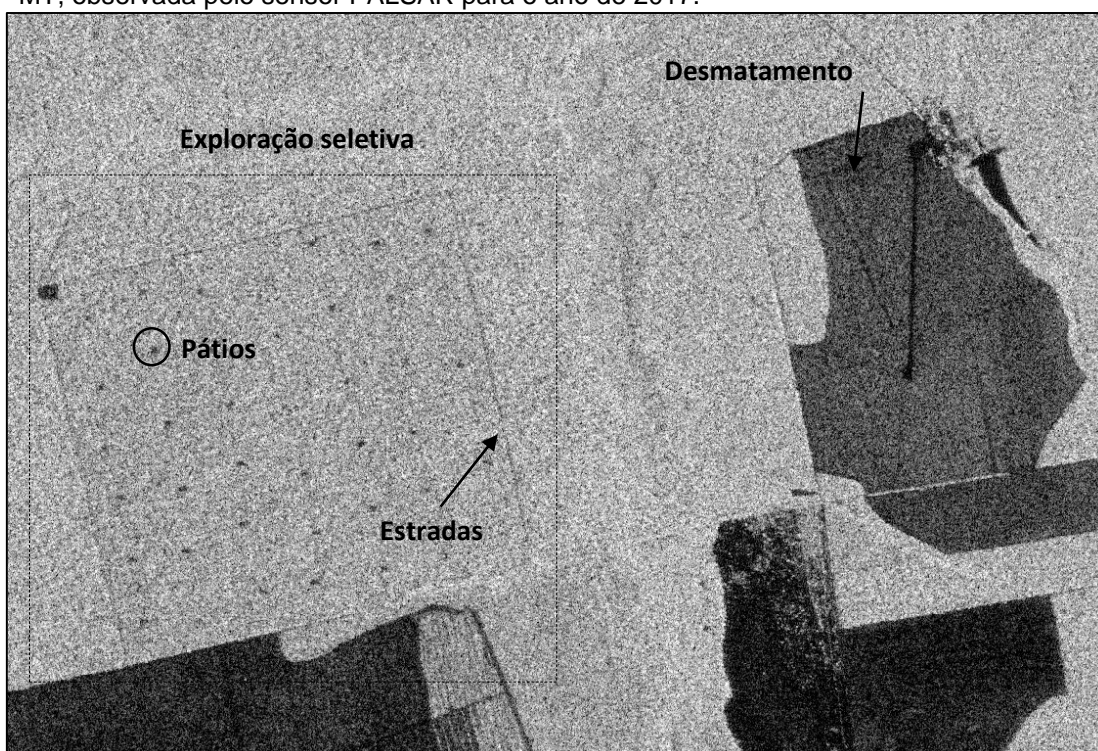
IV vegetação = valor de índice de vegetação para uma área com cobertura florestal

Em geral, o índice de fração de cobertura é aplicado levando em consideração os resultados derivados de um índice de vegetação, que relaciona a cobertura florestal ao solo exposto. Em geral é calculado um FC para cada índice de vegetação e a partir dos dados coletados em campo da localização dos pátios, o resultado gerado com FC permite identificar e mensurar a taxa de abertura do dossel em áreas com atividades de extração seletiva. No caso dos dados ALOS PALSAR, uma abordagem diferente foi implementada: considerando que não foram aplicados índices de vegetação à imagem, os valores de dossel e de solo exposto foram extraídos a partir da média dos valores sigma e aplicados à equação do FC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A definição do que é ou não era corte seletivo, devido aos vários estágios encontrados para esse tipo de exploração (Xavier *et al.*, 2009) foi desenvolvida inicialmente de madeira visual e a partir dos dados observados em campo da localização da infraestrutura associada à extração seletiva nas imagens PALSAR (Figura 26), considerando as diferenças entre este tipo de atividade e o corte raso.

Figura 26: Diferenças entre a exploração seletiva de madeira, com a retirada de alguns indivíduos e do corte raso, em que há desbaste total de uma parcela no município de Feliz Natal –MT, observada pelo sensor PALSAR para o ano de 2017.

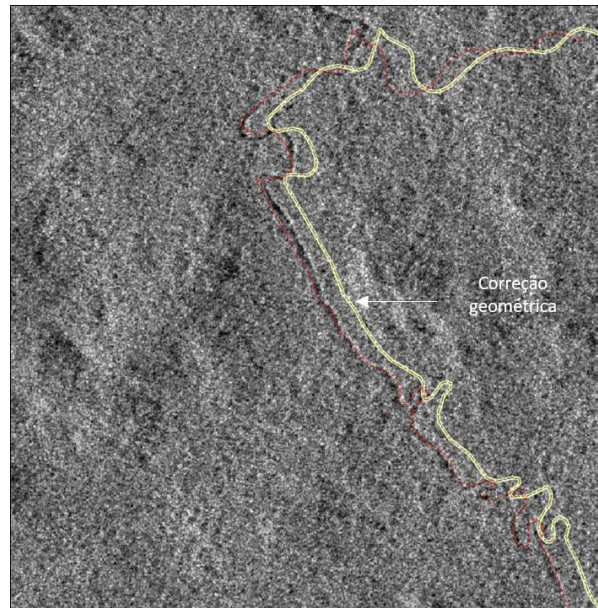


Apesar do grau de correção geográfica das imagens ALOS PALSAR, ser em geral, alto (JAXA, 2017) foi necessário realizar correção geométrica para todas cenas utilizadas. O processo de a correção geométrica foi um problema devido à característica de relevo da região. As feições topográficas não são muito inclinadas (é uma região relativamente plana) e foram representadas de maneira média no DEM o que não permitiu um registro ortorretificação de imagens adequado.

Além disso a resolução espacial do DEM obtido pelo TOPODATA (30m) não é adequado e foi necessário degradar o pixel para atender a resolução

espacial da região de estudo. Apesar destas características e dificuldades, o ajuste manual posterior permitiu que a correção geométrica fosse realizada de maneira aceitável para o processamento (Figura 27).

Figura 27: Processo manual de correção geométrica e registro de uma imagem ALOS PALSAR após a correção a partir do DEM gera uma imagem que se encaixa adequadamente na base georreferenciada (base de referência – linha vermelha), ao contrário de sua posição original (linha amarela).



Após a correção geométrica e ajuste do Datum das imagens, a composição a composição RGB das polarizações gerou uma melhoria na visualização das características e feições de cada imagem, em diferentes níveis e qualidades para cada região.

Uma exploração visual das imagens permitiu que algumas características, como as estradas e pátios maiores e mais largos fossem identificadas nas imagens. Na região da fazenda 4 Ventos, por exemplo, os pátios e estradas principais se mostraram bastante fáceis de visualizar, indicando um padrão característico da atividade de exploração (Figura 28), enquanto que, nas áreas de FLONA onde o dossel é naturalmente mais denso, as feições e infraestrutura relacionada à extração seletiva, apresentaram um aspecto mais sutil (Figura 29), inclusive em imagens ópticas.

Figura 28: Comparação entre as imagens brutas, a composição RGB (HH-HV-HH) do ano de 2017 e uma imagem óptica para a região da área 04, próxima à Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso.

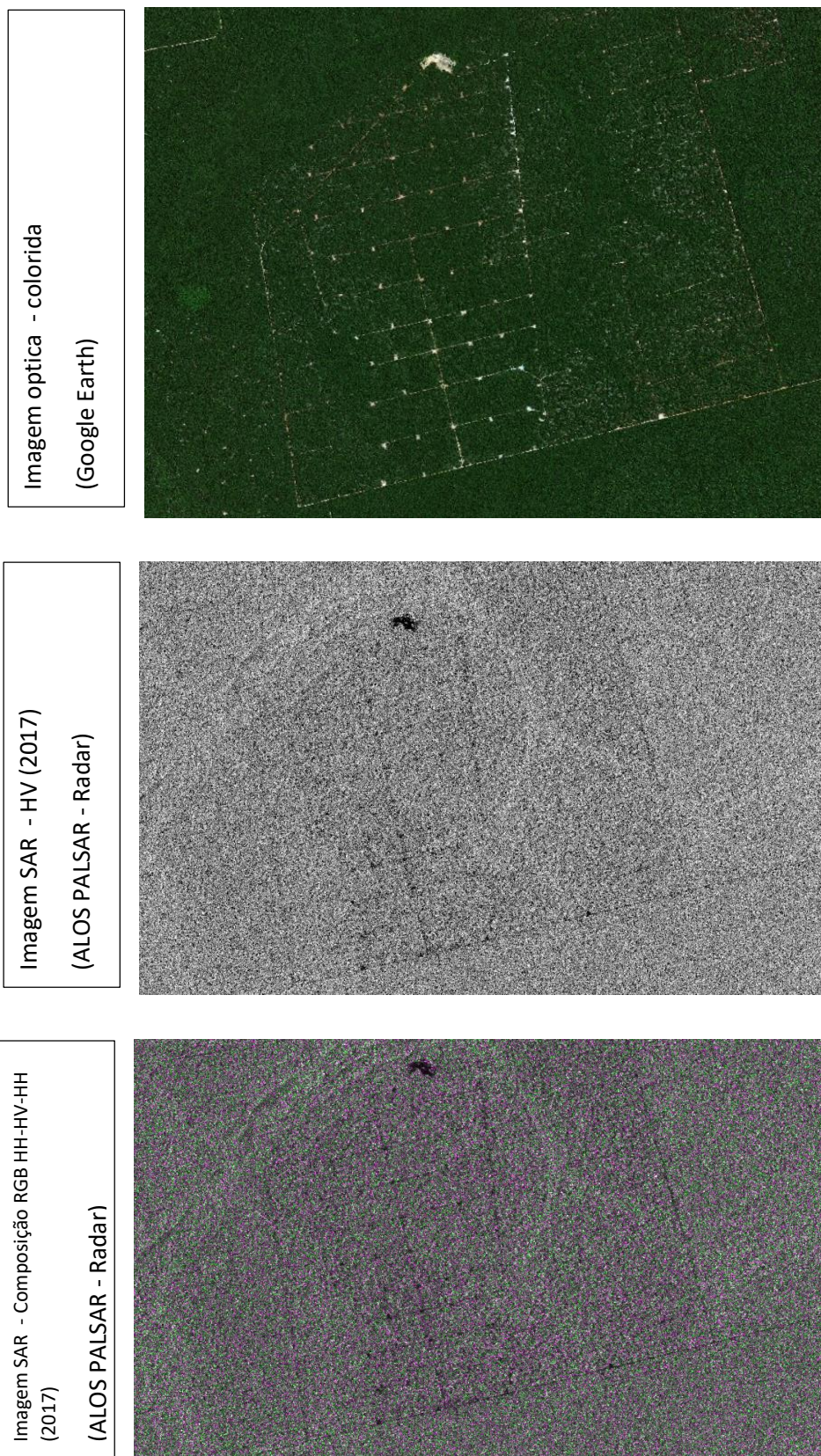
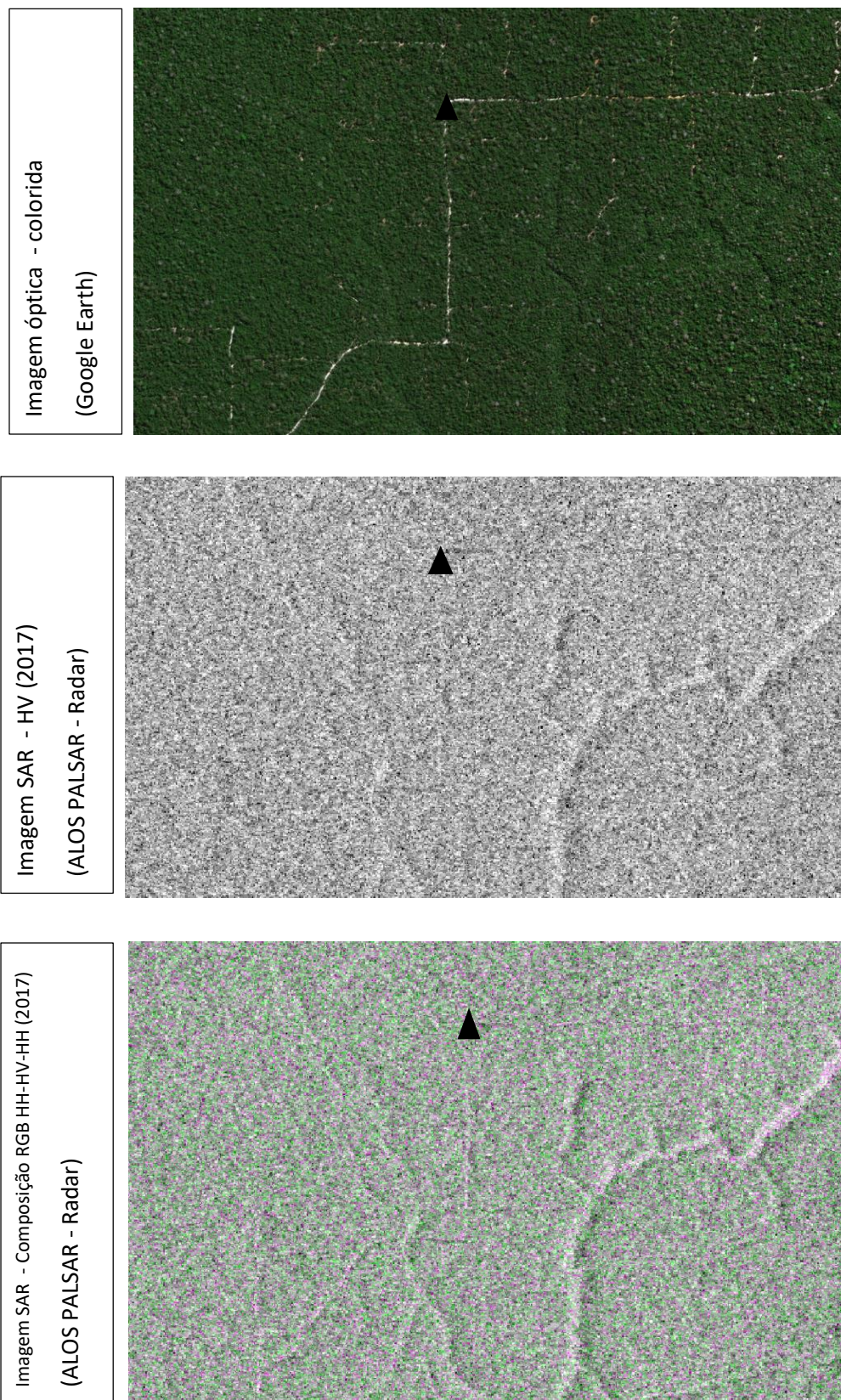


Figura 29: Comparação entre as imagens brutas, a composição RGB (HH-HV-HH) do ano de 2017 e uma imagem óptica para a FLONA de Jacundá, UMF I – UPA 04.

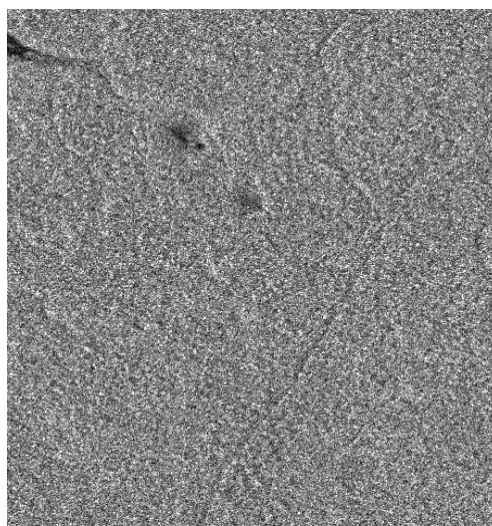


A análise visual por exemplo, para a FLONA de Jacundá, a partir da imagem RGB passou a discriminar melhor as estradas principais na composição HH-HV-HH em comparação com a imagem original de polarização HV, resultado semelhante (Figura 30) foi observado para Flona de Jamari.

As composições em RGB para a fazenda 4 ventos também mostraram bons resultados visuais, com indicação da localização de estradas principais, pátios e algumas trilhas de arraste. É importante considerar, que a intensidade da exploração nessa área é maior e que o tamanho da infraestrutura construída influencia na interpretação, quando comparada com as áreas das Flonas.

Figura 30: Comparação entre as imagens brutas, do ano de 2017 e uma imagem óptica para a FLONA de Jamari, UMF I – UPA01.

IMAGEM OPTICA x ALOS PALSAR RADAR (HV) - JAMARI



A quantidade de energia espalhada pelo alvo em direção ao sensor versus a quantidade de energia emitida é o que caracteriza o coeficiente de retroespalhamento. Quanto mais rugosa uma superfície mais evidente é esta diferença e mais pixels com efeito *speckle* são gerados. Apesar de todas as áreas de apresentarem classificação vegetacional e de fitofisionomias semelhantes a densidade do dossel na região 04 (Fazenda – MT) é menor e isso fica evidente na resposta visual das imagens.

A visualização das feições e características da extração seletiva é mais ou menos favorecida, não apenas pela polarização ou combinações, mas

também pelas características de sua construção. As estradas principais, abertas nas áreas de concessão possuem largura média de 5 a 6 m enquanto que na área da Fazenda4 ventos a estradas principais posse um larguras variando entre 10 e 15m e as estradas secundárias cerca de 5m de área trafegável, facilitando a visualização, já que a interação dos pulsos e a formação de *speckle* tende a ser menor em áreas mais abertas. Além disso, considerando a intensidade maior da exploração, a baixa biomassa da área também reduz a interação dos pulsos, consequentemente reduzindo o nível de ruído da imagem.

Diferente de outros sensores, o ALOS possui uma importante característica de ser multipolarizado, com a possibilidade de obter valores de espalhamento dos pulsos a partir de diferentes canais e fontes, incrementando e enriquecendo as informações sobre determinado atributo (Ji e Wu, 2015). A maioria dos estudos e técnicas de decomposição polarimétrica disponíveis é aplicada em atividades de segmentação e classificação (Huynen, 1970; Touzi *et al.*, 2002; Yamaguchi *et al.*, 2011) especialmente em imagens multipolarizadas (HH-HV-VH-VV), cuja eficiência e performance vem sendo estudada (Guo *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014) e testada.

A decomposição polarimétrica surgiria como uma excelente opção para obter atributos extras das imagens e estatísticas de análise além do valor sigma, contribuindo para o processo de detecção e mapeamento das áreas de extração seletiva. Entretanto, além do MapReady, outros *softwares* foram consultados (RAT, PolSarPRO e SARscape) e nenhum deles realiza processamento polarimétricos para imagens de dupla polarização (HH-HV). Além disso, poucos estudos adotam a decomposição de polarimetria em imagens HH-HV (Cloude, 2007), a partir de simplificações das técnicas já existentes. Ji e Wu (2015), ao alterar os mecanismos de decomposição polarimétrica e testar a extração de atributos do retroespalhamento em imagens de dupla polarização, concluíram que especialmente em imagens de polarização cruzada (HH-HV) a decomposição destes parâmetros não é efetiva.

Em relação à análise visual baseada nas características polarimétricas, a polarização HV se mostrou visualmente mais eficiente na identificação dos padrões de extração seletiva em comparação com a polarização HH a área da

fazenda 4 Ventos, no Mato Grosso. Isso se deve possivelmente ao tipo de interação da energia horizontal com o dossel e as características biofísicas da floresta. Em geral, diferentes polarizações geram interações que melhoram o contraste das imagens, melhorando e aumentando a eficiência da interpretação visual (Dellepaine e Angiati, 2012).

O retroespalhamento em polarizações paralelas (HH ou VV) é mais forte que em polarizações cruzadas (HV ou VH) (Lewis *et al.*, 1998), já que devido às múltiplas interações, a potência do sinal que retorna para a antena é menor, logo as imagens HV apresentam uma aparência mais homogênea e “limpa” em relação às imagens HH.

Essa característica de penetração da banda L, pode ser confirmada pela diferença vegetacional identificada nas áreas de estudo. Enquanto que na área 03, no Mato Grosso, o dossel é mais aberto em diferentes estágios sucessionais, inclusive com formações pioneiras, a vegetação é caracterizada por um encontro diferentes características fitofisionômicas, tornando a resposta à penetração da banda L mais clara, e homogênea.

Por outro lado, na região das FLONAS (áreas 01 e 02), cuja fitofisionomia de floresta ombrófila, caracterizada pela presença de vegetação com altitudes que variam de 5 a 100 m (IBGE, 2012), além de cipos, bambus e palmeiras, o grau de penetração das ondas gera um padrão heterogêneo e de difícil interpretação visual. Além disso, a presença de epífitas nessa região é muito comum, tornando a resposta dos pulsos de energia mais difusa, considerando a quantidade de elementos vegetais com os quais as ondas interagem.

A correção radiométrica das imagens permitiu uma leve suavização visual dos ruídos (*speckle*) e os valores de números digitais que não eram interpretados, passaram a ser contabilizados em decibéis (dB). Os valores de dB para todas as imagens, em todas as áreas de estudo variaram entre -60 e +30dB para ambas as polarizações (Tabela 09). De maneira geral, os valores de reflectância para a área com dossel menos denso e com maior intensidade de extração seletiva (Fazenda 4 Ventos) foram menores, quando comparados às

demais áreas, onde o dossel é mais denso, e conseqüentemente os pulsos de radar sofrem maior interação e geram mais *speckle*.

Além das características intrínsecas às imagens, a forma dos objetos e alvos imageados também impacta e altera os valores de retroespalhamento. Entre elas, destacam-se a altura, orientação e forma de galhos e folhas, porcentagem de recobrimento do substrato (Novo e Costa, 2005). Os valores médios da polarização HV foram maiores que os valores observados para a polarização HH e isso se dá porque a interação dos alvos na superfície terrestre tem relação direta com a polarização incidente (Kuplich, 2003), logo, objetos com orientação vertical, possuem maior interação com a polarização vertical.

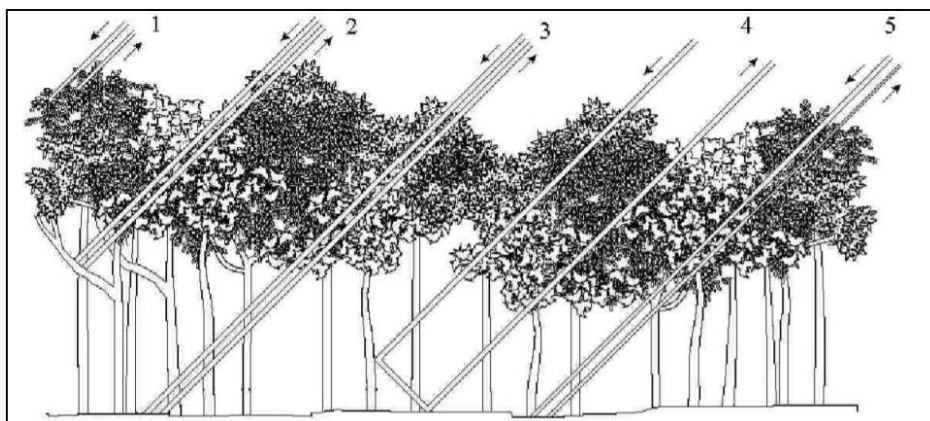
A angulação incidente também interfere na intensidade do retroespalhamento, onde menores ângulos geram maior retroespalhamento. Nas regiões de FLONAS a rugosidade da floresta também se faz mais presente, tornando o espalhamento difuso e gerando maiores valores de retroespalhamento.

Tabela 9: Valores de dB - polarização HH e HV para todos os anos e áreas estudadas

1	Nome do arquivo	Area	Data	Valor de SIGMA (dB)					
				HH			HV		
				MÉDIA	MAX	MIN	MÉDIA	MAX	MIN
1	188324	FAZENDA 4 VENTOS	16/06/2015	-10.7525	10.2981	-53.1728	-15.9920	13.4943	-51.0412
2	188329		14/06/2016	-11.4117	10.2285	-45.0475	-12.6384	9.4918	-57,4249
3	188331		13/06/2017	-10.8564	10.2898	-46.7417	-12.1719	13.4689	-497520
4	79276	FLONA JACUNDA	27/12/2014	-8.3200	17.3295	-62.0980	-	-	-
5	79272		12/03/2015	-5.6669	7.5973	-27.8739	-10.6979	1.6160	-34.9721
6	138717		06/09/2016	-6.0669	7.2261	-26.0719	-10.4979	1.5028	-30.5351
7	138708	FLONA DE JAMARI	09/03/2017	-4.9220	9.9301	-26.4118	-10.0417	2.4604	-32.4324
8	138716		06/09/2016	-8.1264	14.3105	-45.0206	-13.6497	12.3329	-55.4781
9	138712		24/01/2017	-7.7350	14.3037	-43.1522	-13.2300	14.0733	-49.7520

A floresta é representada nas imagens SAR como uma combinação das respostas baseadas nos diferentes mecanismos de espalhamento e características locais (Le Toan et al., 1992; Leckie e Ranson, 1998), como apresentados na Figura 31.

Figura 31: Mecanismos de retroespalhamento nas florestas onde: (1) retroespalhamento da superfície e interior do dossel, (2) retroespalhamento direto do tronco, (3) retroespalhamento direto do solo, (4) dupla reflexão tronco-solo e (5) retroespalhamento integrado copa-solo



Fonte: Adaptado de Leckie e Ranson (1998) em Kuplich, (2003).

Logo, imagens em polarização cruzada (HV ou VH) proporcionam uma melhor discriminação dos tipos florestais, pois a interação no dossel, troncos e galhos é um dos mecanismos que ocasiona a despolarização das microondas incidentes e geram um grande intervalo de valores de retroespalhamento, o que facilita a diferenciação dos alvos (Kuplich, 2003).

Na área da fazenda 4 Ventos, as feições e estruturas relacionadas à extração seletiva foram visualmente observadas nas imagens de polarização HV para todos os anos, especialmente para o ano de 2017 (Figura 32) em que as feições ficaram bem evidentes e permitem uma classificação visual de áreas e talhões com atividades de extração seletiva.

Para as áreas de concessão florestal, a resposta visual das polarizações não se mostrou eficiente na caracterização visual dos padrões de corte seletivo. Devido ao tipo de manejo empregado e a cobertura do dossel mais densa, as áreas de extração seletiva foram mais difíceis de detectar e não ficam visualmente evidentes em nenhuma das datas selecionadas (Figuras 33 e 34).

Figura 32: Resposta visual para cada polarização na área da Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso. As figuras (a), (b) e (c) representam a polarização HH para 2015, 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (d), (e) e (f) representam a polarização HV para 2015, 2016 e 2017, respectivamente.

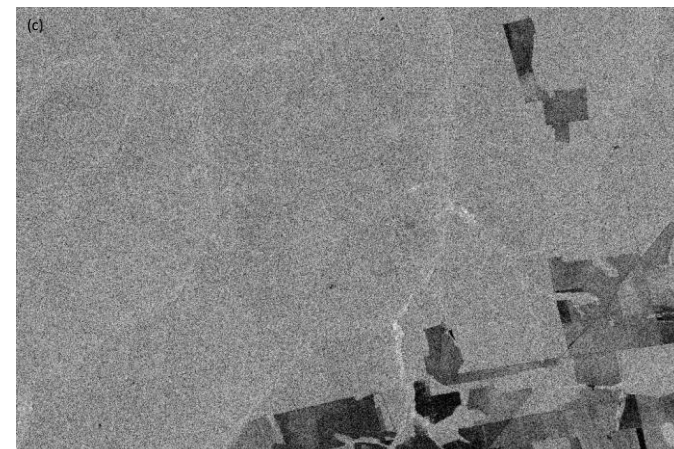
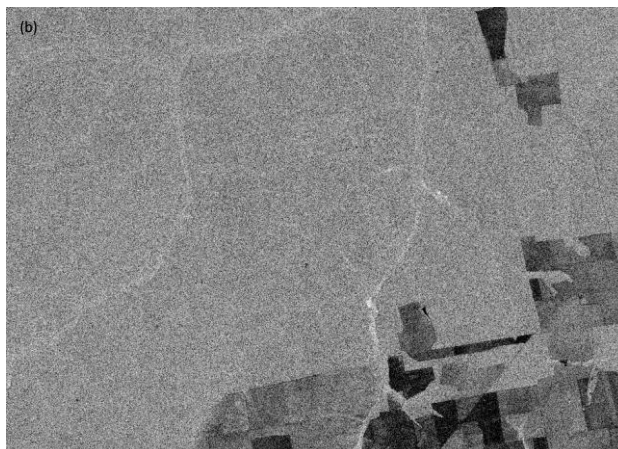


Figura 33: Resposta visual para cada polarização na área da UMF i – UPAS 02 e 03 da FLONA de Jacundá (RO). As figuras (a), (b) e (c) representam a polarização HH para 2015, 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (d), (e) e (f) representam a polarização HV para 2015, 2016 e 2017, respectivamente.

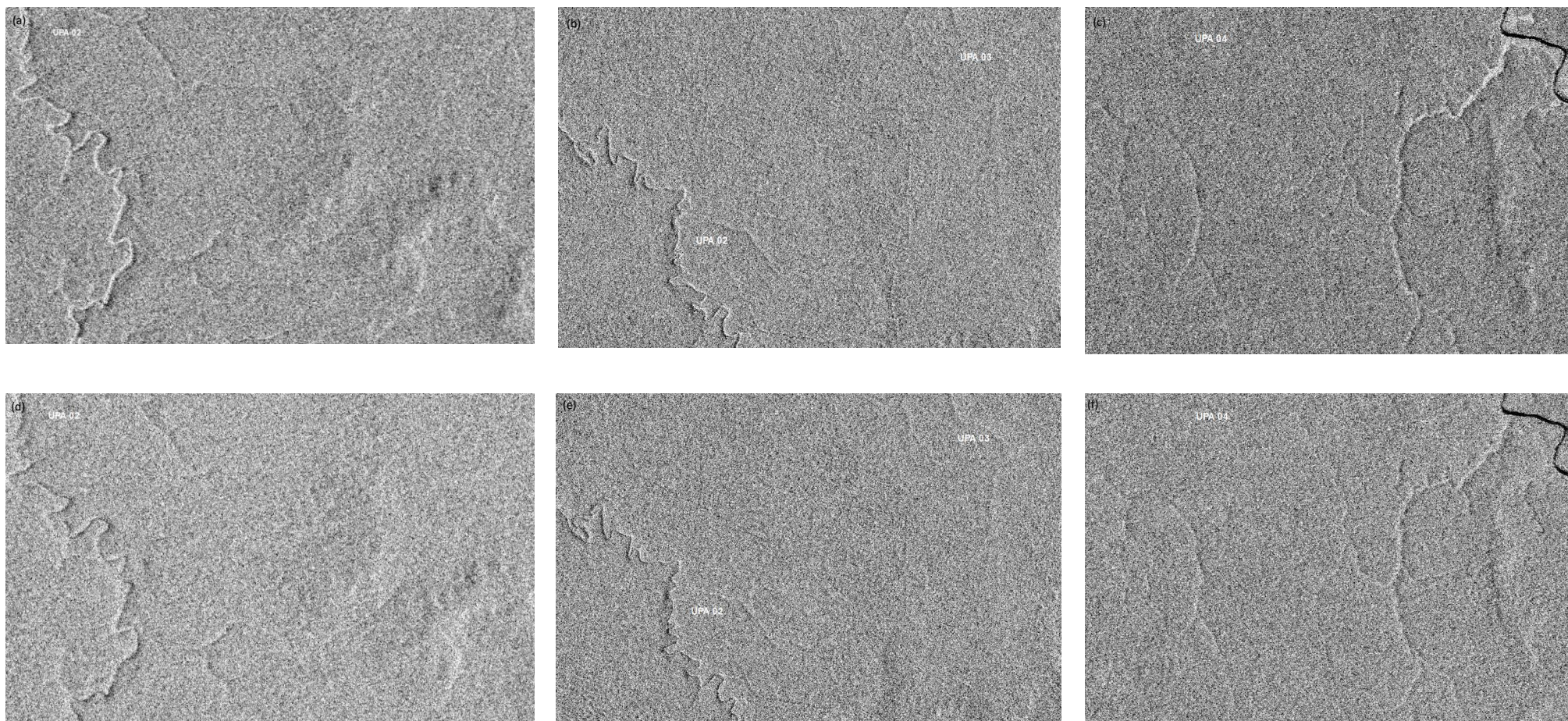
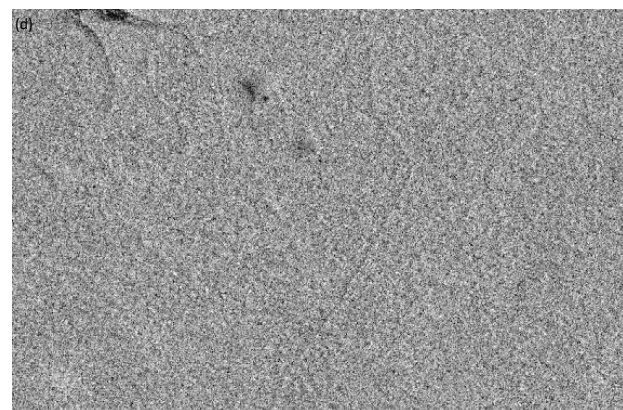
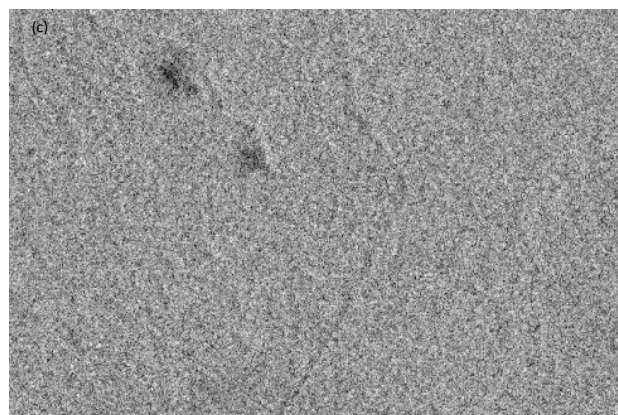
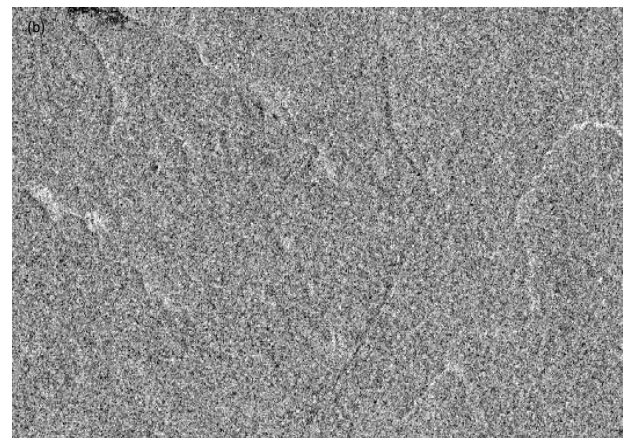
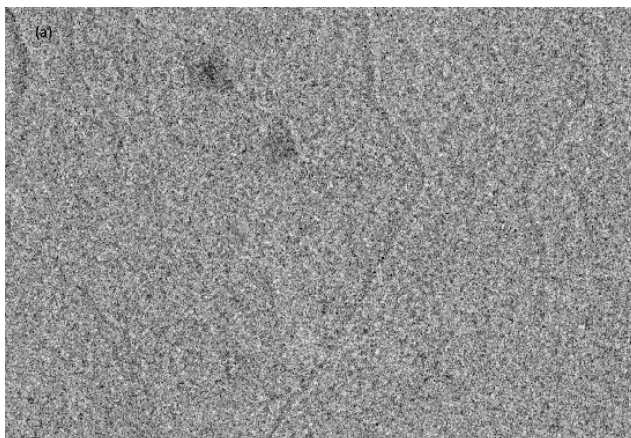
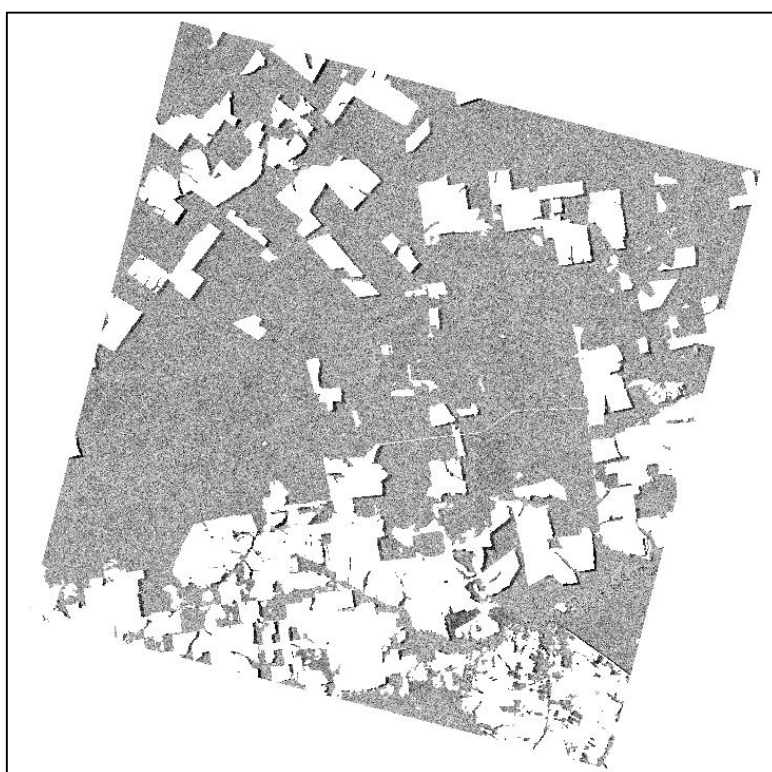


Figura 34: Resposta visual para cada polarização na área FLONA de Jamari (RO). As figuras (a) e (b) representam a polarização HH para 2016 e 2017, respectivamente. As figuras (c) e (d) representam a polarização HV para 2016 e 2017, respectivamente.



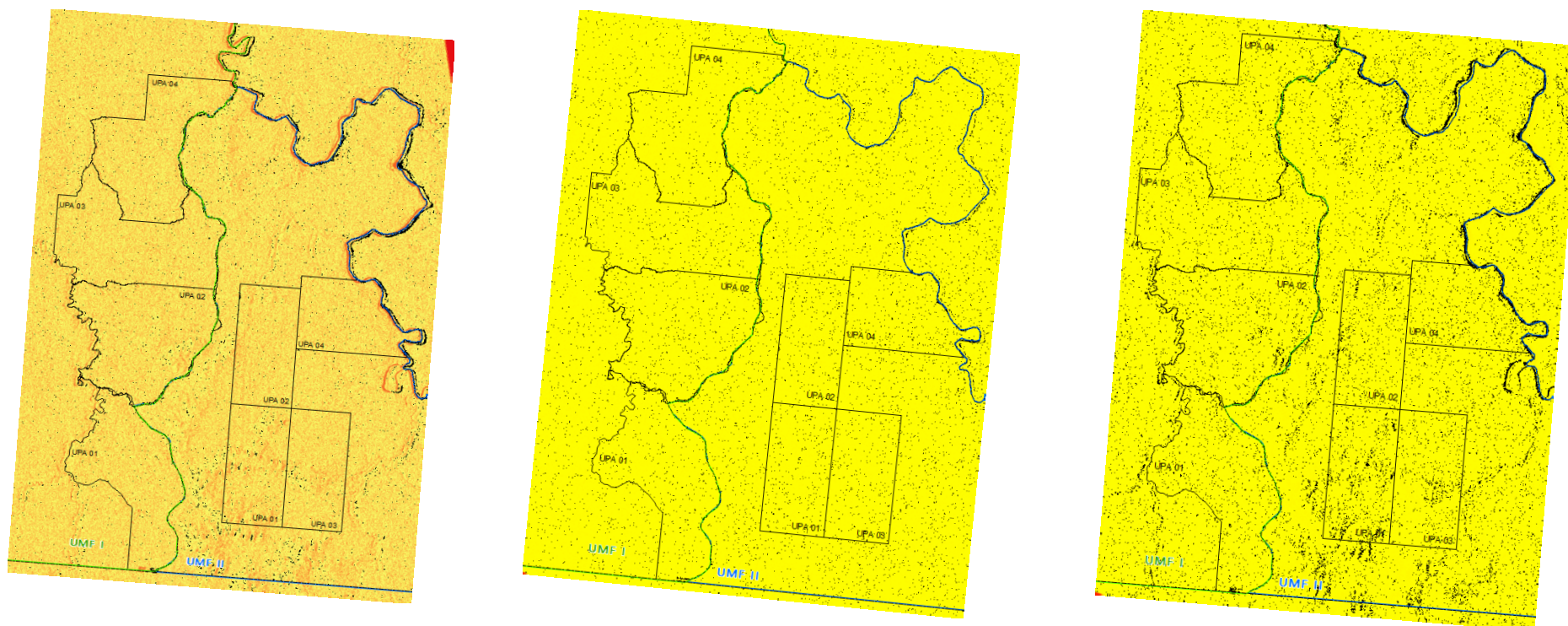
A máscara do PRODES para as imagens permitiu que a seleção dos parâmetros e atributos para classificação não fossem “contaminados” com os valores de pixel de áreas desmatadas ou relacionadas à outras superfícies durante o processo de classificação. Exemplos de uma cena na região da Fazenda utilizada com a máscara a partir dos dados do PRODES pode ser visualizada na Figura 35.

Figura 35: Cena na região da Fazenda 4 Ventos, no estado de Mato Grosso, para 2017, na polarização HV, após a máscara do PRODES.



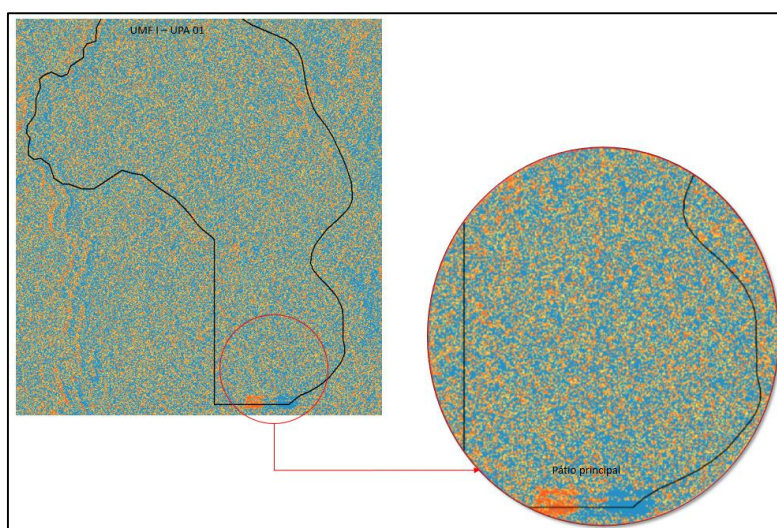
Na figura 36 é possível observar o resultado das diferenças entre todos os anos para a FLONA de Jacundá. Os valores mais baixos de pixel (áreas em teoria mais abertas), enquanto que os valores mais altos estão representados em variações do amarelo ao vermelho.

Figura 36: Resultado do processamento da diferença entre os anos de (a) 2017 e 2016; (b) 2017-2015 e (c) 2016-2015 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras.



As imagens diferença (polarização HV) entre os anos de 2017-2015 e 2016-2015 não contribuíram significativamente para análise visual e detecção de áreas de exploração na região das Flonas. Apenas alterações mais expressivas de supressão da vegetação (como um pátio principal de grande área) foi identificado (Figura 37) na imagem diferença entre 2017 e 2016

Figura 37: Detalhe do resultado do processamento da diferença entre os anos de 2017 e 2016 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras.



Entretanto, a imagem RGB diferença HH-HV apresentou melhores resultados na detecção dos impactos florestais em relação a identificação visual de feições associadas a exploração seletiva, como os pátios de estocagem. Apesar de não contribuir na detecção automática ou na identificação de áreas cuja biomassa é significativamente menor que outras áreas, permitiu observar a localização de áreas cujo dossel não é contínuo, ou seja, áreas com supressão/clareiras na vegetação (Figura 38).

O tipo florestal dessa região, mais denso e com muitos elementos dificultou as respostas espectrais. Santos et al., (2002) afirmaram que a estimativa de parâmetros biofísicos da cobertura vegetal é limitado pela frequência da banda L devido à baixa capacidade de penetração no dossel e pelo retroespalhamento causado por estruturas das árvores, como os galhos e tronco (Dobson, 2000), e seu maior potencial está em diferenciar tipos de cobertura florestal ou feições que apresentem diferenças estruturais evidentes

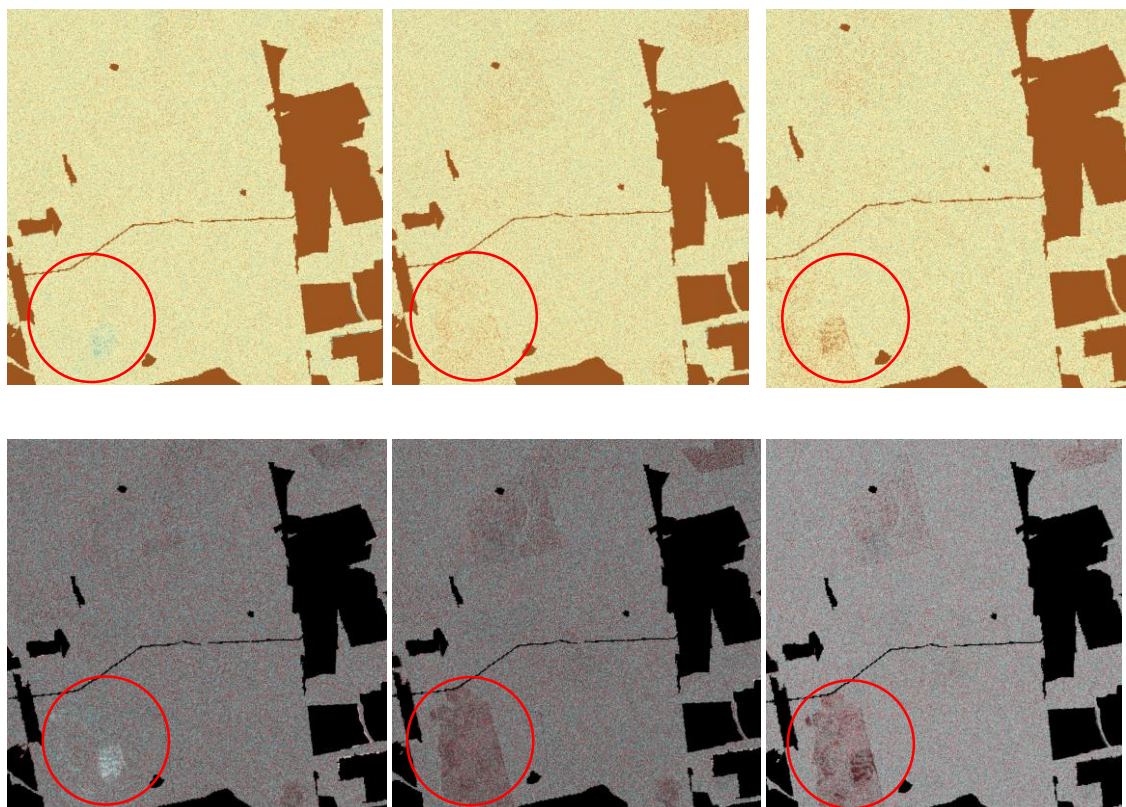
(Sartori *et al.*, 2009), logo, apenas áreas de grande impacto ou alteração foram claramente observadas e identificadas no mapeamento automático.

Figura 38: Detalhe do resultado do processamento da diferença entre os anos de 2016 e 2011 na FLONA de Jacundá para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras em uma imagem RGB.



Na região da Fazenda 4 ventos, as imagens apresentaram contrastes significativos de polígonos em relação à área de floresta explorada e não explorada especialmente na composição RGB. Na Figura 39 foi possível ver o resultado para as três imagens de diferença.

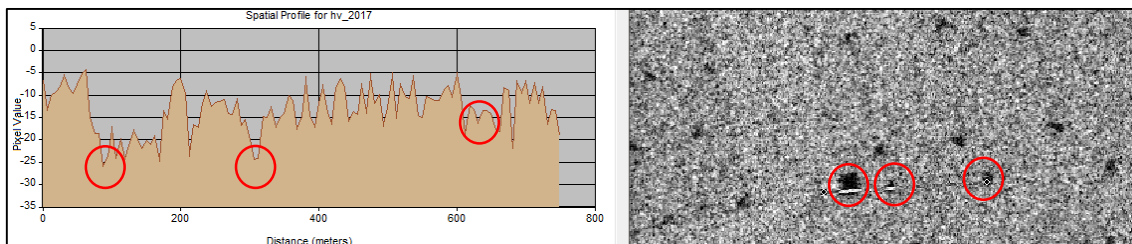
Figura 39: Resultado do processamento da diferença entre os anos de (a) 2017 e 2016; (b) 2017-2015 e (c) 2016-2015 na Fazenda 4 Ventos para realçar áreas sob exploração seletiva de madeiras e as imagens diferença considerando a diferença em RGB nos mesmo anos



A análise do histograma e da distribuição dos dados indicou possível distribuição normal dos dados, porém com deslocamentos em relação à média um teste de normalidade seria necessário. Com exceção das imagens HV-2016 na FLONA de Jamari e HV-2016 na Fazenda 4 Ventos, que apresentaram padrão diferenciado na imagem. Os histogramas de todas as imagens utilizadas estão apresentados no Apêndice 1.

Com base na análise do histograma e do perfil espacial dos dados, observou-se que os valores de pixel relacionados aos pátios seriam aqueles cujo retroespalhamento é mais baixo (Figura 40), apresentando baixa frequência da distribuição dos dados.

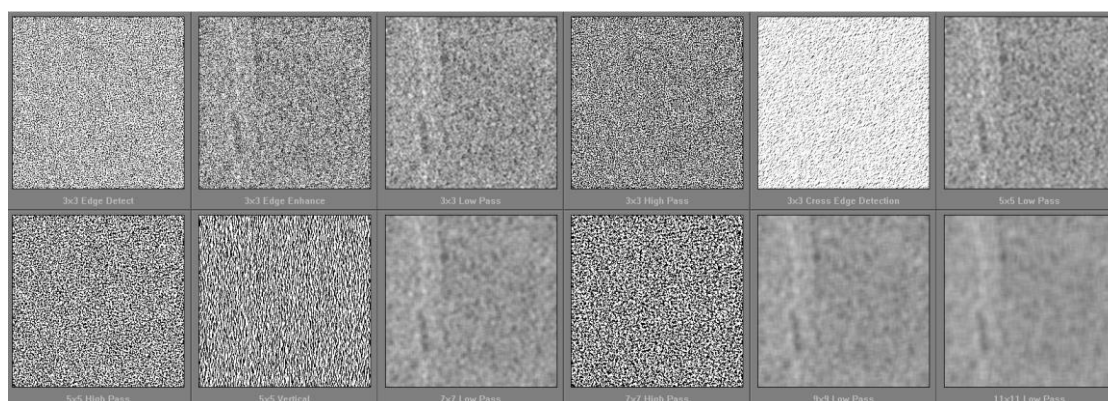
Figura 40: Exemplo de perfil espacial e espectral dos valores (dB) relacionados aos pátios em uma área de exploração de madeira na imagem ALOS PALSAR da Fazenda 4 Ventos



O comportamento espectral dos pátios as imagens ALOS-PALSAR indicou que os valores de pixel entre -15 e -30 dB representam a localização de pátios e estradas primárias na região da Fazenda 4 Ventos. Nas FLONAS, onde a interpretação visual dos dados é dificultada na imagem, os valores de pixel para o mapeamento de pátios e estradas foi estabelecido entre -18 e -25dB.

Os filtros texturais tem como objetivo reduzir o nível do ruído da imagem o realçar alguma informação específica. O *software* ERDAS possui grande variedade de filtros texturais e uma boa versatilidade na escolha do tamanho da janela de filtro. Antes de aplicar o filtro, foi verificada, a partir de amostras e interpretação visual se algum filtro dentro do sistema produziria um resultado diferente ou melhor do que o esperado com a utilização do filtro estabelecido (Figura 41).

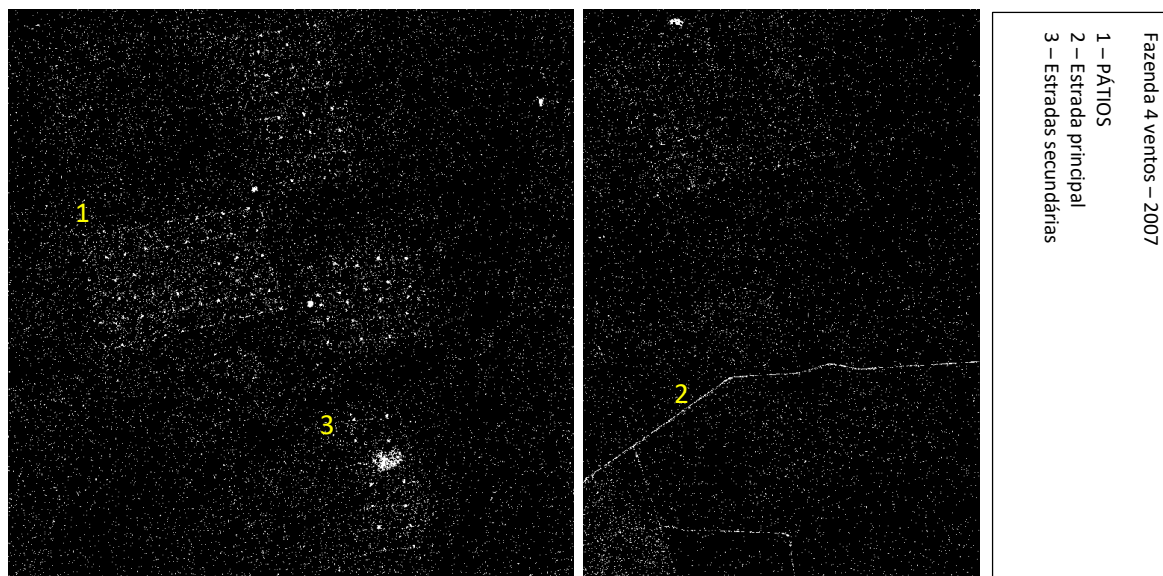
Figura 41: Amostragem visual do efeito de diferentes filtros texturais e tamanhos de janelas em uma cena ALOS PALSAR



O filtro de Lee, utilizado em conjunto com a seleção dos pixels que representam as classes de pátios e estradas, gerou uma classificação semi-automática das áreas sob processo de extração seletiva para a Fazenda 4

Ventos (Figura 42). Apesar da suavização e utilização de filtro para redução de *speckle*, a imagem classificada ainda apresentou muito ruído.

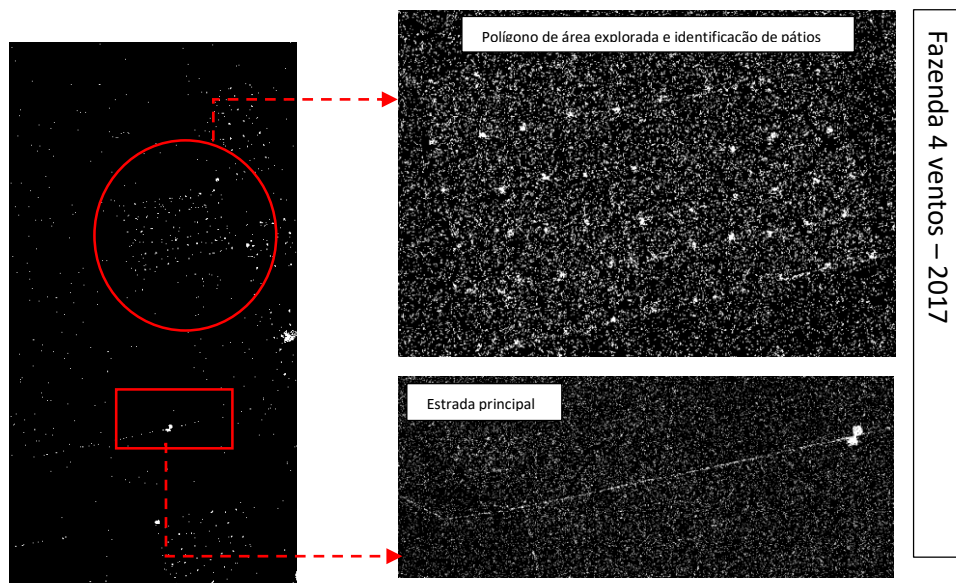
Figura 42: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a Fazenda 4 Ventos.



O método de mapeamento automático, a partir dos valores de sigma, se mostrou eficiente na identificação das feições desejadas (pátios e estradas). Entretanto apresentou muito ruído e confusão na imagem para a área de estudo na Fazenda 4 Ventos. Foi necessário realizar uma seleção de pixels por tamanho de área, considerando o tamanho médio dos pátios

Os pátios identificados se caracterizaram por pequenos polígonos com área aproximadamente de 0,354 ha (354m²) a 1,2 ha (1200m²). As estradas principais identificadas possuem largura variando entre 7 e 12m (Figura 43).

Figura 43: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a Fazenda 4 Ventos



Para as áreas das FLONAS o mapeamento das regiões de extração seletiva não se mostrou eficiente. A identificação de estradas e pátios se confundiu com a quantidade de ruídos presentes na imagem.

Na FLONA de Jacundá, o resultado do mapeamento foi inconclusivo quanto à presença de um padrão relacionado à infraestrutura associada à extração seletiva.

A presença de elementos vegetacionais muito densos da vegetação, impactou de forma bastante evidente na identificação de alterações e supressões sutis na floresta. O método de manejo, de baixo impacto na floresta está justamente associado à minimização da derrubada de árvores, por exemplo.

Como é possível observar na Figura 44 apenas o pátio principal na UPA 01 da UMF I foi claramente destacado no mapeamento automático assim como alguns poucos pátios foram reconhecidos ao longo das demais UPAS devido ao volume de ruído na imagem, ocasionado pela interação dos pulsos com a floresta mais densa. Entretanto, aglomerações de pixels com área semelhante a à área de um pátio de 500m² foram selecionadas como possíveis localizações de pátios. As estradas não foram destacadas na classificação em nenhum período.

O mapeamento da extração seletiva na FLONA de Jamari pode ser observado na Figura 45, com comportamento semelhante ao que foi encontrado para a FLONA de Jacundá e algumas observações importantes podem ser destacadas:

- (i) das UPAS de 01 a 09 com datas de corte entre 2011 e 2014 não produziram resultados significativos, corroborado o que foi afirmado por Stone e Lefebvre, 1998 e Asner et al., 2004b , de que essas áreas são detectadas em um período máximo de 1 ano após o corte, com poucos pátios destacados.
- (ii) a UPA 10 não produziu resultados significativos, considerando que sua data de início de atividades e corte (maio/2017) foi posterior ao período de aquisição da imagem (janeiro/2017)
- (iii) a UPA 11, com data de corte em 15 produziu a detecção de alguns pátios nas imagens de 2016 e 2017

Figura 44: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a FLONA de Jacundá

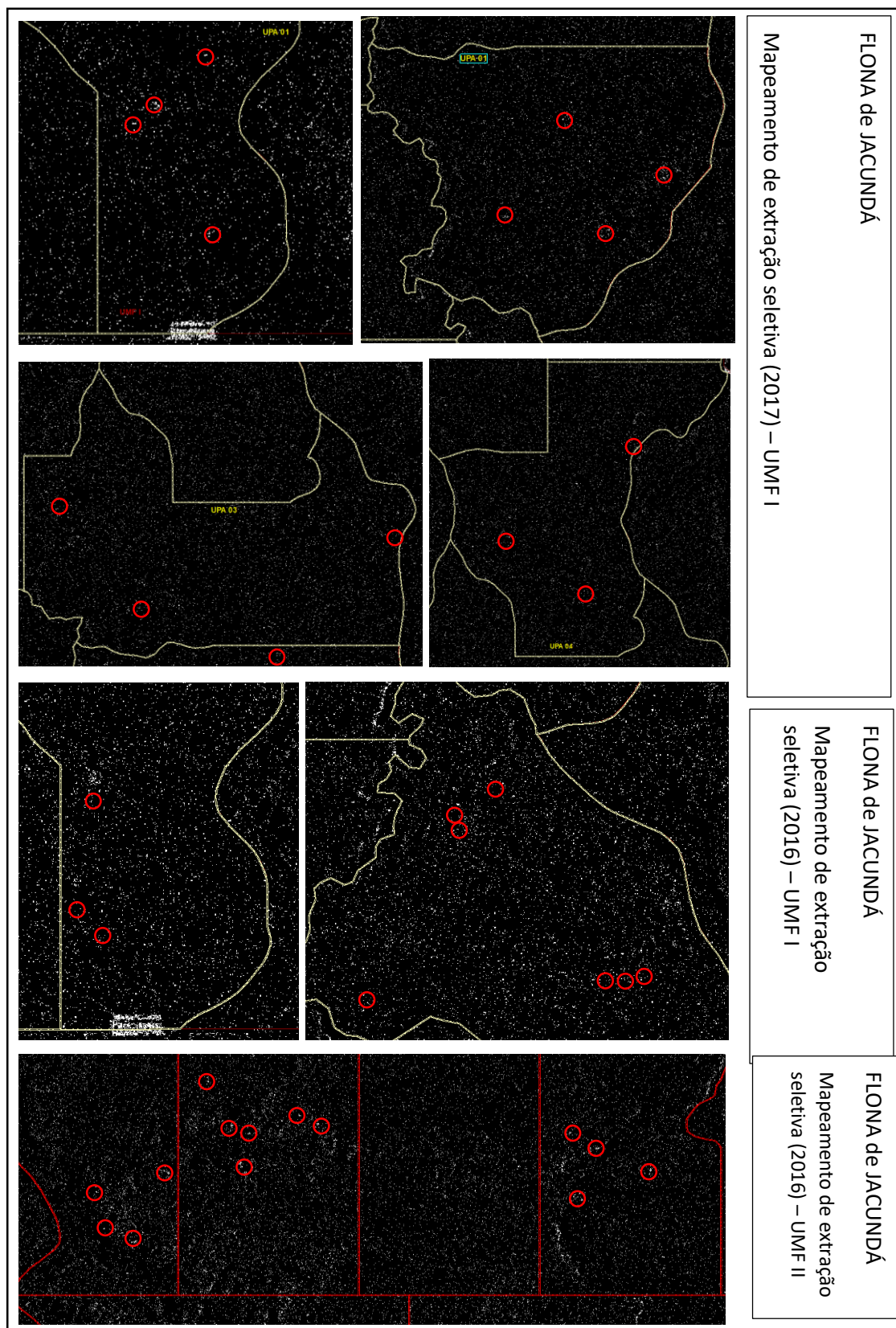
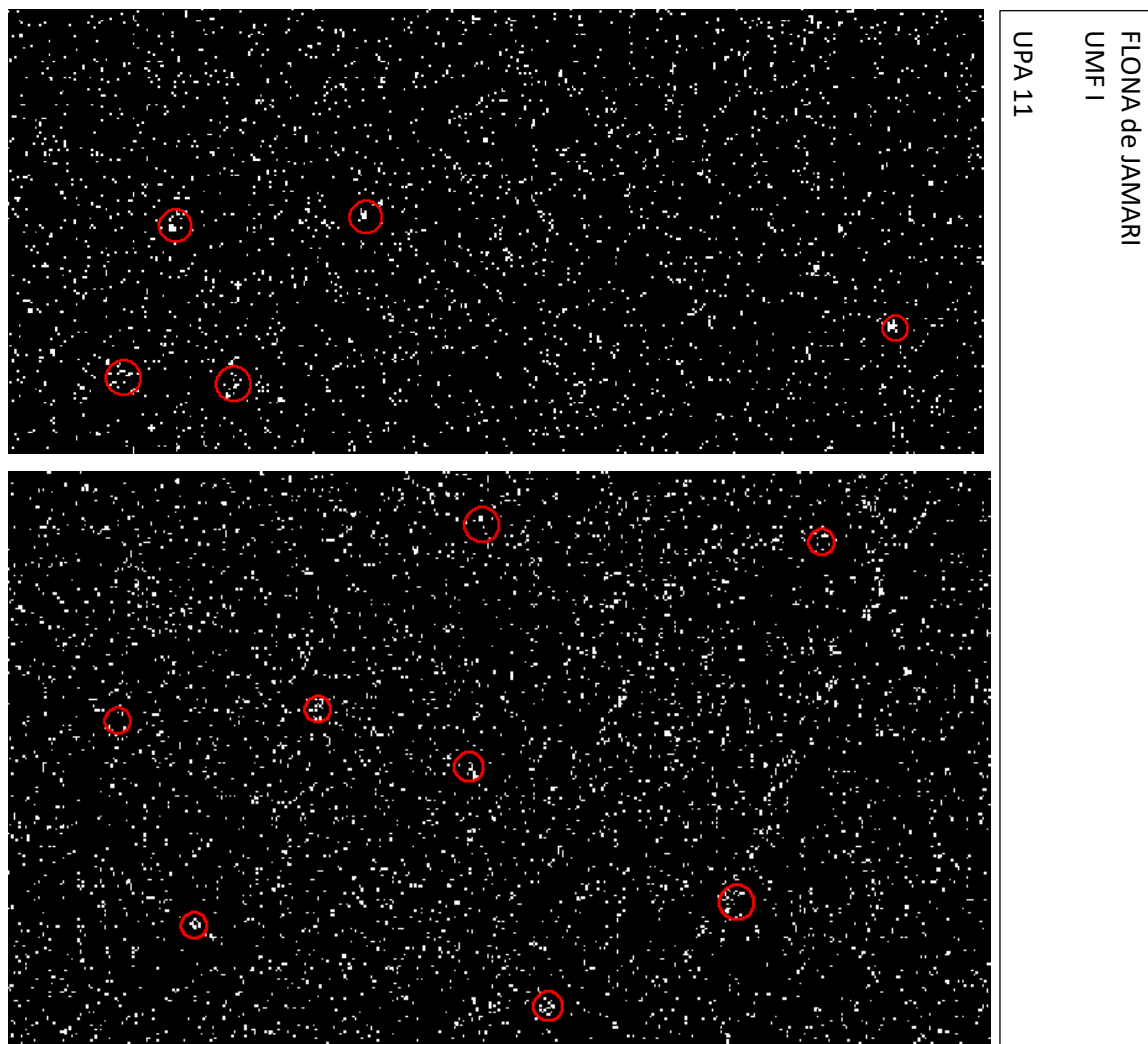
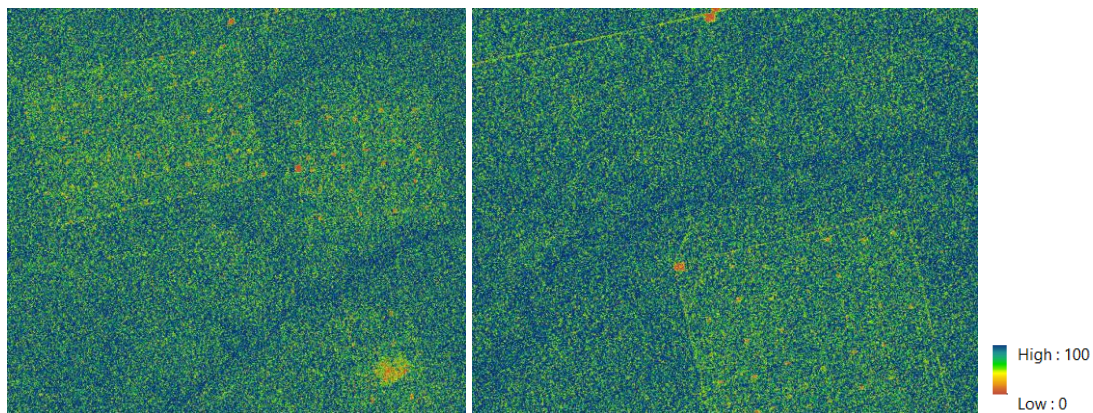


Figura 45: Resultado do mapeamento automático das áreas de extração seletiva a partir da identificação da infraestrutura de pátios e estradas para a FLONA de Jamari



Finalmente, o índice de Fração de Cobertura aplicado para as três áreas, indicou que a região da fazenda 4 ventos possui uma densidade de cobertura florestal com maior retirada de biomassa, menor nas áreas em que há extração seletiva, claramente com os talhões demarcados pelo índice (Figura 46).

Figura 46: Resultado do índice de Fração de Cobertura para a região da fazenda 4 Ventos no MT, com clara indicação dos polígonos cuja biomassa é menor devido a retirada de árvores onde, Alaranjado: solo exposto Azul: dossel completo

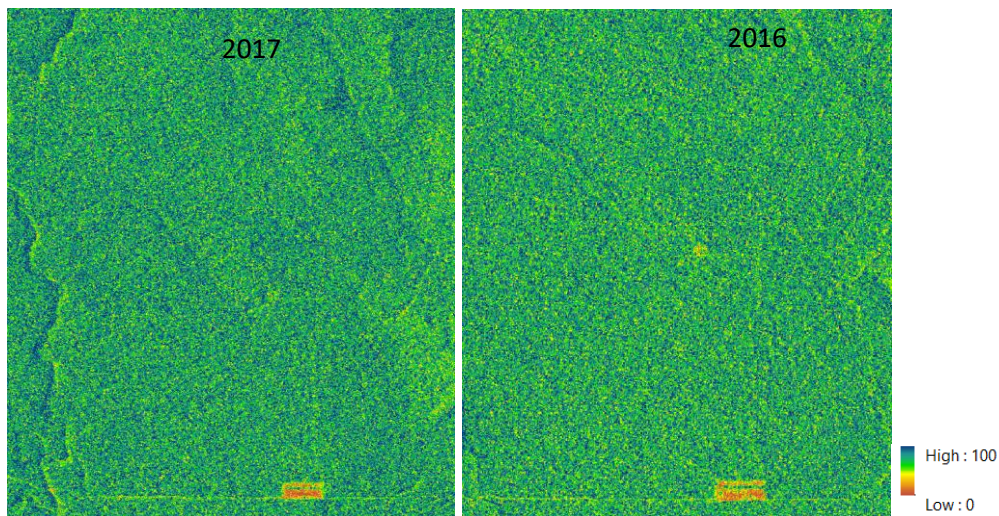


Um aspecto interessante do F_c é que ele gerou melhores resultados quando apenas a polarização HV foi considerada. Durante o processamento a imagem HH e seus valores de sigma influenciaram nos resultados do índice de forma negativa, subestimando as áreas com menor fração de cobertura.

Para a região das FLONAS o índice não apresentou performance semelhante, ou seja, não foram destacadas áreas ou padrões específicos de regiões cuja cobertura florestal tenha sido afetada de maneira significativa, devido a alterações na composição física e na biomassa da região. Isso se deve a característica heterogênea da floresta nessa região e a interação dos valores sigma com a floresta (Figura 47).

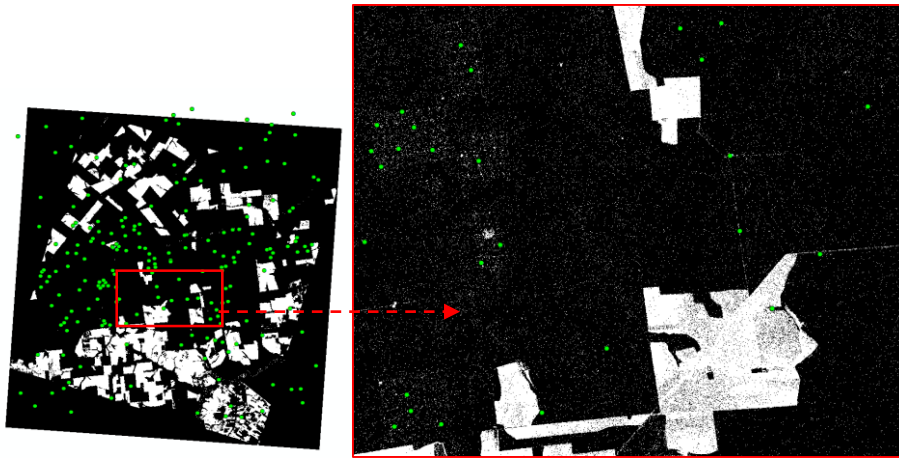
O índice de fração de cobertura está relacionado à índices de vegetação, que indicam e avaliou a presença de vegetação, além de índices associados à biomassa da floresta, área foliar, atividade fotossintética, produtividade entre outros. No caso da metodologia adotada, sem considerar como inputs, os resultados de índice de vegetação, a resposta do FC apesar de apresentar um resultado coerente com a presença/ausência de vegetação, não se mostrou eficiente em destacar áreas de atividade intensa de exploração e retirada de madeira em regiões cujo método de extração minimiza estes impactos, e especialmente que esteja associada à uma vegetação naturalmente densa.

Figura 47: Resultado do índice de Fração de Cobertura para a região Flona de Jacundá, com clara indicação dos polígonos cuja biomassa é menor devido a retirada de árvores onde, Alaranjado: solo exposto Azul: dossel completo



A verificação da acurácia do mapeamento foi possível a partir da aleatorização de pontos nas áreas de interesse e na utilização de dados de verdade de campo disponibilizados pelo SFB para as áreas sob concessão com as informações de localização e parâmetros vistoriados. Após todas os métodos de detecção produzirem áreas de pátios e estradas, foi identificada a necessidade de uma conversão de dados matriciais (pixels) para dados vetoriais, como uma melhor forma de seguir com a análise de acurácia, cujos 100 pontos aleatorizados para a análise de acurácia estão representados em um exemplo na Figura 48.

Figura 48: Exemplo de aleatorização de pontos em uma área de interesse para análise de acurácia



Entre os obstáculos para a difusão de dados de radar Kasischke et al. (1997) apontaram a dificuldade de interpretação destes dados, que registram a superfície terrestre de uma maneira diferente do que a vemos e a apresentam em diferentes tipos de produtos.

Na Figura 49 são apresentadas as matrizes de confusão e a análise de acurácia do mapeamento da extração seletiva para as três áreas de estudo. Os melhores resultados do mapeamento foram observado na área da Fazenda 4 Ventos, com uma acurácia global de 88%. Nesse sentido, deve-se considerar que é uma área com maior intensidade de extração e com pátios cobrindo maior área, além de estradas mais largas.

Além dos fatores associados às técnicas de manejo e exploração, a vegetação característica presente na região, considerada como floresta de transição, apresentou diversas fitofisionomias, com uma variedade de espécies, alturas de dossel e estágios de sucessão, e impactando consideravelmente na resposta espectral do sensor PALSAR. A menor densidade de vegetação, e a presença de indivíduos de menor altitude, associados às demais características contribuíram para uma detecção mais acurada da infraestrutura de exploração.

Figura 49: Resultado da análise de acurácia para as três áreas de estudo

FAZENDA 4 VENTOS - MT										
Mapeado		PÁTIO	ESTRADA	FLORESTA	OUTROS			TOTAL	ACURÁCIA DO USUÁRIO	
		PÁTIO	35	0	0	1			36	97%
		ESTRADA	0	11	0	0			11	100%
		FLORESTA	0	2	24	0			26	92%
		OUTROS	1	0	5	18			24	75%
	TOTAL	36	13	29	19			100		
	ACURÁCIA DO PRODUTOR		97%	85%	83%	95%				
	EXATIDÃO GLOBAL		88%							

FLORESTA NACIONAL DE JACUNDA - RO										
Mapeado	Observado (verdade de campo)									
		PÁTIO	ESTRADA	FLORESTA	OUTROS			TOTAL	ACURÁCIA DO USUÁRIO	
		PÁTIO	16	0	5	0			21	76%
		ESTRADA	0	1	7	0			8	13%
		FLORESTA	3	1	35	1			40	88%
	OUTROS	0	0	2	26			28	93%	
	TOTAL	19	2	49	27			100		
	ACURÁCIA DO PRODUTOR		84%	50%	71%	96%				
	EXATIDÃO GLOBAL		78%							

FLORESTA NACIONAL DE JAMARI - RO										
Mapeado	Observado (verdade de campo)									
		PÁTIO	ESTRADA	FLORESTA	OUTROS			TOTAL	ACURÁCIA DO USUÁRIO	
		PÁTIO	11	1	12	19			43	26%
		ESTRADA	1	0	0	0			1	0%
		FLORESTA	0	0	30	1			31	97%
	OUTROS	1	0	1	20			22	91%	
	TOTAL	13	1	43	40			100		
	ACURÁCIA DO PRODUTOR		85%	0%	70%	50%				
	EXATIDÃO GLOBAL		61%							

A eficiência do mapeamento, calculada pelo índice Kappa, indicou que para a região da Fazenda 4 Ventos, localizada no Mato Grosso o mapeamento foi excelente ($kappa = 0,87$), enquanto que para as regiões das FLONAS o índice indica uma eficiência boa ($kappa = 0,50$) para a FLONA de Jamari e boa ($kappa = 0,72$) para a FLONA de Jacundá.

5. CONCLUSÕES

A utilização de imagens do sensor ALOS- PALSAR, banda L, possui bom potencial para o monitoramento de atividades na floresta, com ou sem presença de nuvens, permitindo a obtenção de imagens em qualquer época do ano, devido a maior capacidade de penetração na atmosfera.

As imagens com polarização cruzada se mostraram mais eficientes e com um melhor potencial de detecção de distúrbios na floresta. Um fator limitante das imagens ALOS-PALSAR é a sua dificuldade maior em interpretá-las por conta da grande quantidade de ruídos, que torna o processamento e tratamento das imagens mais complexo.

A extração de informações a partir de imagens ALOS-PALSAR necessita ainda de técnicas específicas de análise e interpretação e de recursos (hardware e software) para processamentos computacionais mais complexos.

Outra dificuldade encontrada está relacionada ao tempo demandado para o processamento das imagens e ao tipo de processamento. Imagens de dupla – polarização não podem ser processadas quanto às características polarimétricas. A disponibilidade de dados de dupla–polarização é bem comum, ao contrário de imagens de polarização completa, que permitem análises com base em decomposição de aspectos polarimétricos para entender os fenômenos, ali representados, o que limita as possibilidades de análise.

Um fator que deve ser observado no uso de imagens ALOS-PALSAR para o monitoramento, está relacionado tipo de vegetação na região de exploração. A área de transição de vegetação possibilitou melhor identificação das áreas exploradas em comparação com as regiões de floresta ómbrofila.

A acurácia do mapeamento é dependente de vários fatores relacionados ao processamento das imagens, mas também às condições locais da área de estudo, que favorecem ou não o mapeamento.

Contribuições desta pesquisa:

Atualmente, as técnicas de detecção e mapeamento do corte seletivo são limitadas pela baixa resolução dos dados disponíveis bem como pela presença de nuvens em imagens ópticas.

Essa pesquisa gera contribuições relacionadas ao desenvolvimento de metodologias para sistema de monitoramento das concessões florestais, cujos resultados obtidos têm importância regional, dado que o manejo florestal, seja ele sustentável ou não, é uma prática que se estende por grande parte da região amazônica.

A utilização de dados de RADAR de dupla polarização permite a detecção de infraestrutura associada às atividades de extração seletiva especialmente, aquelas cuja intensidade da exploração é mais alta. Por outro lado, essa pesquisa possibilitou destacar os problemas e dificuldades no processamento de imagens, e suas limitações metodológicas, servindo de guia para futuras pesquisas.

Oportunidades de estudos futuros:

- Obter imagens de polarização completa para trabalhar em estatísticas de entropia, anisotropia e alfa a partir da decomposição polarimétrica, com o objetivo de melhorar a classificação e discriminação dos alvos
- Testar diferentes filtros de textura para avaliar a eficiência na redução do *speckle* na melhoria da acurácia de mapeamento e detecção de áreas seletivamente exploradas
- Analisar a influência da umidade na detecção de áreas de extração seletiva com base na constante dielétrica das áreas (análise de estações pluviométricas na região de estudo para verificar variações na precipitação e umidade local)
- Utilizar dados de biomassa e volume (m^3) explorado para relacionar às regiões e extração seletiva mapeadas a partir de um modelo de biomassa

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA-FILHO, R. et al. Using dual-polarized ALOS PALSAR data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazônia. *International Journal of Remote Sensing*, v. 30, n. 14, p. 3735–3743, 2009.

AMARAL, S.; VALERIANO, D. M.; SÁNCHEZ, G. A.; XIMENES, A. C.; SOUZA, A. F. Imagens ALOS/PALSAR Kyoto & Carbon no programa de monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais. São José dos Campos: INPE, 2008. p. 5065-5072. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15807-PRE/10417). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.22.26>>.

AMARAL, S.; SHIMABUKURO, YOSIO E. Sensoriamento Remoto Por Radar Sar: Pre-Processamento de Imagens RADARSAT ('fine Mode') NA Regiao DA Floresta Nacional do Tapajos. *Image Processing Techniques, First Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing: Proceedings of a conference held 2-4 December, 1996, Buenos Aires, Argentina*, p.37, 1997.

ANTROPOV, O. et al. Selective logging of tropical forests observed using L- and C-band SAR satellite data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, v. 2015–Novem, n. 1, p. 3870–3873, 2015.

ARAUJO, L. S.; SANTOS, J. R.; KEIL, M.; PARDI LACRUZ, M. S.; KRAMER, J. C. M. Razão entre bandas do SIR-C/ X SAR para estimativa de biomassa em áreas de contato floresta e cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR)., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1513-1520. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8220-PRE/4009). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.00>>.

ASF. ALASKA SATELLITE FACILITY. ASFMapReady 3.2.1. Disponível em: (<https://www.asf.alaska.edu/data-tools/mapready/Map Ready>)

ASNER, G. P. et al. Canopy Damage After Selective Logging in Amazonia: Field and Satellite Studies. *Ecological Applications*, 4, 2004. 280-298

ASNER, G. P. et al. Remote sensing of selective logging in Amazonia: Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. *Remote Sensing of Environment*, 80, 2002. 483-496

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M. SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, n. 310, p. 480–482, 2005.

ASNER, G.P., M.KELLER and J.N.M.SILVA. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps followuind selective logging in the eastern Amazon, *Global Change Biol.*, v10, 765-783 2004b

- BARRETO, P.C., SOUZA JR., R, NOGUERÓN, A., ANDERSON and R. SALOMÃO. Humam pressure on the Brazilian Amazon Forests, 84 pp. World Resources Institute, Washington, D.C. (2005)
- BOMFIM, S. L.; SOUZA, A. N.; RODRIGUEZ, L. C. E.; JOAQUIM, M. S.; MARTINS, I. S. Índice de clima econômico para concessões florestais. *Scientia Florestalis*. v. 44, n. 110, p. 331-342, 2016.
- BRASIL. Lei nº 11.284 de 2006 Institui a Lei Federal de Gestão de Florestas Públicas (LGFP)
- BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Legislativo, Brasília, DF, 3 março de 2006. Seção 1, p. 1.
- BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, 18 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 03 de junho de 2011.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; DE CARVALHO, A.P.F.; MENESES, P.R.; GUIMARÃES, R.F. Classificação e Eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise sequencial da transformação por fração de ruído mínima. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 20 (1), 2002.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MACIEL, L.M.M.; DE CARVALHO, A.P.F.; Guimarães, R.F.; Silva, C.R.; Gomes, R.A.T; Silva, N.C. Probability Density Components Analysis: A New Approach to Treatment and Classification on SAR Images. *Remote Sensing*, v. 6, p. 2989-3019, 2014. doi: 10.3390/rs6042989.
- CASSOL, H.L.G. Aplicação dos dados polarimétricos ALOS/PALSAR-2 para modelagem de biomassa em florestas secundárias da amazônia considerando o histórico de uso. Tese de Doutorado, São José dos Campos, INPE. 267P, 2017
- CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 3, p. 93–103, 2009.
- CLOUDE, S.R. The dual polarisation entropy alpha decomposition: A palsar case study. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Science and Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry*, Frascati, Italy, 22–26 January 2007.
- COSTA, O.B., MATRICARDI, E.A.T., PEDLOWSKI, M., COCHRANE, COUTO JUNIOR, A. F.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Uso de Radar de Abertura Sintética e Índices de Vegetação para Discriminação de Alvos no Bioma Cerrado. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE,

2011. p. 8075-8082. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW/39ULHGB>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39ULHGB>>.

COWLES, D. Biomass Decline in Amazonian Forest Fragments. *Science*, v. 282, n. 5394, p. 1611a–1611, 1998.

DELLEPIANE, S.G.; ANGIATI, E. A new method for cross-Normalization and multitemporal visualization of SAR Images for the detection of flooded areas. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, v. 50, p. 2765-2779, 2012. doi: 10.1109/TGRS.2011.2174999.

DOBSON, M. C. Forest information from Synthetic Aperture Radar. *Journal of Forestry*. São Paulo N.98, p.41-43, 2000

DYKSTRA, D.P. Reduced impact logging: concepts and issues. In: ENTERS, T., DURST, P.B., APLEGATE, G.B., KHO, P.C.S., MAN, G., International conference on the application of Reduced Impact Logging to Advance Sustainable Forest Management: constraints, challenges and opportunities, 2001, Kuching, Malaysia. FAO. p.526.

ENVI, 2004 SULSOFT. ENVI: Manual do Curso de Envi 4.6. Porto Alegre: SULSOFT, 2009.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.1. Redlands, CA: ESRI, 2012.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia dinâmica , impactos e controle. v. 36, n. 3, p. 395–400, 1997.

FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* ed. 35 vol 3 321-60p, 1997

FOLEY, J.A., ASNER, G.P., COSTA, M.H., COE, M.T., DEFRIES, R., GIBBS, FREITAS, D. M.; SOUZA, R. A. Utilização de imagens ALOS/PALSAR na discriminação de alvos em Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8137-8145. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW/3A5DJNH>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A5DJNH>>.

FURTADO, L.F.A.; SILVA, T.S.F.; NOVO, E.M.L.M. Dual-season and full-polarimetric C band SAR assessment for vegetation mapping in the Amazon várzea wetlands. *Remote Sensing of Environment*, v. 174, p. 212-222, 2016. doi: 10.1016/j.rse.2015.12.013.

GIBBS, H. et al. Amazonia revealed : forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin Amazonia revealed : forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 5, n. 1, p. 25–32, 2007.

GOMES, L.; GELLI, G.; CARVALHO, M. J.; FORTES, L. P. S.; PITALUGA NETO, J.; COELHO, A. L.; OLIVEIRA, L. F.; LA BELLE-HAMER, N. Mapeando a Amazônia com o satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6759-6761. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsGr@80/2006/11.16.02.26>>.

GUO, R.; LIU, Y.-B.; WU, Y.-H.; ZHANG, S.-X.; XING, M.-D.; HE, W. Applying h/α decomposition to compact polarimetric SAR. IET Radar, Sonar Navig. 2012, 6, 61–70

HOWARD H.K, OLSON, E.A.,PATZ. S, RAMANKUTTY, J.,SNYDER N., P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. 5: 25-32 p. 2007.Globe SAR program CCRS, (2001)

HESS, L.L.; MELACK, J.M.; AFFONSO, A.G.; BARBOSA, C.; GASTIL-BUHL, M.; NOVO, E.M.L.M. Wetlands of the Lowland Amazon Basin: Extent, Vegetative Cover, and Dual-season Inundated Area as Mapped with JERS-1 Synthetic Aperture Radar. Wetlands, v. 35, p. 745-756, 2015. doi: 10.1007/s13157-015-0666-y.

HUYNEN, J.R. Phenomenological Theory of Radar Targets. Ph.D. Dissertation, Tech. Univ. Delft, Delft, The Netherlands, 1970.

IBAMA. Norma de Execução Nº 1, de 24 de abril de 2007 - Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2ª ed. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

ICMbio. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Volume I - Diagnóstico, Brasília, p. 158, 2005.

INPE. Manuais. Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>>.

INPE. Projeto DETEX - Detecção de Exploração Seletiva. Disponível em: <www.obt.inpe.br/detex>.

INPE. Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. PRODES, 2013a. Disponível em: <www.obt.inpe.br/prodes/index.php>.

JAXA. ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 CEOS SAR Product Format Description. Disponível em: Satellites and Spacecraft: Advanced Land Observing Satellite-2 “DAICHI-2” (ALOS-2).
<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>

JAXA. Especificações técnicas produzidas pela JAXA, 2017. Disponíveis em https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/calval/calval_index.htm),

JAXA. PALSAR Interpretation guide Global forest observations initiative, v1.1, oct., 2016

JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP, 2009.

JI, K.; WU, Y. Scattering mechanism extraction by a modified Cloude-Pottier decomposition for dual polarization SAR. *Remote Sensing*. V.7, 7447-7470p, 2015

KASISCHKE, E.S.; MELACK, J.M.; DOBSON, M.C. The use of Imaging Radar for Ecological applications – A review. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, p. 141-156, 1997.

KUPLICH, Tatiana. Estudos florestais com imagens de radar. *Espaço & Geografia*, vol.6 N.1, p.65-90, 2003.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L., LOVEJOY, T. E. Forest loss and fragmentation in the Amazon: implications for wildlife conservation. *Oryx*, v. 34, n. 1, p. 39-45, 2000

LE TOAN, T.; BEAUDOIN, A.; GUYON, D. Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 30, n. 2, p. 403-411, 1992.

LEE, J. S.; POTTIER, E. Polarimetric radar imaging: from basics to applications. EUA, Taylor & Francis Group, 398 p, 2009.

LENTINI, M. W.; ZEWEED, J. C.; HOLMES, T. P. Measuring Ecological Impacts from Logging in Natural Forests of the Eastern Amazônia as a Tool to Assess Forest Degradation. *Forest Resources Assessment Working Paper 165*, Rome, Italy, 2009.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. A Expansão Madeireira na Amazônia. *O Estado da Amazonia*, n. Tabela 1, p. 4, 2005.

LEWIS, A. J.; HENDERSON, P. M.; HOLCOMB, D. W. 1998. Radar fundamentals. The geoscience perspective. In: LEWIS, A. J.; HENDERSON, F. M. *Manual of Remote Sensing. Principles and Applications of Imaging Radar*. 3a ed. Nova Iorque: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 866 p.1998.

LOCKS, C. J.; AMARAL, L. G. DE C. Análise multitemporal de dados LiDAR para avaliação da recuperação no sub-bosque florestal em concessões florestais. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, n. April, p. 1494–1501, 2015.

LOCKS, C.J. Aplicações da tecnologia LiDAR no monitoramento da exploração madeireira em áreas de concessão florestal. *Dissertação de Mestrado em*

Ciências Florestais. PPGEFL.DM-288/2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 97p, 2017

MANTO TELECON, 2017. Disponível em http://mantto-telecom.com/blog_post20170722_05_eelectromagnetico.html

MARQUES, J.B. uso de série temporal de imagens palar-2/alos 2 para Classificação de uso e cobertura do solo e detecção de áreas úmidas na região da ilha do bananal, trecho médio do Rio Araguaia. dissertação de mestrado, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 2017

MATRICARDI, E. A. T. et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, v. 114, n. 5, p. 1117–1129, 2010.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Monitoring selective logging in tropical evergreen forests using Landsat: multitemporal regional analyses in Mato Grosso, Brazil. Earth Interactions, 9, n. 24, p1-24. 2005.

MATRICARDI, E. A. T. Spatiotemporal dynamics of forest degradation by selective logging and forest Fire in the Brazilian amazon. Dissertation. Michigan State University. 269 p., 2007.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; CHOMENTOWSKI, W, COCHRANE, M.A, Multitemporal detections of selective logging in the Amazon using remote sensing. Esat Lansing: Michigan State University, BRSRSI, 2001.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. International Journal of Remote Sensing, v.34, n.4, p.1057–1086, 2013.

MESQUITA Jr, H. N., BITTENCOURT, M. D. Identificação de florestas estacionais semidecíduais contíguas a fragmentos de cerrado no Estado de São Paulo com imagens JERS-1/SAR. In XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte: INPE, p. 2233-2239, 2003

MESQUITA JUNIOR, H. N. Lições Aprendidas no Uso do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográficas para a Gestão Pública das Florestas Brasileiras Humberto Navarro de Mesquita Júnior. 2003.

MESQUITA, H. N. M. et al. ALOS PALSAR to Complement an Operational Amazonian Deforestation Monitoring Systems. Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n. August 2007, p. 7339–7346, 2009.

MMA. Instrução Normativa Nº 5, de 11 de dezembro de 2006 – Procedimentos Técnicos para elaboração, apresentação, execução e análise de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. Página 155. Diário Oficial da União – Seção 1, 2006

MOTOHKA, T, O. ISOGUCHI, M. SAKASHITA, and M. SHIMADA, "ALOS-2 PALSAR-2 Cal/Val Updates", JAXA/EORC Joint PI Meeting of Global Environment Observation Mission FY2017, Jan. 24, 2018.

NEPOMUCENO, A.M. Uso de rede neural artificial não-supervisionada na classificação na banda p para mapeamento de cobertura da terra em floresta tropical. Dissertação de mestrado. São José dos Campos. INPE, 107p, 2003

NEPSTAD et al, 1999 - NEPSTAD, D. C.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, n. 398: p. 505–508. 1999.

NEPSTAD, D. C. et al. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, n. 1498, p. 1737–1746, 2008.

NOVO, E. M. L. M.; COSTA, M. P. F. Fundamentos e aplicações de radar no estudo de áreas alagáveis. Capítulo do Livro: Oceanografia por satélites. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

OKADA, Y.; HAMASAKI, T.; TSUJI, M.; IWAMOTO, M.; HARIU, K.; KANKAKU, Y.; SUZUKI, S.; OSAWA, Y. Hardware performance of L-Band SAR system onboard ALOS-2. *IEEE*, p. 894-897, 2011. doi: 978-1-4577-1005-6/11.

Paradella, W.R. Imagens de Radar: Fundamentação e Experiências com o SAR na Amazônia. *FATOR G/5*, 14 (Jun/Jul): 40-43. 1996

PINAGÉ, E. R.; APARECIDO, E.; MATRICARDI, T. Detecção da Infraestrutura para Exploração Florestal em Rondônia Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto Detection of Logging Infrastructure in the State of Rondônia Using Remotely Sensed Data. v. 22, n. 3, p. 377–390, 2015.

PINHEIRO, T.F- Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da amazônia. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Dalton de Morisson Valeriano, aprovada em 17 de dezembro de 2015.

PUTZ, F.E.,BLATE, G.M.,REDFORD, K.H.,FIMBEL, R.,ROBINSON, J. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology*, v. 15, n. 1, p. 7-20, 2001.RIBEIRO, 1997

RATTER, J.; J.F.RIBEIRO; S.BRIDGWATER. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1997.

READ, J.M. Spatial analyses of logging impacts in Amazonia using remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v. 69, p. 275–282, 2003.

RIGNOT, E.; SALAS, W. A.; SKOLE, D. L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and thematic mapper data. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 2, p. 167-179, 1977.

SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; PODEST, E.; HOLT, J. Mapping land cover types in the Amazon Basin using 1 km JERS-1 mosaic. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 6, p. 1201-1234, 2000

Santos, J. R. (2002). O desenvolvimento de pesquisas com dados LIDAR e de microondas (bandas X, L e P) em estudos florestais. In V Seminário de atualização de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à Engenharia Florestal. (A. A. Disperati, and J. R. Santos, Eds.), Curitiba, p. 47-53.

SARTORI, L., NOBUHIRO, R.N; MOURA, J.C., TACHIBANA, V.M., Atributos polarimétricos de imagem radar na inferência de parâmetros morfológicos de macrofitas Bol. Cienc. Geod.. sec. Artigos, Curitiba v.18n 1, p138-153, jan-mar-2009

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Cadastro Nacional de Florestas Públicas CNFP-2015. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/informacoes-florestais/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/cadastro-nacional-de-florestas-publicas>.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Gestão de Florestas Públicas - Relatório 2016. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/noticias-do-sfb/relatorio-apresenta-conquistas-na-gestao-das-florestas-publicas>. Brasília: MMA/SFB. 75p. 2016

SHIMABUKURO, Y. E., ALMEIDA FILHO, R. (2002). Processamento digital de imagens multitemporais Landsat-5 TM e JERS-1 SAR aplicado ao mapeamento e monitoramento de áreas de alteração antrópica na Amazônia. *Geografia*. n.27, p.81- 96

SHIMADA, M.; ISOGUCHI, O.; TADONO, T.; ISONO, K. PALSAR radiometric and geometric calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 47, p. 3915-3932, 2009

SILVA, E.J.V. Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental. 171p. Tese (Doutorado) (Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo – São Carlos, 2004.

SOUZA e BARRETO, 2000 SOUZA JÚNIOR, C.; BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 21, n. 1, 2000. 173-179.

SOUZA JÚNIOR, C. et al. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 87, 2003. 494-506

- SOUZA JÚNIOR, C. M. Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6987-6994. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.17.38>>.
- SOUZA, C. M. et al. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian amazon. *Remote Sensing*, v. 5, n. 11, p. 5493–5513, 2013.
- SOUZA, C.; BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 1, p. 173–179, 2000.
- STONE, T. A.; LEFEBVRE, P. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Pará, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 19, n. 13, 2517-2526. 1998.
- TOUZI, R.; CHARBONNEAU, F. Characterization of target symmetric scattering using polarimetric sars. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2002, 40, 2507–2516
- UHL, C. et al. Natural Resource Management in the Brazilian Amazon. *BioScience*, 47, n. 3, 1997. 160-168.
- UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon - a case study from the Paragominas Region of the State of Pará. *Biotropica*, 21, n. 2, 1989. 98-106.
- ULANDER, L.M.H., 1996. Radiometric slope correction of synthetic-aperture radar images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(5): 1115 – 1122, 1996
- URBAZAEV, M.; THIEL, C.; MATHIEU, R.; NAIDOO, L.; LEVICK, S.R.; SMIT, I.P.J.; ASNER, G.P.; SCMULLIUS, C. Assessment of the mapping of fractional woody cover in southern African savannas using multi-temporal and polarimetric ALOS PALSAR L-band images. *Remote Sensing of Environment*, v. 166, p. 138-153, doi: 10.1016/j.rse.2015.06.013, 2015.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*, v. 32, p. 300-309, 2012
- VAN DER SANDEN, J. J., HOEKMAN, D. H. (1999). Potential of airborne radar to support the assessment of land cover in a tropical rain forest environment. *Remote Sensing of Environment*. n.68, p.26-40.
- VERÍSSIMO, A. et al. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. *Forest Ecology and Management*, v. 72, n. 1, p. 39–60, 1995.

WATRIN, O. S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no Município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/Landsat. Boletim de Pesquisa (EMBRAPA/CPATU), Belém,. 40p. 1992

XAVIER, E. A.; FREITAS, C. R.; SOUZA, R. A. Análise de corte seletivo na Amazônia Legal em imagens ALOS PALSAR a partir de verificação por modelo de mistura espectral em imagem CBERS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7521-7527. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. IBI: <3ERPFQRTBW/348NQQN>. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTBW/348NQQN>>.

YAMAGUCHI, Y.; SATO, A.; BOERNER, W.-M.; SATO, R.; YAMADA, H. Four-component scattering power decomposition with rotation of coherency matrix. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2011, 49, 2251–2258.
Yanasse, C. C. F., Sant'Anna, S. J. S., Frery, A., Rennó, C. D., Soares, J. V., Luckman, A. (1997). Exploratory study of the relationship between tropical forest regeneration stages and SIR-C L- and C-data. Remote Sensing of Environment. n.59, p.180-190

ZHANG, H. ; LIN, H. ; LI, Y. ; ZHANG, Y. ; FANG, C. Mapping urban impervious surface with dual polarimetric SAR data: An improved method. Landscape and Urban Planning, v. 151, p. 55- 63, 2016. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.03.009.

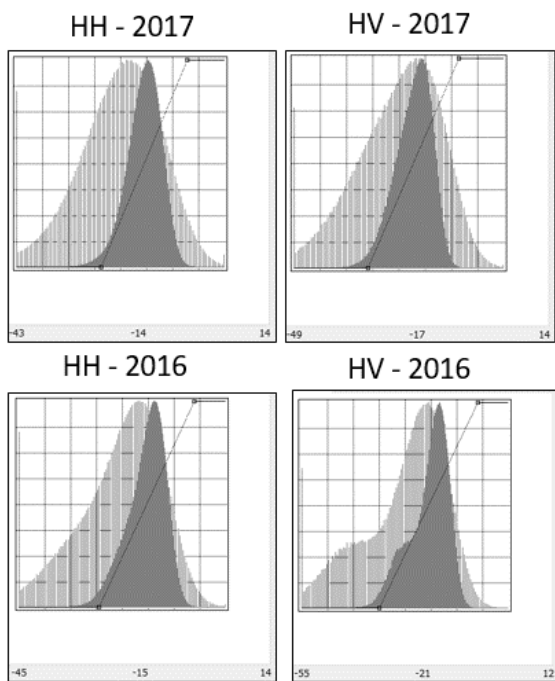
ZHANG, H.; XIE, L.; WANG, C.; WU, F.; ZHANG, B. Investigation of the capability of h- α decomposition of compact polarimetric SAR. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2014, 11, 868–872

ZHAO, L.; YANG, J.; LI, P.; ZHANG, L. Seasonal inundation monitoring and vegetation pattern mapping of the Erguna floodplain by means of a RADARSAT-2 fully polarimetric times series. Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 426-440, 2014. doi: 10.1016/j.rse.2014.06.026.

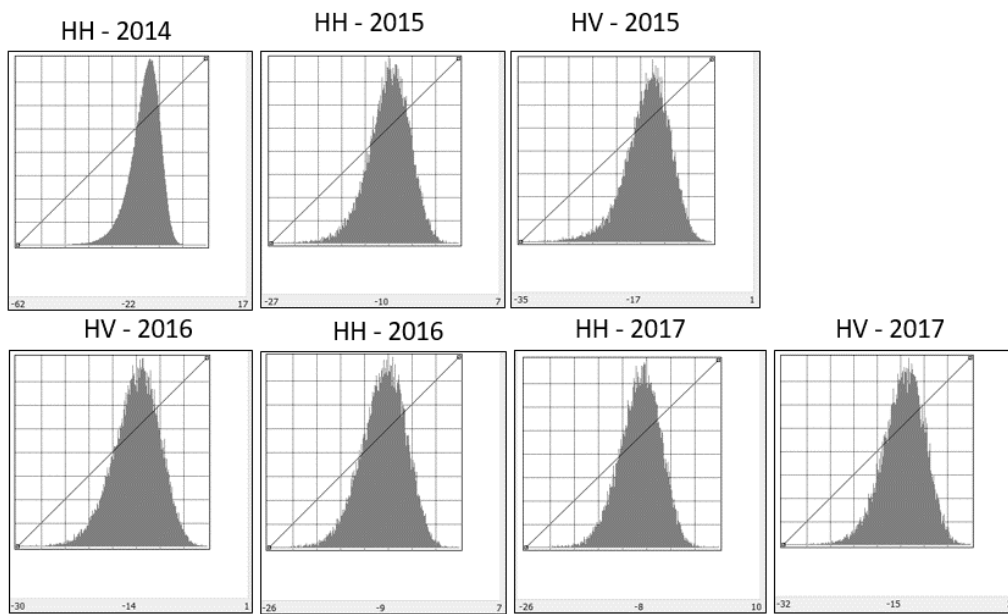
APENDICE 1

Histogramas das cenas utilizadas no estudo

FLONA DE JAMARI – distribuição dos valores de sigma (dB)



FLONA DE JACUNDÁ – distribuição dos valores de sigma (dB)



Fazenda 4 ventos – distribuição dos valores de sigma (dB)

