



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Classificação Semi-Automatizada da Cobertura da Terra na  
Amazônia por Meio de Imagens Multitemporais ALOS/PALSAR**

Eivaldo Lima de Souza  
Dissertação de Mestrado

Orientador: Jean-Michel Martinez  
Co-orientador: Paulo Roberto Meneses

Brasília – DF  
Junho/2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Classificação Semi-Automatizada da Cobertura da Terra na  
Amazônia por Meio de Imagens Multitemporais ALOS/PALSAR**

Edivaldo Lima de Souza

Orientador: Jean-Michel Martinez

Co-orientador: Paulo Roberto Meneses

Brasília – DF

Junho/2011

Souza, Edivaldo Lima de

Classificação Semi-Automatizada da Cobertura da Terra na Amazônia por Meio de Imagens Multitemporais ALOS/PALSAR, 2011.80 p. : il.

Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília.

Desmatamento. 2.Sensoriamento Remoto. 3.Imagens SAR. 4. Análise Multitemporal. 4.Mapeamento

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e 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 a autorização por escrito do autor.

---

Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Instituto de Geociências

Classificação semi-automatizada da Cobertura da Terra na Amazônia por meio de imagens Multitemporais ALOS/PALSAR.

Edivaldo Lima de Souza

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geociências Aplicada, área de concentração em Geoprocessamento e Análise Ambiental, opção Acadêmica.

Aprovado por:

---

Jean-Michel Martinez (Professor Pesquisador do IG-UnB)  
(Orientador)

---

Edson Eyji Sano  
(Examinador – IBAMA – DF)

---

Tati de Almeida  
(Examinador – UnB – DF)

---

Paulo Roberto Meneses  
(Suplente – UnB – DF)

Brasília – DF  
Junho/2011

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a toda minha família que de alguma forma contribuiu para o bom andamento deste estudo. De modo especial, à minha esposa, que me incentivou e apoiou nas horas em que mais precisei.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter realizado tantas graças em minha vida, especialmente pela conclusão deste mestrado.

Agradeço de modo especial ao professor orientador **Jean-Michel Martinez**, por seus ensinamentos que tanto contribuíram para conclusão deste trabalho, por sua dedicação e entusiasmo em novas descobertas.

Ao professor co-orientador **Paulo Roberto Meneses**, por suas sugestões e disponibilidade.

Ao professor **Henrique Lacer Roig**, pelo comprometimento e responsabilidade com que coordena o curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências.

Ao Professor **Edson Sano**, que tive a oportunidade de compartilhar conhecimentos importantes em Sensoriamento Remoto.

Ao Professor **David Fernandes**, que se colocou à disposição para avaliação deste estudo.

Ao amigo **Edinelson Ferreira de Sena**, por estar sempre disponível aos estudos pertinentes ao crescimento acadêmico.

Ao amigo de classe, **Raul Espinoza Villar**, por orientar questões importantes da vida acadêmica.

A todos os amigos que tive contato no decorrer do curso de pós-graduação, em especial à Marina Silva, Andrea Amaziles, Bruno Maia, Renata Teixeira, Lidiane e Cleide.

Ao **Sérgio**, funcionário do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências, pela sua alegria, responsabilidade e dedicação em disponibilizar informações relevantes aos alunos do curso.

Ao SIPAM - **Sistema de Proteção da Amazônia**, pelas imagens cedidas para realização deste estudo.

Ao IRD - Institut de Recherche pour le Développement pelo espaço cedido para realização das reuniões de socialização de trabalhos.

## RESUMO

A floresta amazônica abriga uma das maiores biodiversidades do planeta e possui cerca de 5,4 milhões de km<sup>2</sup>. Esta floresta está sofrendo perdas significativas decorrente do desmatamento, principalmente na área da Amazônia Legal, acompanhado pelo aumento da ocupação humana. Por se tratar de uma região de muita umidade, a presença de nuvens durante a maior parte do ano impossibilita o uso de imagens de sensores que operam na região do visível. Desta forma a utilização de imagens de sensores RADAR é favorecida, devido ao fato das ondas eletromagnéticas microondas penetrarem pelas nuvens sem sofrer interferência. Neste contexto, este estudo avaliou a potencialidade do uso de imagens de RADAR para o mapeamento semi-automatizado de áreas desmatadas na Amazônia, utilizando dados multitemporais e multipolarimétricos (HH e HV) SAR em banda L, na região de Machadinho d' Oeste, em Rondônia e Confresa, em Mato Grosso, municípios que estão na área de influência do arco de desmatamento. Foram utilizadas imagens multitemporais do sensor ALOS/PALSAR dos meses de abril, junho e julho, relativas aos anos 2007, 2008 e 2009. A caracterização do comportamento do retroespalhamento multitemporalmente reduz a possibilidade de confusão entre alvos parecidos e, conseqüentemente, aumenta a separabilidade e a precisão de classes de uso do solo. Para confecção dos mapas de uso do solo, o método baseado em regras de decisão para duas variáveis foi aplicado neste trabalho. A primeira variável é resultado da média do retroespalhamento para toda a série temporal, e a segunda, o cálculo do índice de mudança temporal. Em Machadinho d'Oeste, o acerto foi de 86,4% e foram detectadas áreas desmatadas, representando 919 km<sup>2</sup> e áreas não desmatadas 2.774 km<sup>2</sup>. O acerto para a área de Confresa foi de 84,4% com total de áreas desmatadas de 2.311 km<sup>2</sup>, e áreas não desmatadas 1.313 km<sup>2</sup>.

Palavras chave: classificação semi-automática, Amazônia, radar, desmatamento.

## ABSTRACT

The Amazon rainforest is home to one of the greatest biodiversities on the planet and comprises an area of approximately 5.4 million km<sup>2</sup>. This forest is suffering significant losses due to deforestation, mainly in the Legal Amazon region, accompanied by increased human occupation. Because it is a region of high humidity, the presence of clouds during most of the year prevents the use of images from sensors that operate in the visible range. Thus the use of RADAR images is favored due to the fact that microwave electromagnetic waves penetrate the clouds without interference. Within this context, this study evaluated the potential use of RADAR images for semi-automatic mapping deforested areas in Amazonia, using multitemporal data with multipolarimetric (HH and HV) SAR L band in the region of Machadinho d'Oeste, in the State of Rondônia and Confresa, in the State of Mato Grosso. These municipalities are located within the 'arc of deforestation'. Multiple images from the ALOS / PALSAR RADAR for the months of April, June and July of the years 2007, 2008 and 2009 were used. The characterization of multitemporal backscatter reduces the possibility of confusion between similar targets and thus increases the accuracy and separability of classes of land use. The method based on decision rules for two variables was applied to obtain the land use maps. The first variable is the result of the average backscatter for the entire series, and the second variable is the result of the calculation of the temporal change index. In Machadinho d'Oeste, accuracy was 86.4%, were detected deforested areas, representing 919 km<sup>2</sup> and 2,774 km<sup>2</sup> deforested areas not. The hit to the area of Confresa was 84.4% with total deforested area of 2,311 km<sup>2</sup> and 1,313 km<sup>2</sup> not deforested areas.

Keywords: semi-automatic classification, Amazon Forest, radar, deforestation.



## RESUMÉ

La forêt amazonienne est le foyer de l'une des plus grandes biodiversités de la planète et a environ 5,4 millions de km<sup>2</sup>. Cette forêt subit des pertes importantes dues à la déforestation, principalement en Amazonie, accompagné par l'occupation humaine a augmenté. Parce que c'est une région de forte humidité, la présence de nuages pendant la plus grande de l'année empêche l'utilisation d'images provenant de capteurs qui fonctionnent dans la région visible. Ainsi, l'utilisation du RADAR de détection des images est favorisée par le fait de micro-ondes des ondes électromagnétiques pénètrent à travers les nuages sans subir d'interférences. Dans ce contexte, cette étude a évalué la possibilité d'utiliser des images RADAR pour cartographier semi-automatique les zones déboisées en Amazonie, en utilisant des données et multitemporelles Multipolarimetric (HH et HV) SAR en bande L dans la région de Machadinho d'Oeste dans le Rondônia et Confresa Mato Grosso, les municipalités qui se trouvent dans la zone d'influence de l'arc de déforestation. Nous avons utilisé des images à partir de capteurs multiples ALOS / PALSAR pour le mois d'avril, Juin et Juillet de l'année 2007, 2008 et 2009. La caractérisation de la rétrodiffusion multitemporelle réduit la possibilité de confusion entre des objectifs similaires et augmente ainsi la précision et la séparabilité des classes de l'utilisation des terres. Pour obtenir les cartes d'utilisation des terres, la méthode fondée sur des règles de décision pour les deux variables a été appliquée dans ce travail. La première variable est le résultat de la rétrodiffusion moyenne pour toute la série, et le second, le calcul de l'indice de changement temporel. En Machadinho d'Oeste, la précision était de 86,4%, ont été détectés les zones déboisées, ce qui représente 919 km<sup>2</sup> et 2.774 km<sup>2</sup> les zones déboisées pas. Le hit de la zone de Confresa était de 84,4% à surface déboisée totale de 2.311 km<sup>2</sup> et 1.313 km<sup>2</sup> les zones ne déboisées pas.

Mots-clés: classification semi-automatique, forêt amazonienne, radar, déforestation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Abrangência da Pan-Amazônia na América do Sul (adaptado de SANTOS, 2010).....	1
<b>Figura 2.1.</b> Onda eletromagnética constituída por onda elétrica (E) e onda magnética (M) em ângulos retos, perpendiculares à direção de propagação (LILLESAND & KIEFER, 2004).....	10
<b>Figura 2.2</b> Emissão do pulso da REM e recebimento do pulso de retorno retroespalhado pelo objeto (adaptado de Lillesand & Kiefer, 2004).....	11
<b>Figura 2.3</b> Denominações das bandas espectrais dos sistemas RADAR (MENESES, 2006).....	12
<b>Figura 2.4</b> Propagação do pulso de RADAR indicado pelas linhas sólidas e o retroespalhamento pelos objetos indicados pelas linhas pontilhadas (adaptado de Lillesand & Kiefer, 2004).....	13
<b>Figura 2.5</b> Medida do tempo e da intensidade do pulso retroespalhado pelos objetos (adaptado de Lillesand & Kiefer, 2004).....	13
<b>Figura 2.6</b> Variação da resolução longitudinal em função do ângulo de depressão (LILLESAND & KIEFER, 2004).....	14
<b>Figura 2.7</b> Resolução espacial na direção azimutal depende da largura $\beta$ do feixe e da distância $G_R$ do alvo à antena (LILLESAND & KIEFER, 2004).....	15
<b>Figura 2.8</b> Direção de polarização horizontal e vertical da onda de RADAR (ELACHI, 2006).....	17
<b>Figura 2.9</b> Relação entre ângulo de incidência, depressão e visada Lenwis <i>et. al.</i> (2008, <i>apud</i> Aboud Neta et al.,2009).....	19
<b>Figura 2.10</b> Distorção da imagem no plano inclinado (LILLESAND & KIEFER, 2004).....	20
<b>Figura 2.11</b> <i>Layover</i> (MACEDO, 2001).....	20
<b>Figura 2.12</b> <i>Foreshortening</i> (MACEDO, 2001).....	20
<b>Figura 2.13</b> relação de interação sinal e alvo na superfície terrestre. (IBGE, 1995).....	22

<b>Figura 2.14</b> Em (a) ocorre o retroespalhamento superficial e de interior de dossel; (b) Retroespalhamento de troncos e galhos; (c) Retroespalhamento do solo; (d) Reflexão dupla tronco-solo; (e) Retroespalhamento integrado entre tronco e solo. Modificado de Ulaby et al. (1984) e Kuplich (2003).....	23
<b>Figura 3.1</b> Localização do Município de Machadinho d`Oeste.....	28
<b>Figura 3.2</b> Mapa Imagem da localidade de Confresa.....	32
<b>Figura 3.3</b> Área desmatada para a localidade de Machadinho d`Oeste com o <i>shape file</i> de desmatamento do SIPAM em vermelho.....	35
<b>Figura 3.4</b> Área desmatada para a localidade de Machadinho d`Oeste com o <i>shape file</i> de desmatamento do SIPAM em vermelho.....	36
<b>Figura 3.5</b> Formato Original.....	37
<b>Figura 3.6</b> Dados intensidade logarítmica ( <i>dB</i> ).....	37
<b>Figura 3.7</b> Formato em amplitude natural ( $m^2/m^2$ ).....	37
<b>Figura 3.8</b> Recorte na imagem de Machadinho d`Oeste com destaque para os rois selecionados.....	38
<b>Figura 3.9</b> Comportamento do retroespalhamento em área de desmatamento na polarização HH e HV.....	38
<b>Figura 3.10</b> Imagens multitemporais em polarização HV de área em processo de Desmatamento na região de Machadinho d`Oeste.....	39
<b>Figura 3.11</b> Parâmetros selecionados para processamento das imagens. Seleção da correção do terreno, geocodificação para projeção e exportação do arquivo.....	41
<b>Figura 3.12</b> Seleção da correção radiométrica a partir de imagem <i>DEM</i> .....	41
<b>Figura 3.13</b> Seleção da geocodificação da imagem de saída.....	42
<b>Figura 3.14</b> Histograma da imagem com polarização HV na cor preta e HH em vermelho de dados originais. ( <i>17 Looks</i> ).....	45
<b>Figura 3.15</b> Histograma da imagem com polarização HV na cor preta e HH em vermelho de dados com aplicação do filtro multitemporal e espacial com janela <i>3x3 pixels</i> . ( <i>122 Looks</i> ).....	45
<b>Figura 3.16</b> Recorte na imagem original com número de <i>17 Looks</i> .....	45

<b>Figura 3.17</b> Recorte na imagem com aplicação do filtro multitemporal e espacial de número 122 <i>Looks</i> .....	45
<b>Figura 3.18</b> Borda de objeto <i>v</i> em uma imagem ( <i>Ecognition</i> , 2010).....	46
<b>Figura 3.19</b> Recorte na cena com segmentação realizada no <i>Software Ecognition</i> .....	47
<b>Figura 3.20</b> Mudança temporal e Coeficiente de retroespalhamento em polarização HV.....	48
<b>Figura 4.1</b> Recorte da cena das imagens <i>PALSAR</i> para os anos de 2007, 2008 e 2009 com seleção de <i>roi's (region of interest)</i> para caracterização do comportamento do retroespalhamento em polarização HV de área desmatada, floresta e desmatamento no município de Machadinho d'Oeste.....	49
<b>Figura 4.2</b> Recorte da cena das imagens <i>PALSAR</i> para os anos de 2007, 2008 e 2009 com seleção de <i>roi's (region of interest)</i> para caracterização do comportamento do retroespalhamento em polarização HH de área desmatada, floresta e desmatamento no município de Machadinho d'Oeste.....	50
<b>Figura 4.3</b> Recorte na cena da imagem de <i>RADAR</i> com valores variando de 0 a 255.....	57
<b>Figura 4.4</b> Resultado da segmentação com valores de <i>Threshold</i> 18, <i>minimal length</i> 3, <i>minimal value difference</i> 25 e <i>variance factor</i> 3.5 para imagem sem aplicação de filtro.....	58
<b>Figura 4.5</b> Resultado da segmentação com valores de <i>Threshold</i> 18, <i>minimal length</i> 3, <i>minimal value difference</i> 25 e <i>variance factor</i> 3.5 para imagem com aplicação do filtro temporal e espacial.....	59
<b>Figura 4.6</b> Resultado da segmentação com <i>software Ecognition</i> . Para o <i>Threshold</i> foi utilizado o valor 30 (de 01 a 100) e peso de cor 0.8 (de 0 a 1). filtro.....	60
<b>Figura 5.1</b> Limites de retroespalhamento para classificação do desmatamento, a partir da média de espalhamento e da mudança temporal em polarização HV.....	61
<b>Figura 5.2</b> Mapa de classificação para a cena da região de Machadinho d'Oeste - RO.....	63
<b>Figura 5.3</b> Recorte no Mapa de classificação ( <i>shape</i> de desmatamento do SIPAM na linha amarela), com destaque para área em processo de desmatamento indicado pela seta na cor preta.....	64
<b>Figura 5.4</b> Mapa de classificação para a cena da região de Confresa - MT.....	65

- Figura 5.5** Locais de agricultura identificados pela cor azul no mapa de classificação. Destaque para área com retângulo da cor vermelha, em imagem do visível.....66
- Figura 5.6** Classe de uso do solo a partir de dados *PALSAR*, com redução de 9 para 2 classes (em verde área não desmatada, e em preto área desmatada na região de Machadinho d'Oeste. A linha amarela representa o *shape* de áreas desmatadas).....67
- Figura 5.7** Classe de desmatamento de Machadinho d'Oeste a partir de dados do SIPAM (em verde área não desmatada, e em preto área desmatada).  
.....67
- Figura 5.8** Áreas não desmatadas detectadas pelo mapa de desmatamento de Machadinho d'Oeste a partir de dados *PALSAR*, não detectadas pelo *shape* do SIPAM.....69
- Figura 5.9** Imagem *ALOS/PALSAR* de Machadinho d'Oeste com *shape* SIPAM de área desmatada em linha amarela. A seta e o círculo destacam áreas de vegetação intermediária que foram incorporadas à áreas desmatadas.....70
- Figura 5.10** Área de desmatamento de Machadinho d'Oeste produzido a partir dos dados *ALOS/PALSAR*. A linha amarela corresponde ao *shape* de desmatamento do SIPAM. A seta e o círculo destacam área de floresta incorporada à áreas desmatadas.....70
- Figura 5.11** Áreas não desmatadas e áreas desmatadas pelo mapa de desmatamento de Confres, a partir de dados *PALSAR*, que não foram detectadas pelo *shape* do SIPAM. Os círculos representam áreas não desmatadas e as setas áreas desmatadas. A linha amarela é o polígono de área não desmatada produzido pelo SIPAM.....72
- Figura 5.12** O círculo e a seta mostram áreas de tamanho considerável para classificação correta, porém não foram registradas.....72

## LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

<b>Gráfico 1.1</b> Monitoramento de áreas desmatadas no ano 2009 para o estado de Rondônia: Projeto PRODES e DETER (2009).....	3
<b>Gráfico 3.1</b> Monitoramento de áreas desmatadas em Machadinho d'Oeste: Projeto PRODES e DETER (2009).....	28
<b>Gráfico 3.2</b> Monitoramento de áreas desmatadas para o Estado de Mato Grosso: Projeto PRODES e DETER (2009).....	32
<b>Tabela 3.1</b> – Informações das Imagens.....	34
<b>Gráfico 4.1</b> Comportamento do espalhamento em polarização HH e HV de área de floresta.....	51
<b>Gráfico 4.2</b> Comportamento do espalhamento em polarização HH e HV de área desmatada.....	51
<b>Gráfico 4.3</b> Comportamento do espalhamento na polarização HH e HV para área de desmatamento. Estas áreas são caracterizadas pela diminuição do retroespalhamento de -7 a -8 dB em HH, e -12 a -14 HV, para -11 HH e -20 VH, de retroespalhamento ao longo da série temporal.....	53
<b>Gráfico 4.4</b> Mudança temporal e retroespalhamento de áreas de desmatamento na polarização HV. O primeiro valor de mudança temporal é resultado da razão entre o máximo das imagens de 9/6/2007 e 25/6/2007; o segundo, imagens 9/6/2007, 25/6/2007 e 26/4/2008; o terceiro, imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008 e 27/7/2008; o quarto, imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008, 27/7/2008 e 14/6/2009 e o quinto, das imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008, 27/7/2008, 14/6/2009 e 30/7/2009.....	53
<b>Gráfico 4.5</b> Espalhamento da onda de RADAR em área agrícola na polarização HH e HV.....	55
<b>Gráfico 4.6</b> Comportamento do espalhamento em áreas desmatadas, área agrícola e área de floresta. Destacam-se áreas possíveis de serem confundidas sem utilização de séries temporais.....	56
<b>Tabela 5.1</b> Tabela de validação.....	67

**Tabela 5.2** Resultado da comparação entre o mapa de classificação a partir de dados PALSAR e dados SIPAM para região de Machadinho d'Oeste.....68

**Tabela 5.3** Resultado da comparação entre o mapa de classificação a partir de dados PALSAR e dados SIPAM para região de Confresa.....71

**LISTA DE SIGLAS**

**ALOS** - *Advanced Land Observing Satellite*

**dB** - *Decibéis*

**DETER** - *Deteção de Desmatamento em Tempo Real*

**DT** - *Direct Transmission*

**FBD** - *Fine Beam Dual polarization*

**FBS** - *Fine Beam Single polarization*

**INPE** - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

**JAXA** - *Japan Aerospace Exploration Agency*

**JERS-1** - *Japanese Earth Resources Satellite 1*

**PALSAR** - *Phased Array type L-band Synthetic Aperture RADAR*

**PLR** - *Polarimetric mode*

**PRODES** - *Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia*

**RADAR** - *Radio Detection and Ranging*

**SAR** - *Synthetic Aperture RADAR*

**SRTM** - *Shutter RADAR Topographic Mission*

**USGS** - *U. S. Geological Survey*



## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	V
AGRADECIMENTOS .....	VI
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
RESUMÉ.....	IX
LISTA DE FIGURAS .....	X
LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS .....	XIV
SUMÁRIO .....	XVII
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	5
1.2 OBJETIVOS.....	6
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>6</b>
1.3 BASE DE DADOS, EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E MÉTODOS DE PESQUISA .....	7
<b>1.3.1 Base de Dados.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Equipamentos Utilizados .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.3 Metodologia de Pesquisa .....</b>	<b>8</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR .....	9
<b>2.1.1 Introdução ao Sistema RADAR .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 Princípios de Imageamento.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.3 Resolução Espacial.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4 Resolução Longitudinal .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.5 Resolução Azimutal .....</b>	<b>14</b>
2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS RADAR .....	15
<b>2.2.1 Frequência e Comprimento de Onda.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 Polarização .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.3 Geometria de Aquisição.....</b>	<b>17</b>
2.2.3.1 Ângulo de Incidência .....	18
<b>2.2.4 Distorções Geométricas.....</b>	<b>18</b>
2.2.4.1 Distorções no Tamanho do Objeto .....	19
2.2.4.2 Deslocamento do Relevo.....	20

<b>2.2.5 Interação entre o Sinal RADAR e Alvos</b> .....	<b>21</b>
2.2.5.1 Espalhamento de superfície - rugosidade e dielétrica .....	21
<b>2.2.6 Vegetação – Difusão Volumétrica</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.7 Pré-processamento das Imagens</b> .....	<b>23</b>
2.2.7.1 Ruído <i>Speckle</i> .....	24
2.2.7.2 Segmentação.....	25
2.2.7.3 Classificação.....	26
<b>2.2.8 Satélite ALOS (<i>Advanced Land Observing Satellite</i>)</b> .....	<b>27</b>
<b>3 LOCALIZAÇÃO, MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO MACHADINHO D`OESTE .....	28
<b>3.1.1 Clima</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.2 Hidrografia</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.3 Vegetação</b> .....	<b>30</b>
3.2 ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO DE CONFRESA .....	31
3.2 MATERIAIS .....	34
<b>3.2.1 Imagens ALOS/PALSAR</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.2 Dados auxiliares (Dados do SIPAM)</b> .....	<b>34</b>
3.3 METODOLOGIA .....	37
<b>3.3.1 Pré-processamentos</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.2 Redução do ruído <i>speckle</i></b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.3 Filtro Espacial</b> .....	<b>43</b>
<b>3.3.4 Filtro Multitemporal</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3.4 Segmentação</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.5 Classificação</b> .....	<b>47</b>
<b>4. ANÁLISE</b> .....	<b>49</b>
4.1 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES TEMPORAIS EM FUNÇÃO DA COBERTURA DOS SOLOS .....	49
4.2 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE ESPALHAMENTO EM POLARIZAÇÃO HH E HV.....	50
4.3 MUDANÇA TEMPORAL.....	53
<b>4.3.1 Importância da Utilização de Série Multitemporais</b> .....	<b>54</b>
4.4 ANÁLISE DO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO.....	56
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>60</b>
5.1 REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO .....	61
5.2 VALIDAÇÃO .....	67

<b>5.2.1 Validação para o Mapa de Classificação de Machadinho d'Oeste - RO.....</b>	<b>67</b>
5.2.2 VALIDAÇÃO PARA O MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE CONFRESA - MT.....	71
6. CONCLUSÕES E PESPECTIVAS .....	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Situada na região norte da América do Sul, a floresta amazônica tem uma das maiores diversidades de fauna e flora de toda a região de florestas tropicais no mundo, abrangendo cerca de 5,4 milhões de km<sup>2</sup> (MALHI *et al.*, 2008). O bioma amazônico abrange os territórios do Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Suriname, Guiana e Guiana Francesa. A maior parte desta floresta está situada em território brasileiro e engloba os estados do Amazonas, Amapá, Acre, Roraima, Rondônia, Pará, Tocantins, Maranhão e Mato Grosso, os quais compreendem a chamada Amazônia Legal conforme figura 1.1.

Originalmente, a cobertura florestal ocupava aproximadamente 4 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais atualmente cerca de 82,3% encontram-se preservados (ALVES, 2007). Um dos principais problemas ambientais encontrados na Floresta Amazônica é o desmatamento ilegal e predatório, onde madeiras instalam-se na região para cortar e vender troncos de árvores nobres. Outro fator preocupante é a utilização da terra pelos fazendeiros que provocam queimadas para ampliação de áreas de cultivo e pastagem. Estes problemas preocupam cientistas e ambientalistas, pois em curto período de tempo, podem provocar um desequilíbrio no ecossistema da região, colocando em risco a floresta (BETTR *et al.*, 2007).



**Figura 1.1** Abrangência da Pan-Amazônia a América do Sul (adaptado de Santos, 2010).

Estudos mostram que o desmatamento da floresta está intimamente ligado ao aumento das atividades econômicas, tais como o aumento da atividade pecuária, agricultura, exploração madeireira, especulação de terra próximos as estradas, crescimento populacional e espacial das cidades, entre outros (ALENCAR et al., 2004).

O processo de desmatamento da Floresta Amazônica acarretam em uma gradual degradação do solo, perda de diversidade de fauna e flora, efeitos de bordas que aumentam a luminosidade dentro da floresta, desequilibrando o microclima da floresta e provocando a perda de espécies vegetais ombrófitas e aumentando a vulnerabilidade aos incêndios que se tornam cada vez mais frequentes (ABOUT NETA, 2009).

Diante do crescimento de áreas desmatadas e na tentativa de compreender a dinâmica do desmatamento na área da Amazônia Legal, órgãos brasileiros como IBAMA, SIPAM, INPE e outros, desenvolvem projetos que viabilizam a detecção, análise, compreensão da dinâmica de desmatamento, entre outros, que proporcionem apoiar o processo de tomada de decisão, de forma rápida e eficaz, na preservação desse patrimônio nacional. Atualmente, uma das técnicas que permite a compreensão do processo de desmatamento com precisão na determinação da localidade, agilidade na detecção e eficiência, é a utilização de Sensoriamento Remoto.

Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a ciência que obtém informações acerca de objetos, áreas ou fenômenos, sem que haja contato físico entre o sensor e alvos da superfície terrestre (LILLESAND & KIEFER, 1994). Essa tecnologia conjuga o emprego de modernos sensores imageadores, plataformas orbitais, aeronaves, processamento de dados, algoritmos de tratamento de imagem, métodos de análise e interpretação, visando uma infinidade de aplicações que se estendem por várias áreas do conhecimento, como a geografia, geologia, biologia, urbanismo, engenharia florestal, engenharia ambiental entre outras que utilizam dessa ciência para inferir diagnósticos sobre a superfície terrestre (MENESES, 2001).

Utilizando essas técnicas, é possível elaborar informações que identifiquem, localizem e quantifiquem o total de área desmatada. As imagens dos sensores que operam no comprimento de onda do visível e infra-vermelho próximo, como a utilização de imagens dos sensores *TM –Thematic Mapper* a bordo do Satélite *LANDSAT*, foram bastante empregadas pelo PRODES, DETER e entre outros, demonstrando bons resultados na elaboração de informações.

Por meio das imagens produzidas do sensor *TM*, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criou o Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal (PRODES), com objetivo de mapear áreas desmatadas por corte raso na Amazônia Brasileira, com interpretação de imagens. Após análise de várias imagens *LANDSAT*, em período de tempo considerável, 2002 a 2009, o PRODES produziu vários dados, como mapas de desmatamento que proporcionaram a elaboração de informações de séries temporais, conforme o gráfico de desmatamento no Estado de Rondônia (gráfico 1.1).



**Gráfico 1.1** - Monitoramento de áreas desmatadas até 2009, no estado de Rondônia  
Fonte: Projeto PRODES e DETER (2009).

Outro projeto, o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), foi criado em 2004 para fiscalização e controle do desmatamento na

Amazônia, tem o objetivo de divulgar mensalmente estimativas de desmatamento de áreas de corte raso e de áreas em processo de desmatamento, a partir de imagens MODIS/TERRA e WFI/CBERS (INPE, 2008b) e o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), que utiliza de imagens de RADAR, com sensor abordo das aeronaves R99 para mapeamento do desmatamento com alta resolução espacial.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando a biodiversidade da floresta e sua importância para o planeta, vários estudos são realizados com intuito de melhor compreender a dinâmica dos processos relacionados ao desmatamento. Nesses estudos, diferentes tipos de sensores são utilizados, inclusive o microondas, que tem atendido aos questionamentos de verificação, com clareza e precisão, de detalhes dos processos de desmatamento na floresta Amazônica. Os radares que operam na banda L (15 a 30 cm) são eficientes para extração de informação, uma vez que o pulso da onda interage com a estrutura das folhas e troncos das árvores, produzindo um sinal de retorno que traz informações sobre o tipo de cobertura dos solos e o estado da vegetação, possibilitando quantificar áreas desmatadas (MARTINEZ, 2007).

Sabe-se que os projetos mencionados anteriormente têm dificuldades na produção de informação por utilizar imagens do sensor TM, pois opera no comprimento de onda do visível e sofrem influências da atmosfera, onde a presença de nuvens impossibilita a geração de imagens da superfície terrestre. Por outro lado, os sensores ativos, que operam no comprimento de onda das microondas, não sofrem influências atmosféricas, sendo capaz de obter dados da superfície terrestre mesmo com presença de nuvens ou fumaça.

Para extrair informações de desmatamento em imagens de RADAR, o SIPAM utilizou imagens obtidas pelo sensor SAR/R-99B, adquiridas entre março e outubro de 2008, no modo Quad L, com 6 m de resolução espacial, utilizando como base, os métodos de fotointerpretação geológica que possibilitam a extração de informações por meio da análise dos elementos da imagem e de suas relações, sendo posteriormente são manipulados por operadores experientes que, de forma visual, traçam as poligonais das áreas de interesse. Este processo é lento e requer habilidades extras dos profissionais (SIPAM, 2008).

Assim sendo e visando automatizar a produção de mapas de desmatamento, este estudo foi realizado a partir de regras de decisão para classificação de imagens, a partir de dados multitemporais do RADAR de abertura sintética do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture RADAR*), abordo do



satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), que opera na banda L (23,6 cm), nas polarizações HH e HV, e é capaz de fazer observação da Terra independente do horário e das condições climáticas para aquisição de informações.

Desta forma, a produção deste trabalho proporcionará contribuições na agilidade de detecção de desmatamento, por meio de técnica semi-automatizada com utilização de séries multitemporais de imagens, que podem ser empregadas para agilizar o levantamento de informações além de agregar informações aos dados hoje existentes. Em particular, propõe-se realizar uma análise detalhada das dinâmicas temporais para interpretar e detectar os recentes locais de desmatamento.

Neste estudo, o levantamento de informações a respeito de áreas desmatadas foi realizado nos municípios de Machadinho d'Oeste (RO) e Confresa (MT), por meio de dados multitemporais do sensor SAR. Estas localidades foram selecionadas pelo SIPAM, por corresponderem à áreas de intenso processo de desmatamento, a ecossistemas de floresta tropical úmida (Machadinho) e de fronteira com o Cerrado (Confresa).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de classificação semi-automatizada para discriminação de cobertura de terras na Amazônia, com a utilização de imagens multitemporais da banda L do sensor ALOS/PALSAR, na região dos municípios de Machadinho d'Oeste (RO), Confresa (MT).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Verificar a potencialidade das imagens multitemporais PALSAR para mapeamento de áreas desmatadas;
- ✓ Analisar e caracterizar o comportamento do retroespalhamento do pulso de RADAR nas áreas estudadas;
- ✓ Analisar a influência da aplicação de filtros espacial e temporal nas imagens;
- ✓ Avaliar a influência da segmentação na elaboração de mapeamento de áreas desmatadas;

- ✓ Elaborar e determinar os limites de valores digitais para criação de regras para mapeamento das áreas;
- ✓ Validar a precisão da metodologia empregada, a partir de mapas do desmatamento elaborados pelo SIPAM.

### 1.3 BASE DE DADOS, EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E MÉTODOS DE PESQUISA

#### 1.3.1 Base de Dados

Para realização deste trabalho, foram selecionadas imagens da banda L do sensor PALSAR , com resolução espacial de 12,5 metros com polarizações HH e HV da localidade de Machadinho d`Oeste (RO) e Confresa (MT). Os municípios foram selecionadas a partir da disponibilidade das imagens do sensor PALSAR, cedidas pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) e por se tratar de áreas de desmatamento intensivos que permitem análise da dinâmica desse processo.

As imagens de Machadinho D`Oeste foram adquiridas no sistema de coordenadas WGS 1984, UTM, Zona 20 sul, dos anos de 2007 a 2009 referente aos meses de abril, junho e julho com resolução espacial de 12,5m.

As imagens que abrangem a localidade de Confresa também foram adquiridas no sistema de coordenadas WGS 1984, UTM, Zona 22 sul referente aos meses de abril, junho e julho de 2007 a 2009, por se tratar de um período de seca, época do ano em que o desmatamento ocorre de forma mais intensa e rápida.

#### 1.3.2 Equipamentos Utilizados

Foram utilizados *softwares* disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB e pelo ***Institut de recherche pour le développemen - IRD*** ;

Programas de processamento de Imagens *ENVI 4.6®* e *ERDAS®*;

Programa *Mapready 2.3* disponível gratuitamente pela *ASF*;

Programa de Integração de Dados *ArcGis 9.3®*;

Programa de segmentação de imagens *Ecognition®*;

Programa Microsoft Excel.

### 1.3.3 Metodologia de Pesquisa

Os alvos da superfície terrestre apresentam características geométricas e dielétricas que tornam possível a sua identificação por sensores de microondas. Cada alvo, ao ser atingido pelo pulso eletromagnético emitido pelo RADAR, retroespalha uma determinada quantidade de energia que é captada pelo sensor (HOEKMAN & QUIÑONES, 1998).

Em várias pesquisas atualmente produzidas como Beaudoin et al. (1994); Dobson et al. (1995); e Luckman et al.(1997), mostram que dados de séries temporais de imagens de satélite são cada vez mais utilizados na verificação e detecção de mudanças na superfície terrestre. Nesta pesquisa, utilizou-se a metodologia de detecção de mudança em série de imagens multitemporais. Esta metodologia emprega regras de decisão a partir de duas variáveis independentes: a) média do coeficiente de espalhamento calculado para duas ou mais imagens em uma série temporal e b) o cálculo das mudanças entre imagens a partir de um índice de mudança absoluta (MARTINEZ & LE TOAN, 2007).

Com as imagens multitemporais de Machadinho D'Oeste (RO) e Confresa (MT) do sensor PALSAR, foi possível caracterizar o comportamento da onda de RADAR ao retroespalhar, pela interação com o dossel da floresta a partir de *Roi's* (*region of interest*). Com o entendimento do comportamento do espalhamento, foi possível estabelecer limiares de espalhamento para cada feição identificada nas imagens PALSAR. As imagens foram segmentadas e com o grupo de pixels de cada polígono produzido, aplicaram-se regras de detecção de mudança. O mapa resultante de classificação foi confrontado com os dados produzidos pelo SIPAM, para validação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

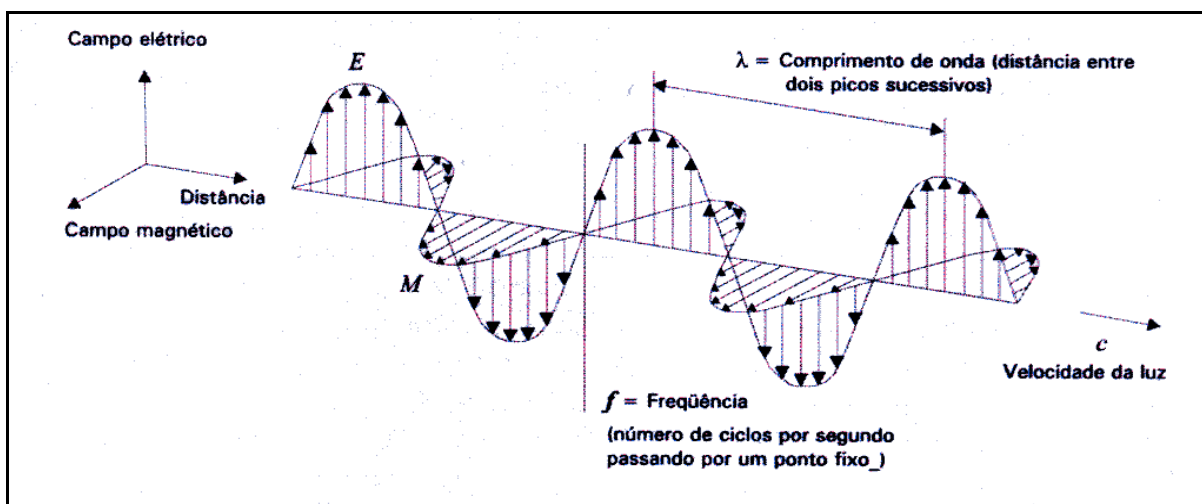
### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR

Adjudica-se o princípio de RADAR ao norte americano Hugo Gemsback, em 1911 e somente no ano de 1934 o sistema RADAR foi acoplado a um navio por Pierre David. No ano seguinte, Maurice Ponte e Henri Gerthon o instalam a bordo de uma aeronave com objetivo principal a navegação e para fins militares Robert Watson-Watt, que conclui suas experiências e passa a ser muito utilizado pela Inglaterra na Segunda Guerra Mundial (IBGE, 1995).

Sensores ativos de microondas são cada vez mais utilizados em Sensoriamento Remoto para análise da superfície terrestre. Estes sensores não dependem da iluminação solar e normalmente não são sensíveis às condições do tempo, sendo muito apropriado para monitoramento da dinâmica dos fenômenos terrestres que necessitem de repetitivas observações. Com o desenvolvimento da tecnologia, novas configurações foram desenvolvidas como a multipolarização e a interferometria desde os anos 90.

Por meio dos dados de RADAR, é possível obter informações físicas dos alvos (topografia, morfologia e rugosidade) e propriedades dielétricas, e em alguns casos informações de subsuperfície (ELACHI & VAN ZYL, 2006).

O termo RADAR (*Radio Detection and Ranging*), embora para fins de sensoriamento remoto, não seja utilizado os comprimentos de ondas de rádio, o acrônimo não foi mudado. Os sensores RADAR são denominados de sensores ativos, pois possuem sua própria fonte de energia para aquisição de dados e utiliza as propriedades da radiação eletromagnética (REM) para interagir com os alvos da superfície terrestre. A radiação eletromagnética pode ser definida como sendo toda forma de energia com propriedades elétricas e magnéticas, movendo-se na velocidade da luz ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}^{-1}$ ), (LILLESAND & KIEFER, 1994). A REM é uma forma de energia capaz de interagir com os objetos de forma corpuscular, que consiste na interação da radiação eletromagnética com os átomos e moléculas dos materiais constituintes do objeto, ou de forma ondulatória, onde a radiação interage com a forma do objeto (MENESES, 2006).



**Figura 2.1.** Onda eletromagnética constituída por onda elétrica (E) e onda magnética (M) em ângulos retos, perpendiculares à direção de propagação (LILLESAND & KIEFER, 2004).

Sabe-se que o comprimento de onda e a frequência estão inversamente relacionados à velocidade da luz.

Por meio da equação 2.1, pode-se converter de forma rápida, frequência em unidades de comprimento de onda de RADAR.

$$\lambda(cm) = \frac{30}{v(GHz)} \quad (2.1)$$

### 2.1.1 Introdução ao Sistema RADAR

Nos sistemas de sensores RADAR e de acordo com o modelo da REM ( $E=hc/\lambda$ ), a interação é quase que totalmente efetuada nos termos do modelo ondulatório, necessitando de pouca energia para aquisição de informações sobre os alvos. Os primeiros radares imageadores eram do tipo radar de abertura real que, por trabalhar com as dimensões efetivas da antena, apresentavam limitações na resolução espacial das imagens geradas. Com o avanço tecnológico, os radares de abertura sintética (SAR) foram criados para melhorar a resolução azimutal, aproveitando do próprio deslocamento da plataforma, através da gravação e combinação dos sinais refletidos, para simular uma antena cujo comprimento seria muitas vezes maior que a antena realmente utilizada (DOBSON et al., 1992).

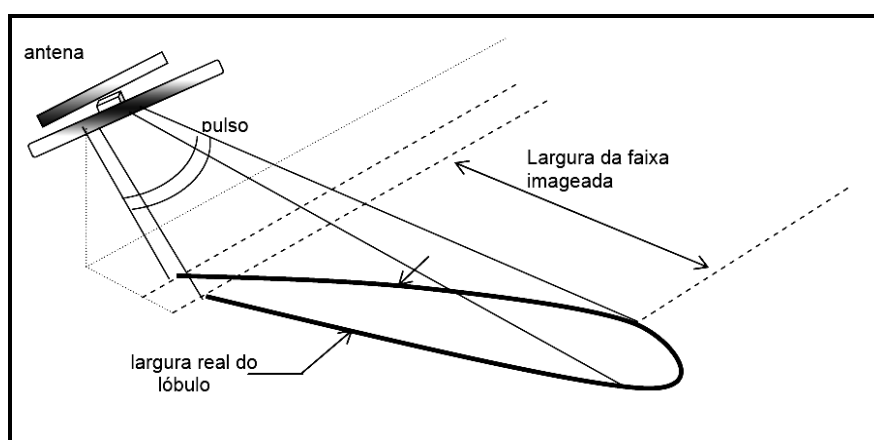
A relação fundamental existente entre o sistema radar, o alvo e sinal da antena que interage com o alvo e retorna ao sensor é dada pela seguinte equação.

$$P_R = P_T(\sigma^0 A) \left( \frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right) \quad (2.2)$$

onde a potência do sinal recebido ( $P_R$ ), é diretamente proporcional à potência do sinal transmitido ( $P_T$ ), ao coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ), à área efetiva da abertura da antena ( $G$ ), ao comprimento de onda do RADAR ( $\lambda$ ) e a  $1/4\pi^3 R^4$ , onde  $R$  é a distância em range entre o RADAR e o alvo, considerando a transmissão e recepção de forma isotrópica (ULABY et al., 1986a).

De acordo com Lillesand & Kiefer (2004) a radiação de microondas é transmitida a partir da antena que recebe em seguida os sinais refletidos da superfície da terra. Assim sendo, o valor de  $\sigma^0$  é a razão da energia espalhada em relação ao sinal enviado. Convencionalmente os valores de  $\sigma^0$ , por serem razões de potência, são expressos em decibéis (dB).

O RADAR envia séries contínuas de pulsos de fótons de uma fonte pontual, que se espalha sobre o terreno como um feixe angular (lóbulo). Para emitir esses pulsos de radiação eletromagnética, os radares de sensoriamento remoto utilizam uma antena na forma de uma calha fixa na lateral de aeronaves ou do satélite que é direcionada lateralmente em relação à sua trajetória de voo, denominando-se desta forma de radares de visada lateral *SLAR* (*Side-Looking Aperture RADAR*), (MENESES, 2006).



**Figura 2.2** Emissão do pulso da REM e recebimento do pulso de retorno retroespalhado pelo objeto (adaptado de Lillesand & Kiefer, 2004).

Durante o deslocamento da plataforma, o transmissor envia pulsos de microondas modulados linearmente em frequência e a intervalos iguais a  $T_{PRF}=1/PRF$  (Frequência de Repetição de Pulsos) segundo Rosa (2009).

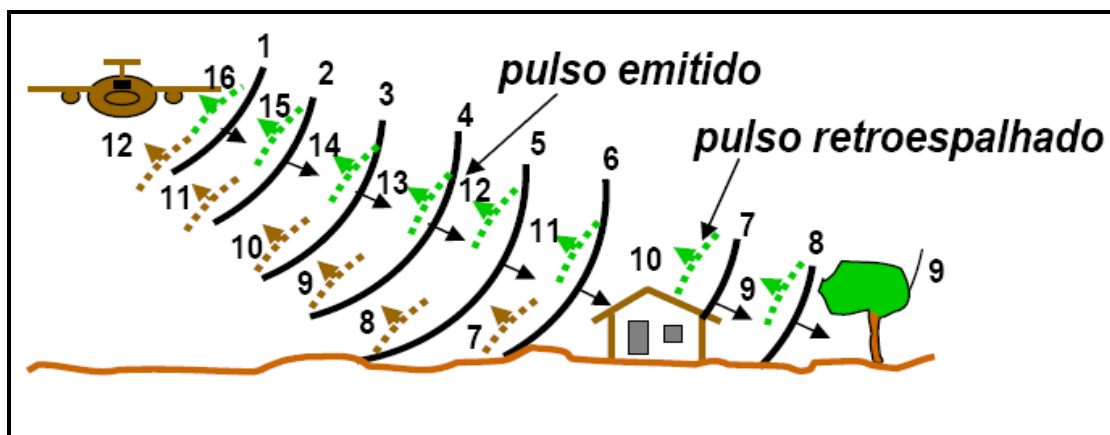
Sensores RADAR operam na faixa do comprimento de onda que varia de 1mm a 100cm, mas para fins de aplicação em sensoriamento remoto, são utilizados sensores que operam na faixa de 3 a 75 cm e estão divididas em bandas espectrais representadas em letras. Esta representação em letras foi a tentativa nos anos 40 de manter em segredo as faixas espectrais de operação dos primeiros sistemas RADAR, muito utilizado pelos militares (MENESES, 2006). As bandas de RADAR mais utilizadas são mostradas na figura 2.3.

BANDA	FREQUÊNCIA
K= 0,8 – 2,4 cm	40 a 18 GHz
X= 2,4 – 3,8 cm	12,5 a 8 GHz
C= 3,8 – 7,6 cm	8 a 4 GHz
S= 7,5 – 15 cm	4 a 2 GHz
L= 15 - 30 cm	2 a 1 GHz
P= 30 – 100 cm	1 a 300 GHz

**Figura 2.3** Denominações das bandas espectrais dos sistemas RADAR (MENESES, 2006).

### 2.1.2 Princípios de Imageamento

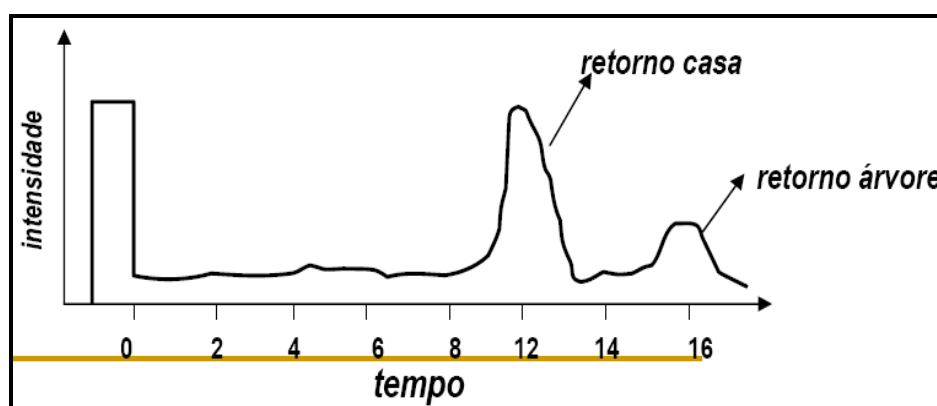
O princípio básico de um RADAR é mostrado na figura 2.4, no qual a energia do comprimento de onda é emitida em forma de pulsos de ondas em sucessivos intervalos de tempo (1 a 9). Começando com as linhas sólidas o pulso transmitido, movendo-se lateralmente na plataforma, em forma de frente de onda. No tempo 6, a frente de onda alcança a casa e a onda retroespalhada pela casa dá início ao tempo 7 (linha pontilhada). No tempo 12, o sinal de retorno alcança a antena que por sua vez, faz o registro do sinal recebido.



**Figura 2.4** Propagação do pulso de RADAR indicado pelas linhas sólidas e o retroespalhamento pelos objetos indicados pelas linhas pontilhadas (adaptado de Lellisand & Kiefer, 2004).

O registro do sinal recebido pelo sensor pode ser representado pela figura

2.5.



**Figura 2.5** Medida do tempo e da intensidade do pulso retroespalhado pelos objetos. (adaptado de Lillesand & Kiefer, 2004).

Neste caso, como a árvore retroespalha o pulso de onda com menor intensidade que a casa, a intensidade da resposta do sinal registrado é mais fraca. Medindo-se o tempo de retorno do sinal, é possível determinar a distância entre o sensor e o objeto.

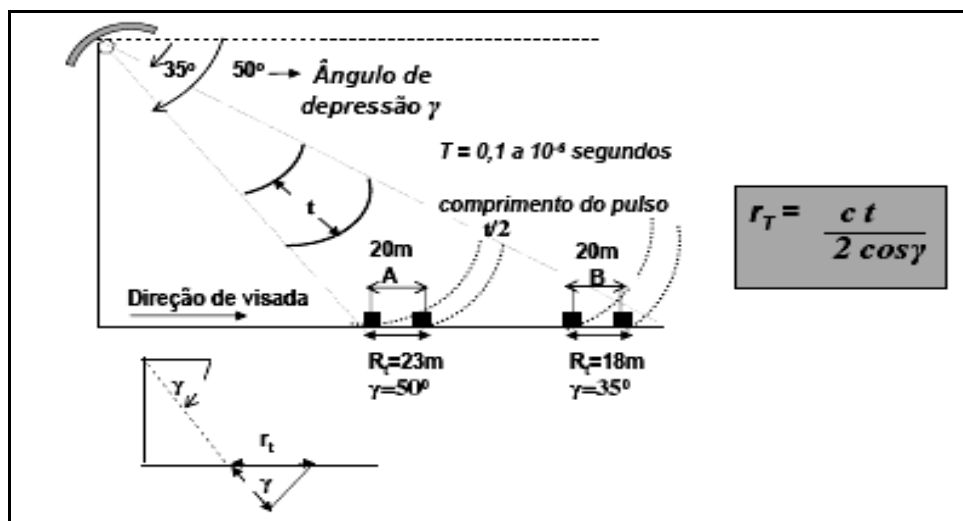
### 2.1.3 Resolução Espacial

A resolução espacial dos sensores RADAR é controlada por dois parâmetros independentes: o comprimento do pulso, que é determinada pela duração de tempo, e a largura do feixe da antena. Segundo Lillesand & Kiefer (2004), existem duas resoluções espaciais: uma na direção longitudinal à direção de propagação do pulso e outra transversal.



### 2.1.4 Resolução Longitudinal

O cálculo para determinar a resolução espacial longitudinal de um sensor pode ser mostrado pela geometria do pulso incidente sobre o alvo em relação ao comprimento do pulso, conforme a figura 2.6.



**Figura 2.6** Variação da resolução longitudinal em função do ângulo de depressão. (LILLESAND & KIEFER, 2004).

Os dois alvos na posição A e os dois alvos na posição B são idênticos e estão separados entre si por uma distância de 20m. Segundo a equação de  $r_T$ , que calcula a resolução longitudinal, percebe-se que ela é medida em função do tempo de duração do pulso (LILLESAND & KIEFER, 2004).

Como os alvos estão em distâncias diferentes em relação à antena, esta distância é dependente do ângulo de depressão que a antena faz em relação aos alvos. Assim sendo, os alvos A e B são iluminados de acordo com o ângulo de depressão. No caso da figura 2.6, os alvos em posição A são iluminados sob um ângulo de depressão de  $35^\circ$  e os alvos em posição B, são iluminados sob um ângulo de depressão de  $50^\circ$ .

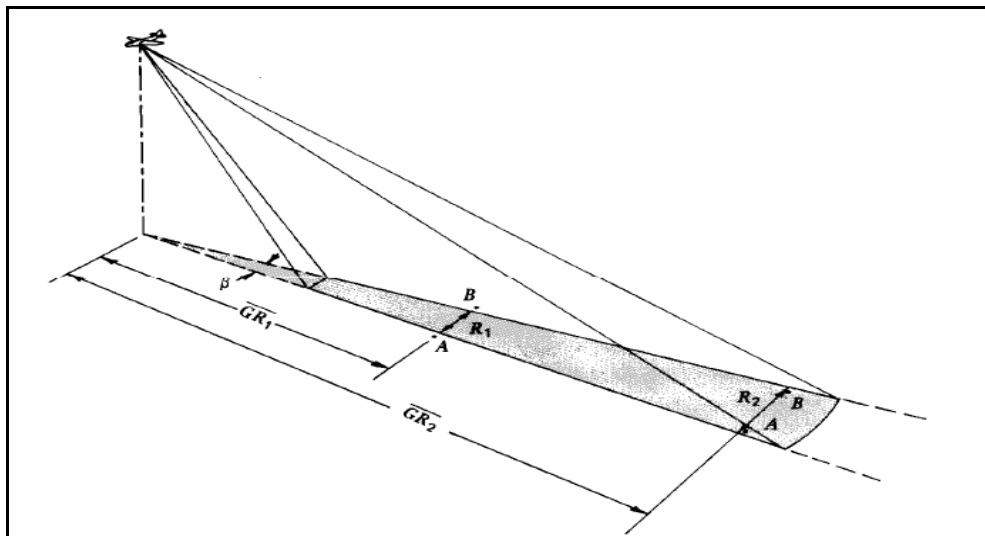
### 2.1.5 Resolução Azimutal

A resolução azimutal, que é paralela à direção do voo, é determinada pela largura do feixe  $\beta$  da antena e pela distância medida no terreno do alvo até a projeção vertical da plataforma sobre o terreno. Desta forma, a resolução azimutal

determina a largura da faixa de iluminação no terreno e pode ser empregada a seguinte fórmula para calcular a resolução azimutal.

$$R_{AZ} = GRx\beta \quad (2.3)$$

onde, GR é a medida da distância do alvo no terreno e  $\beta$  é o ângulo de abertura da antena, como mostra a figura 2.7.



**Figura 2.7** Resolução espacial na direção azimutal depende da largura  $\beta$  do feixe e da distância  $G_R$  do alvo à antena (LILLESAND & KIEFER, 2004).

A largura da antena de RADAR pode ser medida pela equação a seguir.

$$\beta = \frac{\lambda}{AL} \quad (2.4)$$

onde,  
 $A_L$  = tamanho da antena.

## 2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS RADAR

### 2.2.1 Frequência e Comprimento de Onda

O pulso da radiação eletromagnética enviada pelo transmissor por meio da antena tem duração em intervalos de microssegundos (cerca de 1.500 pulsos por segundos). Por ter comprimentos de ondas muito maiores do que os do visível, as

microondas carregam consigo baixíssimas quantidades de energia (MENESES, 2006).

A magnitude do coeficiente de retroespalhamento depende diretamente do comprimento de onda e da frequência, definindo-se desta forma a ordem de grandeza dos efeitos da constante dielétrica e da rugosidade superficial dos alvos (ULABY et al., 1986).

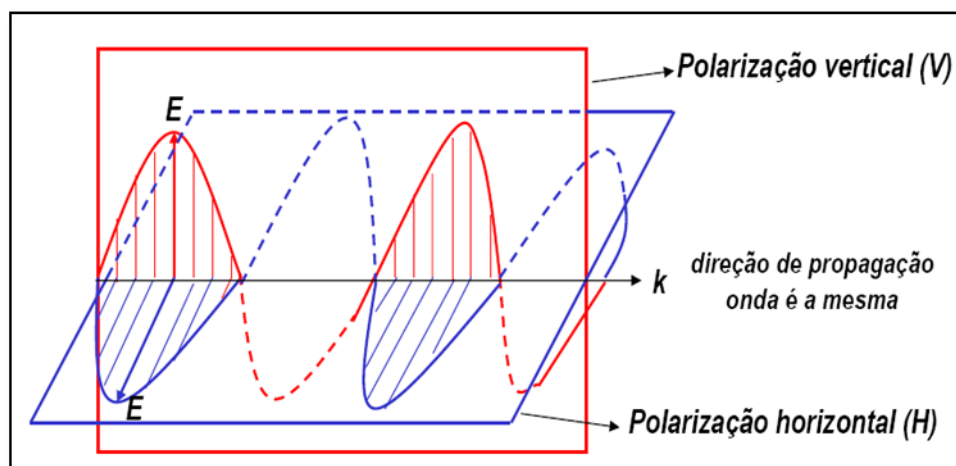
O retroespalhamento é resultado do espalhamento superficial ou volumétrico que ocorre quando a radiação atinge o alvo. Em casos de formações florestais, a forma superficial do dossel das copas das árvores irá determinar o tipo e a intensidade do espalhamento, devido ao tamanho e aos elementos dos vegetais presentes (ABOUT NETA, 2009).

Em função da constante dielétrica, o alvo apresentará forte sinal de retorno independente do comprimento da onda de RADAR, da rugosidade do terreno e ou do ângulo de depressão. Em função da rugosidade do terreno, a radiação se comporta de forma difusa, quando o pulso de RADAR é espalhado em todas as direções, e ou de forma especular, quando o pulso de RADAR é direcionado para a direção oposta à irradiação emitida pelo sensor (LILLESAND & KIEFER, 2004).

### 2.2.2 Polarização

Quando um pulso de energia de microondas é emitido pela antena de um sensor RADAR, o vetor de seu campo eletromagnético pode ser controlado para vibrar em determinada direção (MOTT, 2007). Quando o vetor do campo eletromagnético vibra em todas as direções, diz-se que a onda é não polarizada (JENSEN, 2009).

A polarização é uma importante fonte de informação dos alvos, no qual a energia em microondas tem um componente polarizado definido pelo vetor campo elétrico (E), freqüentemente linear, ou seja, horizontal (H) ou vertical (V). Outras possíveis formas de polarização incluem as ondas circulares e elípticas, as quais descrevem orientações angulares do vetor campo elétrico e sua variação no tempo (ABOUT NETA, 2009).



**Figura 2.8** Direção de polarização horizontal e vertical da onda de RADAR (ELACHI, 2006).

A polarização da onda eletromagnética pode ser transmitida e recebida em HH e em VV, respectivamente. O pulso da energia interage e parte dele é retroespalhado até ser recebido pelo sensor onde passa por um filtro. Se o sensor aceita a energia retroespalhada, o sensor registra. Se ao contrário, o sensor não aceita a energia retroespalhada, o sensor não faz o registro do sinal (JENSEN, 2009).

Ainda segundo Jensen (2009), existem vários tipos de energia polarizada que podem ser registradas pelo sensor como a seguir:

- Enviar energia polarizada verticalmente e receber somente energia polarizada horizontalmente (VH);
- Enviar e receber energia polarizada horizontalmente (HH);
- Enviar e receber energia polarizada verticalmente (VV);
- Enviar energia polarizada horizontalmente e receber verticalmente (HV);

Quando as configurações de energia polarizada são em HV ou VH, denomina-se polarização cruzada.

Um exemplo bem simples e que ajuda entender melhor essa característica da polarização, é quando um sensor que envia um pulso de energia na polarização HH, é mais sensível aos difusores dispostos na posição horizontal em relação aos difusores dispostos, na posição vertical. O mesmo acontece na polarização VV, mas de maneira contrária à HH. O pulso de onda na polarização VV é mais sensível aos difusores dispostos, na posição vertical, em relação aos difusores em posição

horizontal. Quanto mais tipos de combinações de polarizações poderem ser realizadas, maior será o tipo de interação com os alvos, facilitando desta forma, a interpretação das imagens de RADAR (ABOUT NETA, 2009).

Utilizar apenas um tipo de polarização para análise dos alvos da superfície terrestre pode ser um complicador, haja vista que Búfalo (2005, *apud* Aboud Neta, 2009), demonstrou que a análise de dados de apenas uma única polarização, pode influenciar na ocorrência de erros de análise, principalmente ao se tratar de informações de áreas com mudanças recentes, como o caso de um desmatamento, ou um desastre natural, que tenha ocorrido recentemente. Dependendo do estudo que se esteja realizando, faz-se necessário o uso de diferentes polarizações e frequências (ABOUD NETA et al., 2009).

Segundo Ulaby & Elachi (1990), para garantir que toda a informação da onda dispersa seja mantida, a polarização deve ser medida através de uma representação vetorial, no qual por meio de radares polarimétricos, torna-se possível medir a amplitude e a fase relativa de todas as componentes das antenas de transmissão e recepção, para os elementos de resolução em uma cena de imagem.

### **2.2.3 Geometria de Aquisição**

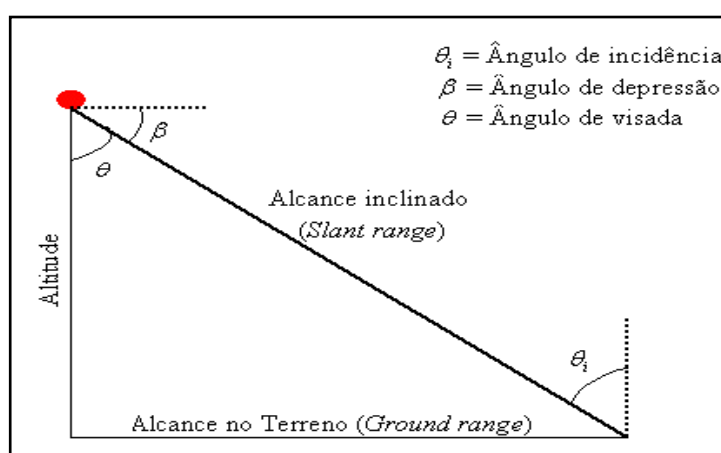
#### **2.2.3.1 Ângulo de Incidência**

O ângulo de incidência ( $\theta$ ) é o ângulo formado pela direção perpendicular à superfície terrestre e o feixe de onda que é emitido pelo sensor (JENSEN, 2009). Este ângulo aumenta de acordo com que se afasta da fonte de emissão do pulso de onda e denomina-se *near range*, o início da faixa imageada, onde se tem valores de retroespalhamento mais forte, e de *far range*, o final da faixa imageada, onde os valores de retroespalhamento são mais fracos em relação ao início da faixa (MOTT, 2007). Desta, um mesmo alvo, pode retroespalhar com mais ou menos intensidade o pulso da onda de RADAR.

Segundo Jensen (2009), o ângulo de incidência é um dos principais fatores que influenciam no retroespalhamento e na aparência dos objetos, e é responsável

por mais ou menos sombreamento na imagem de RADAR e efeitos de deslocamento e/ou inversão de relevo.

Considerando os efeitos relacionados ao ângulo de incidência, um sensor a bordo de uma aeronave, que opera a altitudes em torno de 3 a 12 km, consegue cobrir faixas da superfície terrestre com ângulos de incidência entre  $15^\circ$  a  $60^\circ$ , enquanto que um sistema orbital, que operam em altitudes em torno de 600 a 800km, consegue cobrir faixas da superfície terrestre com uma variação do ângulo de incidência bem mais restrita.



**Figura 2.9** Relação entre ângulo de incidência, depressão e visada Lenwis et. al. (2008, *apud* Aboud Neta et. al.,2009).

## 2.2.4 Distorções Geométricas

### 2.2.4.1 Distorções no Tamanho do Objeto

Por obterem imagens em visada lateral, as imagens são registradas de duas formas: no plano inclinado e no plano do terreno. A figura 2.10, mostra que os alvos A, B e C têm o mesmo tamanho e se distanciam entre si. As medidas das distâncias em plano horizontal do terreno em relação à posição do sensor ou da plataforma são  $GR_A$ ,  $GR_B$ , e  $GR_C$ . Quando os alvos A, B e C são medidos no plano inclinado ao longo da propagação do pulso de onda, observa-se que seus tamanhos são diferentes, o que significa dizer que o objeto  $A_1$  é menor que o objeto  $B_1$ , que é menor que o objeto  $C_1$ , no plano inclinado (*slant range*). Para que na imagem não ocorra esse tipo de distorção, as imagens são disponibilizadas no plano do terreno (*ground range*).

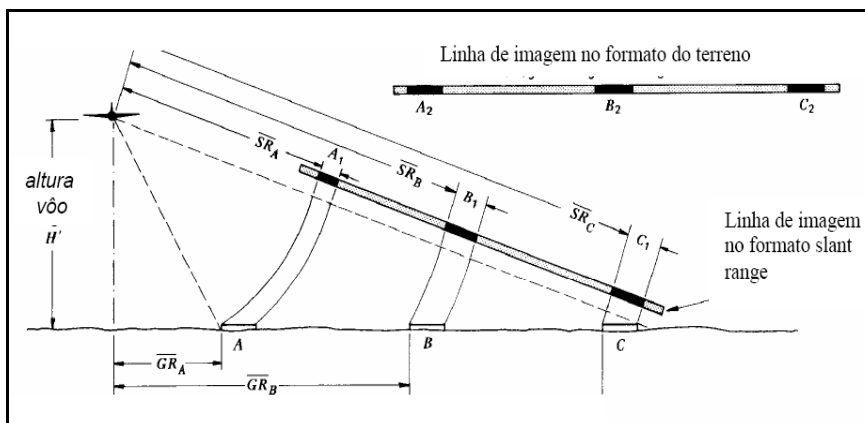


Figura 2.10 Distorção da imagem no plano inclinado (LILLESAND & KIEFER, 2004).

#### 2.2.4.2 Deslocamento do Relevo

Quando o topo está deslocado em relação à base de qualquer objeto da superfície terrestre, como uma montanha ou um prédio, denomina-se que ocorreu um deslocamento de relevo. Isso ocorre quando a frente de onda de RADAR atinge um objeto, e o sinal retorno do topo, chega primeiro a antena e depois o sinal de retorno da base do objeto.

Quando a frente de onda atinge primeiro o topo do alvo, para depois atingir a base, denomina-se de inversão de relevo (*layover*). Outro tipo de distorção que pode ocorrer em uma imagem devido as irregularidades do terreno é o encurtamento de rampa (*foreshortening*), caracterizado pela relação de inclinação da frente de onda com a frente da vertente de relevo, pois a duração de tempo que o feixe de RADAR leva para iluminar a frente de uma encosta de sua base ao topo, vai determinar sua dimensão na imagem. As figuras a seguir ilustraram esses tipos de distorções.

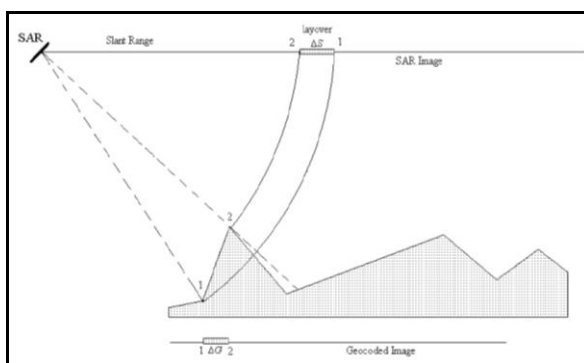


Figura 2.11 Layover (MACEDO, 2001).

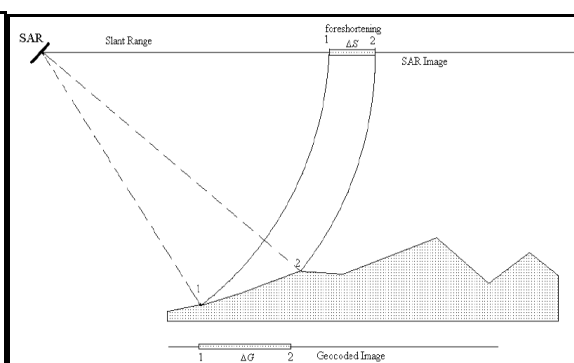


Figura 2.12 Foreshortening (MACEDO, 2001).

## **2.2.5 Interação entre o Sinal RADAR e Alvos**

### **2.2.5.1 Espalhamento de superfície - rugosidade e constante dielétrica**

Existem basicamente duas condições que controlam a intensidade do retroespalhamento do sinal nas imagens de RADAR: a geometria dos alvos e a constante dielétrica dos materiais.

Nos comprimentos de onda das microondas, a energia é muito pequena para penetrar nos materiais, fazendo com que a interação ocorra principalmente pela relação entre tamanho de onda e dos alvos (MENESES, 2006).

Uma superfície pode ser um refletor difusor quando o tamanho da onda é menor que a rugosidade do terreno. Nesse caso o refletor retroespalha a radiação eletromagnética em todas as direções. Uma superfície pode ser um refletor especular, quando o tamanho da onda é maior que a rugosidade do terreno, fazendo com que a radiação eletromagnética em contato com uma superfície lisa é toda direcionada para direção oposta à direção da irradiação do sensor (ELACHI, 1987).

Por existir na superfície terrestre uma variedade de refletores e dispostos um ao lado do outro, os alvos se comportam como refletores difusores e especulares. Isso ocorre quando o pulso de onda atinge um alvo refletor especular e é direcionado para um alvo refletor difusor, causando uma dupla reflexão e produzindo um sinal de retorno muito alto, ocasionando um nível de cinza claro em uma imagem de RADAR. A figura 2.13 demonstra uma situação hipotética do imageamento por um sensor RADAR e sua interação com o alvo (LIMA, 1995).



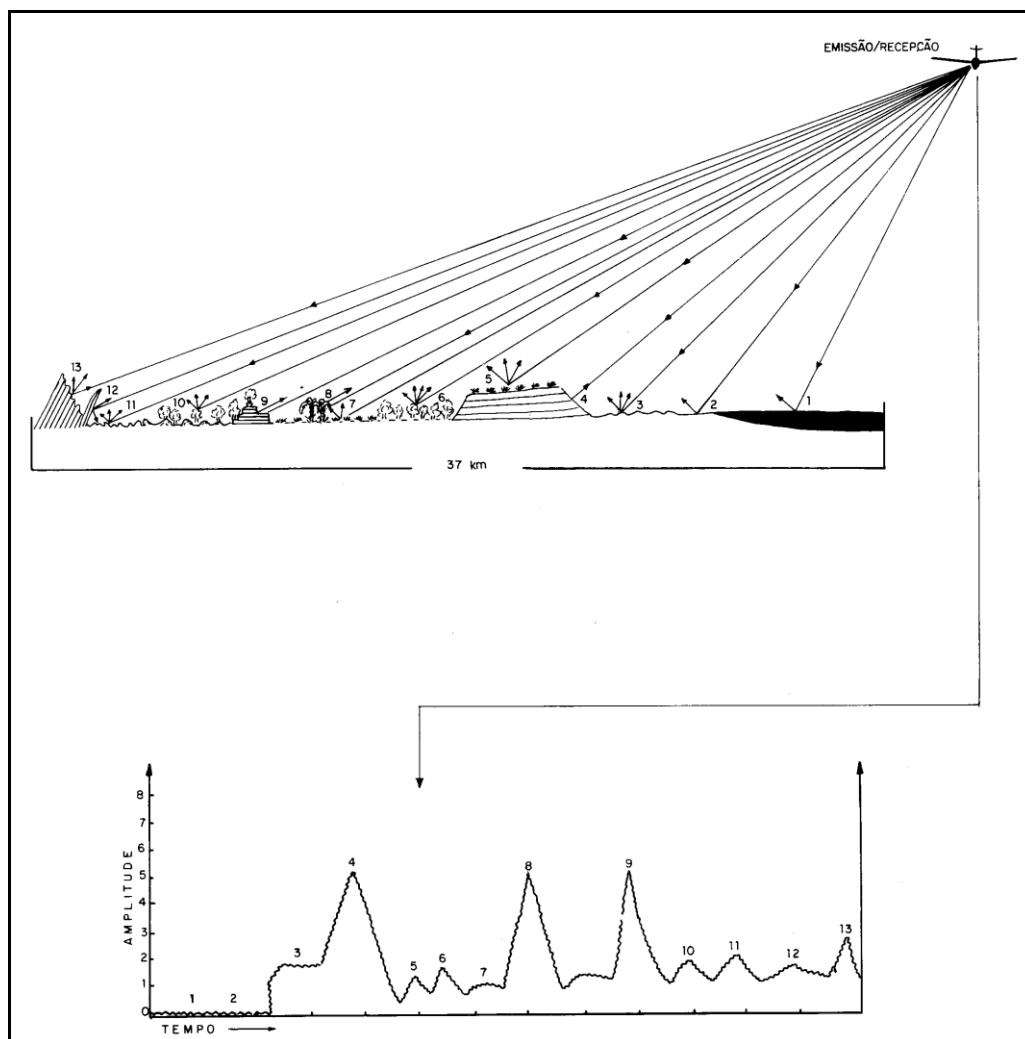


Figura 2.13 Relação de interação sinal e alvo na superfície terrestre (LIMA, 1995).

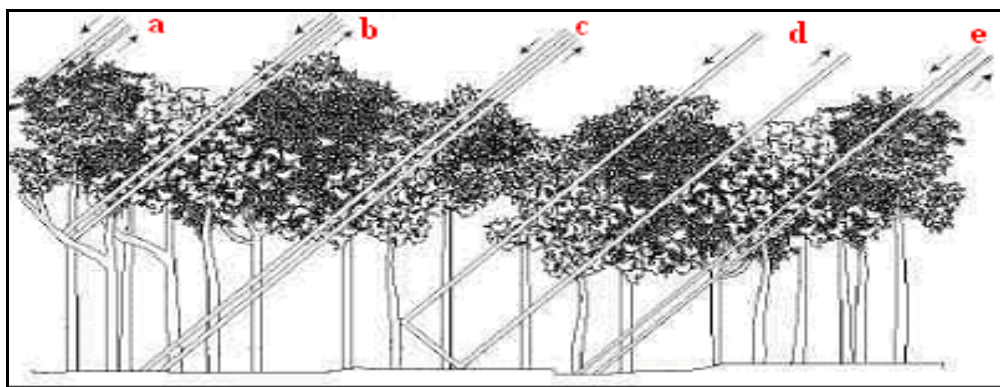
Nos pontos (1,2) ocorre uma reflexão especular, no ponto (3) ocorre uma reflexão difusa, devido a altura das irregularidades do terreno, nos pontos (5,6,7,8), ocorrem as variações das reflexões, devido à diversidade de formação vegetal. No ponto (9), ocorre uma dupla reflexão, nos pontos (10, 11, 12), ocorrem variações devido a transição de paisagem e no ponto (13) o retorno é do tipo frontal.

Outra condição para que ocorra um sinal forte de retorno do sinal, independe do tamanho da onda, da rugosidade do terreno ou do ângulo de depressão, é a constante dielétrica. A dielétrica é a capacidade dos materiais em formar dipolos na presença de um campo eletromagnético externo e em armazenar energia. Segundo Lillesand & Kiefer (2004), as rochas e solos possuem baixa constante dielétrica e a presença de água nas estruturas das folhas de uma vegetação ou solos úmidos,

possuem alta constante dielétrica. De maneira geral, quanto mais úmido o alvo, maior é o retroespalha a onda RADAR.

### 2.2.6 Vegetação – Difusão Volumétrica

Os mecanismos de interação entre o sinal RADAR e os aspectos estruturais das florestas tem sido objetos de vários estudos (ZEBKER et al, 1991; CLOUDE & POTTIER, 1997; CHAMPION et al. 1998; WATANABE et al. 2006). Existem vários mecanismos de interação (FREEMAN e DURDEN, 1998), tais como: retroespalhamento múltiplos dentro das copas das árvores (espalhamento volumétrico), espalhamento direto a partir do troncos de árvores, espalhando a partir da interação solo-dossel, espalhando da interação solo-tronco (duplo retorno), cujas intensidades dependem da onda SAR, da polarização, do ângulo de incidência e das características do terreno (SANTOS, 2009).



**Figura 2.14** O pulso de onda de RADAR indicado pela letra (a), mostra como ocorre o retroespalhamento superficial e de interior de dossel; Em (b) Retroespalhamento de troncos e galhos; (c) Retroespalhamento do solo; (d) ocorre Reflexão dupla tronco-solo; (e) Retroespalhamento integrado entre tronco e solo. Modificado de Ulaby et al. (1984) e Kuplich (2003).

No comprimento de onda das microondas, o dossel das copas das árvores pode ser caracterizado por um conjunto de elementos difusores ocupando certo volume no espaço sobre uma superfície difusora constituída de solo. Nesse ambiente, o coeficiente de retroespalhamento é representado pela soma das reflexões do próprio dossel, do retroespalhamento direto do solo e de múltiplos espalhamentos entre os elementos difusores do dossel e os da superfície do solo (ULABY et al., 1984).

## 2.2.7 Pré-processamento das imagens

### 2.2.7.1 Ruído Speckle

Imagens de *RADAR* apresentam um ruído multiplicativo denominado *speckle*, o que dificulta uma análise mais apropriada das imagens, tanto ao olho humano, quanto por um processamento automático. O ruído *speckle* provoca uma grande variação de valores de intensidade em toda a imagem, atribuindo à imagem um aspecto de sal e pimenta, dificultando a interpretação dos dados e discriminação dos alvos a serem classificados (LE TOAN & MARTINEZ, 2007).

O ruído é resultante das interferências construtivas e destrutivas da energia retroespalhada pelo alvo e é o principal complicador do processo de segmentação e classificação de imagens de *RADAR*, provocando uma baixa na eficiência dos segmentadores desenvolvidos para imagens ópticas (SOUZA JR., 2005). Segundo Raney (1998 *apud* ABOUD NETA, 2009), uma forma eficiente de reduzir o aspecto de sal e pimenta nas imagens é a utilização de filtros redutores de *speckle*. Estes filtros são aplicados com a finalidade de suavizar as variações de alta frequência com o mínimo de perda de informação textural, de bordas e de alvos pontuais, e faz a manutenção da média de áreas homogêneas. Por outro lado, a aplicação de filtros provoca uma degradação da resolução azimutal da imagem. Segundo Aboud Neta (2009), imagens *multilook* podem ser representadas em formatos complexos ou na forma de imagens amplitude ou intensidade. Uma imagem intensidade de “n” *looks* é a média das intensidades de “n” imagens de um *look*, enquanto que a imagem amplitude de “n” *looks* é a raiz quadrada da média das intensidades de “n” imagens de um *look*.

Outra técnica utilizada para reduzir o *speckle* em imagens de *RADAR* é a utilização de filtros espaciais redutores de *speckle* que foram propostos para aumentar a razão sinal/ruído nas imagens SAR. Pode-se citar o filtro *Gamma*, que é um filtro adaptativo que altera a imagem ruidosa com base nas estatísticas extraídas localmente, preservando o valor médio e as bordas das imagens (ABOUD NETA, 2009).

Existem vários tipos de filtros e pode-se citar alguns filtros como os que estão disponíveis no *Erdas*, que são específicos para processamento de imagens de

*RADAR* como **Lee-Sigma**, filtro que utiliza a média de todos os valores de pixels dentro de uma janela que pode ser especificada pelo usuário (3x3, 4x4, 5x5, etc) em intervalo de desvio-padrão; o filtro **mediana**, que seleciona o valor no meio do intervalo de valores dentro da janela; o filtro de **região local** que usa o valor médio dos pixels da região local da janela que se deslocam com a menor variação; o filtro **Lee**, baseado no pressuposto de que a média e a variância do pixel de interesse são iguais à média local e variância de todos os pixels dentro da janela e o filtro de **Frost** que é um algoritmo de erro mínimo médio quadrado que se adapta às estatísticas locais da imagem para preservar as arestas e as pequenas características em uma imagem de *RADAR* (ERDAS, 2007).

#### 2.2.7.2 Segmentação

Uma das primeiras etapas para o processo de análise das imagens de *RADAR* é a segmentação. A segmentação tem como função básica segmentar ou seccionar a imagem dividindo partes ou blocos que são agrupados a partir de critérios de uniformidade, como média, intensidade, contraste ou textura.

Normalmente, a segmentação é baseada em duas características que os *pixels* das imagens apresentam a similaridade e a descontinuidade. O método da similaridade caracteriza-se pela agregação de *pixels* em função da semelhança existente entre os *pixels* vizinhos e o método da descontinuidade caracteriza-se pela separação de grupos de *pixels* vizinhos por meio da abrupta mudança dos valores digitais da imagem (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Diversas técnicas de segmentação de imagens são utilizadas atualmente e normalmente realizam a segmentação baseado no valor digital de cada *pixel*, na análise de textura e no histograma da imagem (MAGHSOUDI, 2010). Diversos são os métodos utilizados e desenvolvidos para avaliar e comparar o desempenho de algoritmos de segmentação.

Cada método de segmentação tem um tipo diferente de algoritmo e cada vez mais propostas têm sido desenvolvidas para prover de forma automática um seccionamento da imagem que atenda às expectativas de aplicabilidade dos diversos usuários nos mais diferentes tipos de trabalho.

### 2.2.7.3 Classificação

Classificação é o processo de classificar *pixels* em um número finito de classes individuais ou categorias de dados, com base nos valores do *pixels* de uma imagem ou arquivos de dados. Se um pixel satisfaz certo conjunto de critérios, então o pixel é atribuído à classe que corresponde a esse critério. Para a primeira parte do processo de classificação, o classificador deve ser treinado para reconhecer padrões nos dados. O treinamento é o processo de definição dos critérios pelos quais esses padrões são reconhecidos. O resultado do treinamento é um conjunto de assinaturas, que são critérios para um conjunto de classes propostas (MENESES, 2006).

Há duas maneiras de classificar os pixels em diferentes categorias: não-supervisionada e supervisionada. Na classificação não-supervisionada, regras de decisão para o processo de classificação são empregadas. Um tipo de classificador não-supervisionado que pode ser utilizado e está disponível no *software ERDAS IMAGINE*, é o algoritmo *ISODATA (Interativo Self-Organizing Data Analysis Technique)*. É interativo na medida em que repetidamente executa uma classificação completa (saída de um layer temático), e recalcula estatísticas. "Auto-organização" refere-se à maneira em que ele localiza os *clusters* que são inerentes aos dados.

O método de agrupamento *ISODATA* usa a fórmula espectral de distância mínima para formar aglomerados. Começa com um agrupamento (*cluster*) arbitrário pelos meios por meio de um conjunto de assinaturas existentes e, cada vez que se repete agrupando, alguns *pixels* são deslocados para outra classe e são utilizados para a próxima interação. O utilitário *ISODATA* repete o agrupamento da imagem até que um número máximo de interações foi executada, ou uma porcentagem máxima de pixels inalterados foram alcançados entre duas interações (MENESES, 2006). Nos processos de classificação supervisionada, que é o processo no qual as amostras de identidade conhecidas são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida, o analista identifica na imagem as classes de seu interesse e separa em regiões que melhor representa a classe desejada. Desta maneira o classificador separa as regiões em áreas de treinamento que serão utilizados para representar a classe. O classificador de máxima verossimilhança é

baseado na probabilidade de que um pixel pertence a uma classe particular. A equação básica assume que estas probabilidades são iguais para todas as classes, e que as faixas de entrada têm distribuições normais.

### **2.2.8 Satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*)**

Lançado em 24 de Janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa (JAXA), o satélite para observação da Terra ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), foi desenvolvido para contribuir com pesquisas relacionadas ao sensoriamento remoto, uso e cobertura do solo, monitoramento de desastres e análise de recursos naturais. Seus antecessores foram os sensores JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) e ADEOS (*Advanced Earth Observation Satellite*). A plataforma possui 3,5m de largura por 4,5m de comprimento e 6,5m de altura com um peso bruto de aproximadamente 4 toneladas, o que faz dele um dos maiores satélites de observação da Terra (JAXA, 2008).

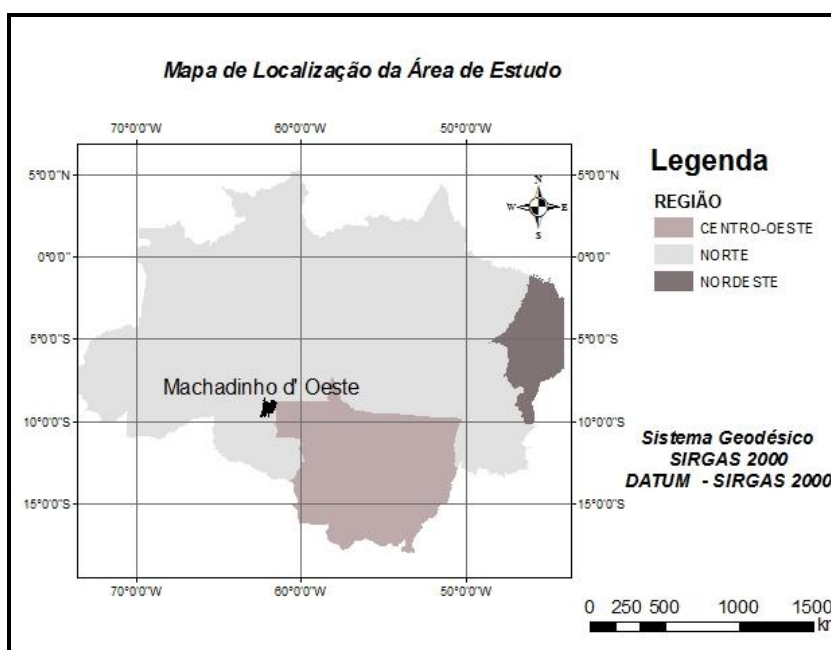
O ALOS descreve uma órbita circular heliosíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita a um mesmo ponto do planeta de 46 dias. É caracterizado por possuir três sensores, o PRISM (*Panchromatic Remote sensing Instrument for Stereo Mapping*), com 2,5 metros de resolução espacial com a finalidade de calcular com precisão a elevação da Terra por meio de três sistemas ópticos, o AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer*), com resolução espacial de 10 metros e funcionalidade de observar a cobertura da superfície terrestre e o PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture RADAR*), o qual é um RADAR imageador de abertura sintética que opera em banda L (23,6 cm), resolução espacial que varia de 6,5 a 100 metros e capacidade de operação em cinco modos de operação diferentes: modo de polarização *fine*, com feixe único – *FBS (Fine Beam Single Polarization)*, modo de polarização *fine* com feixe duplo – *FBD (Fine Beam Dual Polarization)*, modo polarimétrico PLR (*Polarimetric Mode*), modo ScanSar (*ScanSar Mode*) e modo de transmissão direta DT (*Direct Transmission*). Imagens de *RADAR* possibilitam observação da Terra independente do horário e condição climática (IBGE, 2007).

### 3 LOCALIZAÇÃO, MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO MACHADINHO D`OESTE

O Estado de Rondônia está localizado a oeste da região conhecida como Província Tapajós, de acordo com a compartimentação elaborada por Almeida et al. (1977). O quadro geológico do sudoeste da Amazônia, mais especificamente da região abrangida pelo Estado de Rondônia, compreende unidades de rochas de sistemas estruturais que se iniciaram no final do período Paleoproterozóico (1,8 a 1,6 bilhões de anos), culminando com a deposição das chamadas coberturas cenozóicas num período mais recente (2 milhões de anos até o recente) segundo Scandola et al. (1999). Durante essa longa evolução, foram constituídas as unidades geológicas que englobam rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (SCANDOLARA et al. 2002).

O município de Machadinho d'Oeste localiza-se a nordeste de Rondônia entre as coordenadas geográficas 062° 33' e 061° 27' de longitude oeste e 08° 34' e 09° 49' de latitude sul e altitude de 102 metros. Apresenta como limites os Estados do Amazonas (a norte) e Mato Grosso (a leste) e os municípios rondonienses Vale do Anari (a sul), Cujubim, Rio Crespo e Ariquemes a oeste (ALMEIDA et al., 1995). Sua população em 2010 era de 31.107 habitantes e área total de 8509 Km<sup>2</sup>, sendo área de estudo deste trabalho.



**Figura 3.1** Localização do Município de Machadinho d'Oeste.

O processo intenso de antropização ocorrido nas últimas décadas no município tem proporcionado condições para ajustes morfoodinâmicos na paisagem em função da substituição da cobertura vegetal. Nessas tendências de ajustes tem aumentado escoamento superficial das águas pluviais e iniciado processos erosivos induzidos acelerados, tendo como consequência assoreamentos e degradação na qualidade dos solos e águas, prejudicando uso futuro da terra e a biodiversidade (CHELLY & MANIESI, 2008).

O município de Machadinho D'Oeste faz parte do arco de desmatamento amazônico, com processo marcante de ocupação a implantação de projetos de assentamentos governamentais diferenciados, em contraste com a simples demarcação em forma de “espinha de peixe”, aplicado na maioria de outros assentamentos em Rondônia. Outro diferencial de ocupação refere-se à delimitação de unidades de conservação de uso sustentável, a partir de reservas florestais agrupadas, dispostas em blocos (BATISTTELA & BRONDIZIO, 2001). São unidades de conservação que têm funcionado como uma barreira contra o avanço do desmatamento. Entretanto, as ameaças do desmatamento ilegal transformaram essas unidades em áreas sob forte pressão social, dada as localizações no arco de desmatamento amazônico.



**Gráfico 3.1** Monitoramento de áreas desmatadas em Machadinho D'Oeste: Projeto PRODES e DETER (2009).

O rápido crescimento populacional e desenvolvimento econômico decorrente das atividades agrícolas exigiram a sua autonomia política e administrativa. A área do Projeto Integrado de Colonização Machadinho foi elevada à categoria de município, com sede no povoado do mesmo nome com *status* de cidade. O seu



nome é em homenagem ao rio Machadinho, afluente da margem esquerda do rio Ji-Paraná.

### **3.1.1 Clima**

Segundo a classificação de Köppen (2000), o tipo climático da região é do tipo tropical (Aw) quente e úmido, apresentando precipitação elevada. A média anual da precipitação ocorre em seis faixas diferentes no município que variam entre 2.100 a 2.600 mm/ano.

Os maiores déficits hídricos podem ser registrados nos meses de julho, agosto e setembro associados a temperaturas médias mensais e diárias mais elevadas. As maiores precipitações se concentram nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, com média acima de 2.700 mm/ano (MIRANDA et al., 1997).

### **3.1.2 Hidrografia**

Machadinho d'Oeste está inserido na Bacia do Rio Machado, que representa a mais extensa dentre as sete bacias hidrográficas de Rondônia, possuindo o segundo maior potencial hidrelétrico, com 1.665 Mw. De acordo com Cruz (1974), o Rio Machado, como rio principal, segue seu curso em direção geral sul-norte até latitude 08° 57' sul, onde há um desvio brusco para oeste, até seu desembocar no Rio Madeira. O desvio do rio foi denominado por Cruz (1974) como cotovelo de captura, relacionado à interferência de reativação holocênicas de estruturas antigas e soerguimentos com reajuste da drenagem.

### **3.1.3 Vegetação**

A cobertura vegetal de Machadinho d'Oeste é formada de floresta ombrófila aberta, floresta ombrófila densa, formações pioneiras, savana (cerrado) e áreas de tensão ecológica ou de contato (RONDÔNIA, 2002).

A floresta ombrófila aberta se caracteriza por ocupar grandes extensões de terrenos de litologias variadas e modelados diversos (formas de acumulação e dissecadas). As copas são pouco contíguas e o estrato arbustivo é pouco denso.

Subformações deste tipo de vegetação são denominadas de florestas ombrófilas aberta submontana com palmeiras, submontana com cipós, aluvial com palmeiras e terras baixas com palmeiras. Dentre as subformações, a maior predominância na área é a floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras, caracterizada principalmente pela fácies floresta-de-cipós.

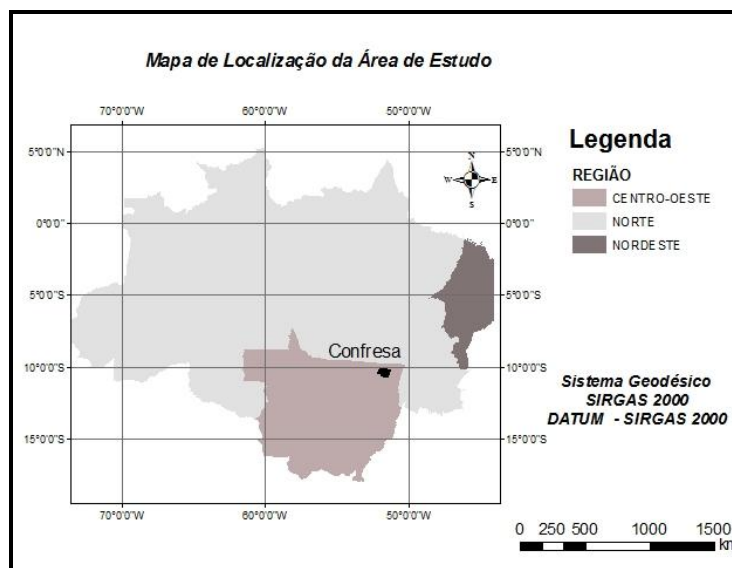
Floresta ombrófila densa é caracterizada por árvores emergentes (macrofanerófitas) que sobressaem por cima da floresta, estando em exposição completa, árvores quase todas da mesma altura (mesofanerófitas), considerado como cobertura uniforme, submata formada por plantas da regeneração natural, e arbustos, subarbustos, formando andares arbustivos herbáceos.

Formações pioneiras que estão instaladas em solos cujo modelado é de acumulação, seja por influência marinha, seja fluvio-marinha ou puramente fluvial (várzea atuais, terraços) ou ainda fluvio-lacustres possuindo plantas adaptadas (herbáceas à arbóreas), as condições ecológicas desses ambientes.

Formações Savana estabelecidas em cobertura arenítica do Pará, Amazonas e Rondônia caracterizada por uma cobertura herbácea mais ou menos densa e matas-de-galeria que acompanham as margens dos rios menores.

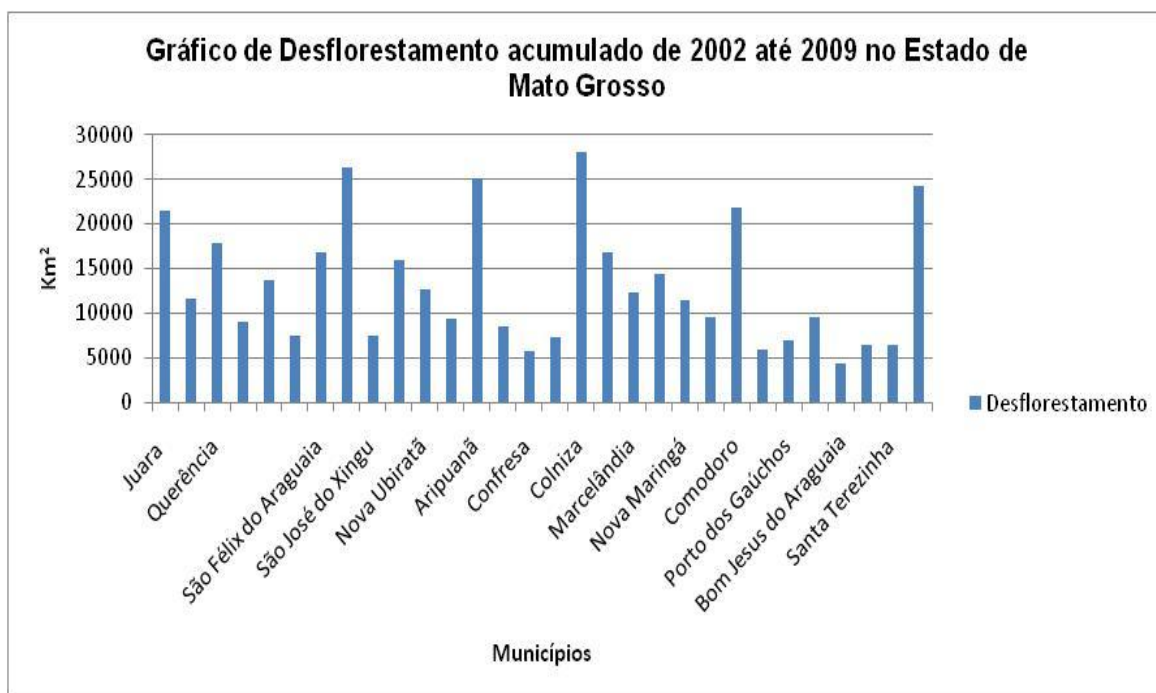
### 3.2 ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO DE CONFRESA

A primeira denominação do núcleo de povoação que originou o atual município de Confresa foi Vila Tapiraguaia - fusão dos termos Tapirapé e Araguaia. A colonização de Confresa deu-se na década de setenta vislumbrou o surgimento de uma grande cidade na região.



**Figura 3.2** Mapa Imagem da localidade de Confresa.

Sua população estimada em 2007 era de aproximadamente 32.986 habitantes, sendo o município mais populoso da microrregião Norte do Araguaia com área de 5.819,73 km<sup>2</sup>, o que resulta numa densidade demográfica de 5,67 hab./km<sup>2</sup>. De acordo com os estudos demográficos feitos pela UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso, o município possui uma das maiores taxas de crescimento urbano do estado, cerca de 4,7% ao ano, acompanhado de fortes índices de desmatamento.



**Gráfico 3.2** Monitoramento de áreas desmatadas para o Estado de Mato Grosso: Projeto PRODES e DETER (2009).

De acordo com a proposição de Ab'Saber (1997), no estado de Mato Grosso, incidem dois domínios principais: o Domínio Morfoclimático dos Cerrados; e o Domínio Equatorial Amazônico. O domínio do Cerrado caracteriza-se pela presença de extensos platôs (chapadas e chapadões) de altitude relativamente pequena, com solos extremamente profundos. As temperaturas médias situam-se entre 21° e 26° C e as precipitações anuais entre 1.300 e 1.900 mm, sendo a estação seca (de maio a setembro) bem definida. A fisionomia vegetal predominante é constituída por bosques abertos, com árvores contorcidas e grossas de pequena altura (entre 8 e 12m); um estrato arbustivo e outro herbáceo, onde predominam gramíneas e leguminosas.

Em função de peculiaridades edáficas, topográficas e climáticas do Domínio dos Cerrados, pode-se distinguir pelo menos 3 tipos de Cerrado ou Savana, como Campos Cerrados constituídos por vegetação herbácea, com poucos arbustos; Cerrado Propriamente Dito, com presença de arbustos e indivíduos arbóreos com troncos contorcidos e grossos, casca espessa e quebradiça e folhas coriáceas e Cerradão com formação florestal, não muito densa, mas com dossel constituído por espécies do Cerrado (AB' SABER, 1997).

Ainda como característica do Domínio dos Cerrados tem-se a presença das Florestas de Galeria (ou matas-ciliares). Estas começam, em geral, nos pequenos pântanos dos nascedouros dos ribeirões, sob a forma de alamedas (veredas) de buritis (*Mauritia* sp). Ao longo dos cursos d'água, as veredas vão progressivamente adquirindo outras espécies de árvores, encorpando e ocupando gradualmente as "rampas" dos interflúvios. Quando as matas ciliares se fundem no interflúvio, considera-se o fim da área nuclear do domínio dos Cerrados.

O domínio Equatorial Amazônico compreende os baixos platôs e as planícies florestadas. O clima é quente e úmido, com temperaturas médias em torno de 25° C, com pouca variação anual e precipitação anual entre 2.000 e 2.500 mm. A vegetação característica é compreendida por Floresta Pluvial densa (Floresta Ombrófila). No Estado de Mato Grosso, a maior expressão das matas com características amazônicas situa-se no extremo Noroeste, na área de incidência do Contato Domínio Amazônico/Cerrado.

Em Confresa, a vegetação é caracterizada por uma área de transição entre o Cerrado e a Floresta Amazônica (IBGE, 2010) e está em uma das áreas mais desmatadas do estado, devido à expansão da fronteira agrícola.

O relevo de Confresa é formado por grandes planaltos suaves com declividade quase zero cerca de 2% e em algumas áreas caracteriza o relevo ondulado. Entre as serras formam-se grandes vales verdejantes com imensas extensões de terras planas propícias para plantios de grãos e pastagens.

## 3.2 MATERIAIS

### 3.2.1 Imagens ALOS/PALSAR

Para realização deste trabalho foram utilizadas imagens do sensor PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros. As imagens foram adquiridas pelo SIPAM nas polarizações HH e HV e cedidas para realização desta pesquisa.

**Tabela 3.1 – Informações das Imagens**

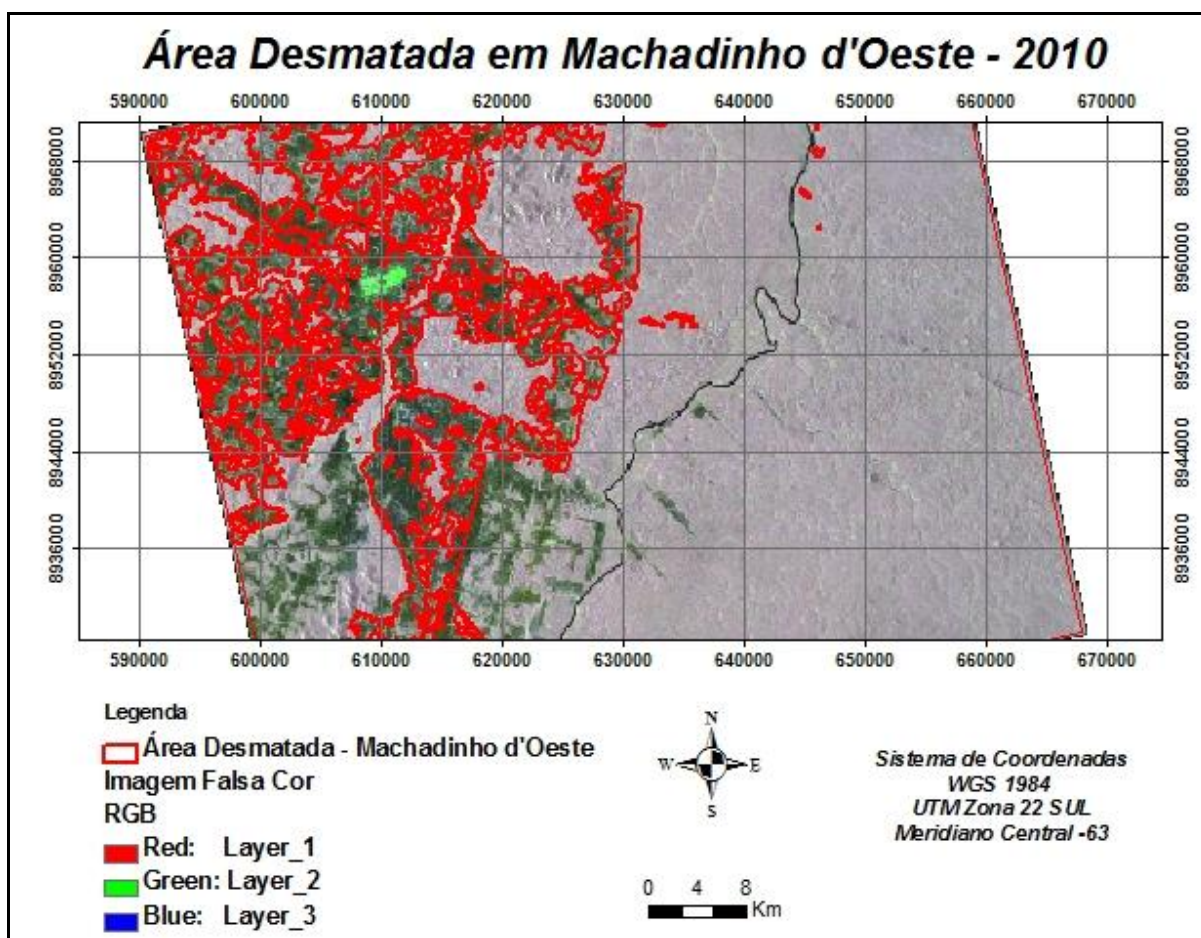
<i>Imagens PALSAR - Machadinho D`Oeste (RO)</i>		<i>Imagens PALSAR – Confresa (MT)</i>	
<i>Polarização</i>	<i>Datas</i>	<i>Polarização</i>	<i>Datas</i>
<i>HV</i>	<i>9/6/2007</i>	<i>HV</i>	<i>8/6/2007</i>
<i>HH</i>	<i>9/6/2007</i>	<i>HH</i>	<i>8/6/2007</i>
<i>HV</i>	<i>25/7/2007</i>	<i>HV</i>	<i>24/7/2007</i>
<i>HH</i>	<i>25/7/2007</i>	<i>HH</i>	<i>24/7/2007</i>
<i>HV</i>	<i>26/4/2008</i>	<i>HV</i>	<i>25/4/2008</i>
<i>HH</i>	<i>26/4/2008</i>	<i>HH</i>	<i>25/4/2008</i>
<i>HV</i>	<i>27/7/2008</i>	<i>HV</i>	<i>26/7/2008</i>
<i>HH</i>	<i>27/7/2008</i>	<i>HH</i>	<i>26/7/2008</i>
<i>HV</i>	<i>14/6/2009</i>	<i>HV</i>	<i>13/6/2009</i>
<i>HH</i>	<i>14/6/2009</i>	<i>HH</i>	<i>13/6/2009</i>
<i>HV</i>	<i>30/7/2009</i>	<i>HV</i>	<i>29/7/2009</i>
<i>HH</i>	<i>30/7/2009</i>	<i>HH</i>	<i>29/7/2009</i>

### 3.2.2 Dados auxiliares (Dados do SIPAM)

O Estado de Rondônia tem sido marcado pela forte expansão da área agrícola e outros fatores que tem aumentado o processo de desmatamento. Considerando que

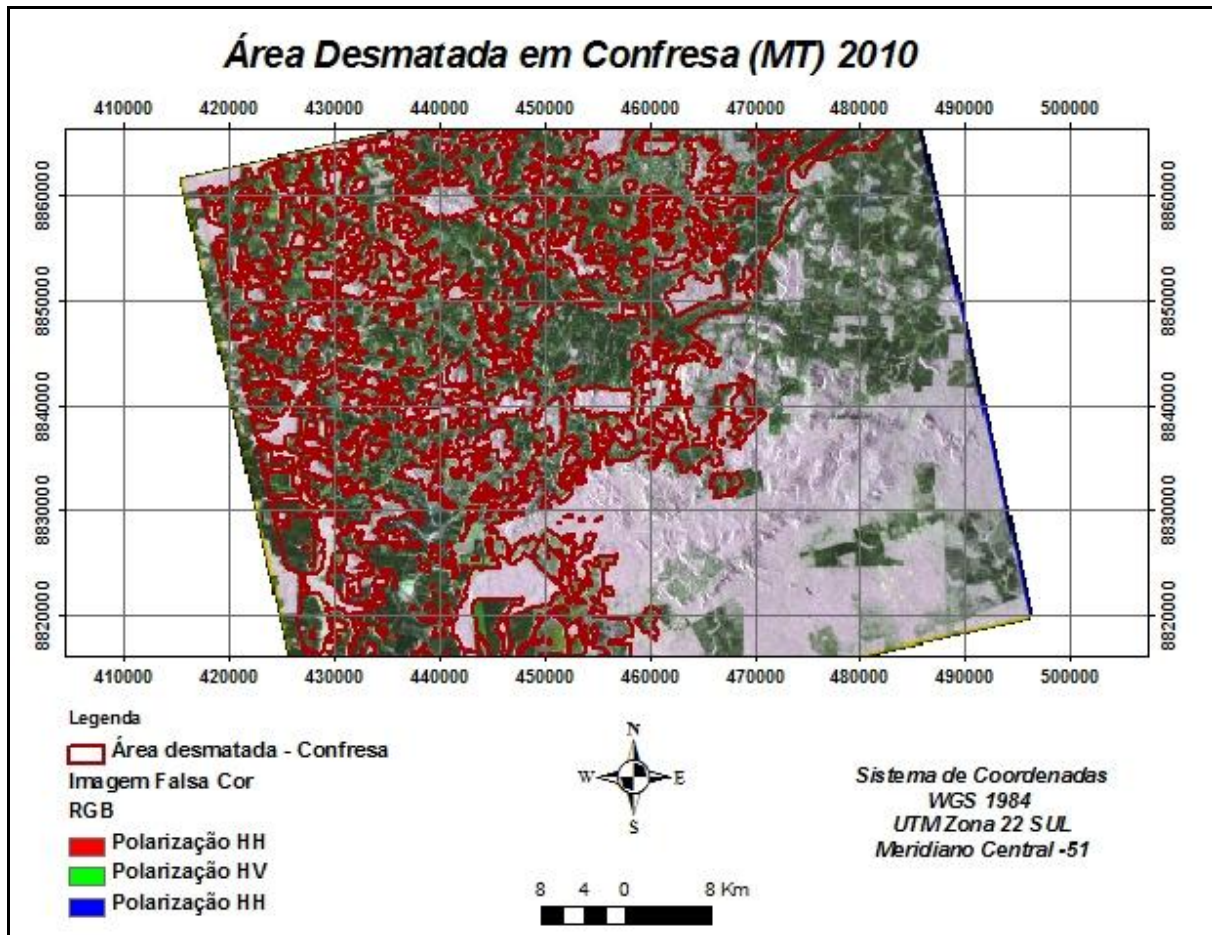
o processo de desmatamento na região de Machadinho D' Oeste, ocorre de forma dinâmica, por extração de madeira por corte raso, por processo seletivo, e entre outros, faz-se necessário a utilização de dados auxiliares para entender e comparar com os resultados encontrados neste trabalho.

O SIPAM por meio de dados de imagens de RADAR tem produzido arquivos *shapes* para analisar e avaliar o processo de desmatamento a partir da análise visual de imagens aerotransportadas utilizando como base, os métodos de fotointerpretação geológica, inicialmente desenvolvidos para fotografias aéreas por Soares e Fiori (1976) e que posteriormente, possibilitam a extração de informações por meio da análise dos elementos da imagem e de suas relações no município de Machadinho D' Oeste (PA) e Confresa (MT), que serviram como base para validação dos resultados encontrados. Com os dados pode-se extrair as áreas de desmatamento para estes municípios como as figuras 3.3 e 3.4.



**Figura 3.3** Área desmatada para a localidade de Machadinho d'Oeste com o *shape file* de desmatamento do SIPAM em vermelho.





**Figura 3.4** Área desmatada para a localidade de Confresa com o *shape file* de desmatamento do SIPAM em vermelho.

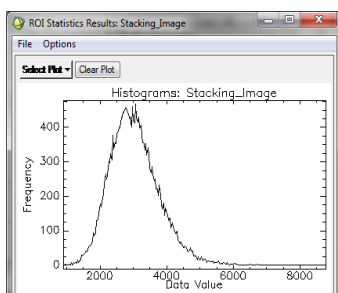
### 3.3 METODOLOGIA

#### 3.3.1 Pré-processamentos

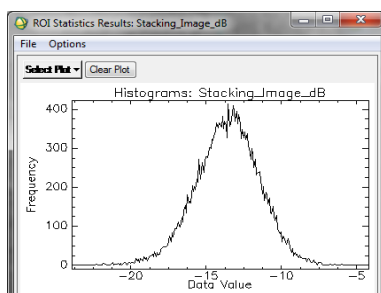
As imagens RADAR são geralmente distribuídas em formatos com valores digitais que precisam ser convertidos para obter valores de intensidade ou amplitude. As imagens PALSAR foram convertidas do formato *CEOS* para o formato *img*, para ser processado no *software Erdas Image*. Os números digitais, são os valores originais de *pixels* que foram convertidos por meio da equação 3.1.

$$\sigma = 10 * \log_{10}[A^2] + CF \quad (3.1)$$

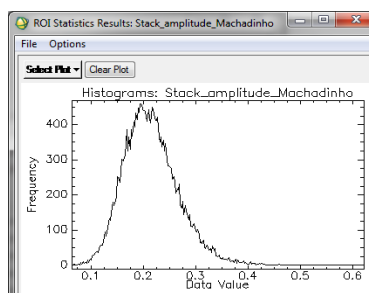
Onde  $A$  representa a imagem em amplitude e  $CF$  é a constante para calibração dos dados, definida pelo valor  $-83 \text{ dB}$ .



**Figura 3.5** Formato Original.



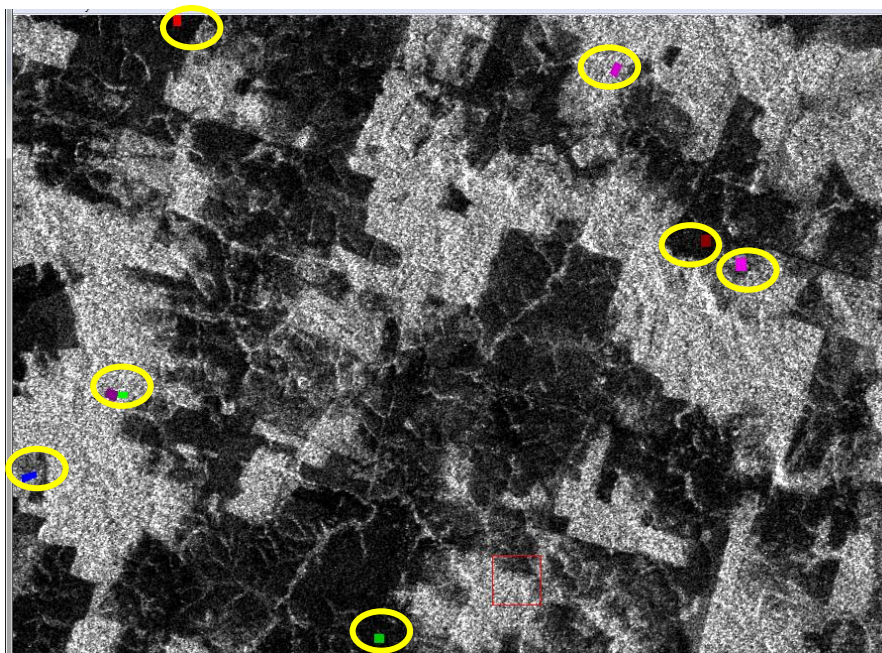
**Figura 3.6** Dados intensidade logarítmica ( $\text{dB}$ ).



**Figura 3.7** Formato em amplitude natural ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ).

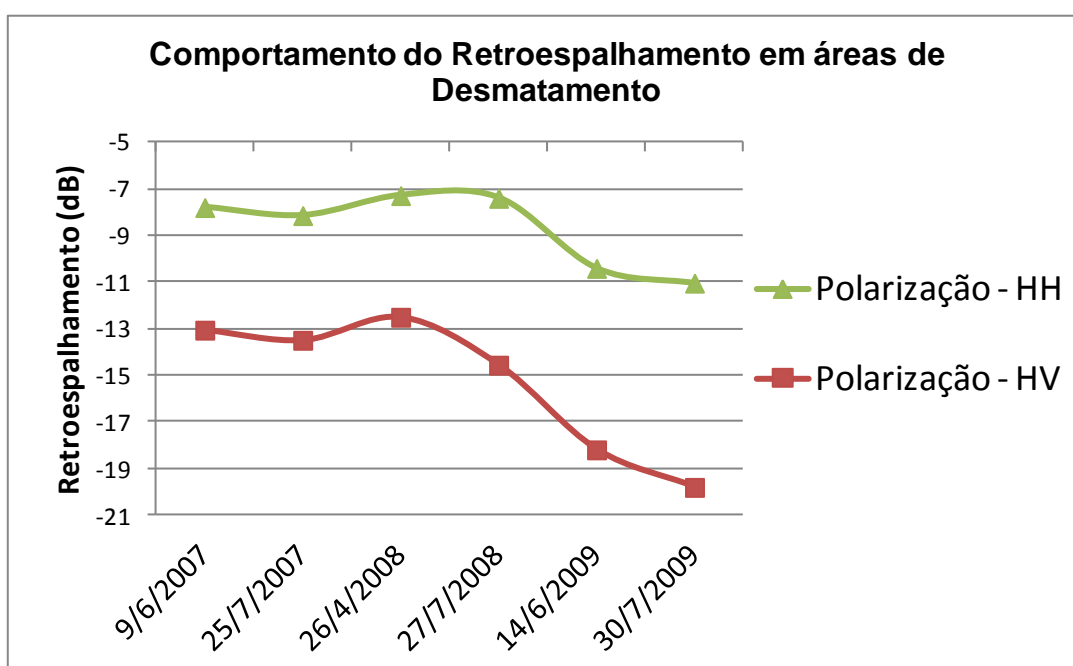
A partir dos dados calibrados, foi possível extrair feições características das imagens, para realização de gráficos estatísticos que possibilitam entender melhor o comportamento do espalhamento das áreas de interesse. Quando as estatísticas são calculadas para as imagens calibradas, atenção especial deve ser dada à natureza logarítmica dos valores, a fim de determinar corretamente o valor médio das feições de interesse em qualquer parte da imagem. Após a análise estatística, os dados devem ser convertidos novamente em escala logarítmica para representar corretamente os valores em  $\text{dB}$ .





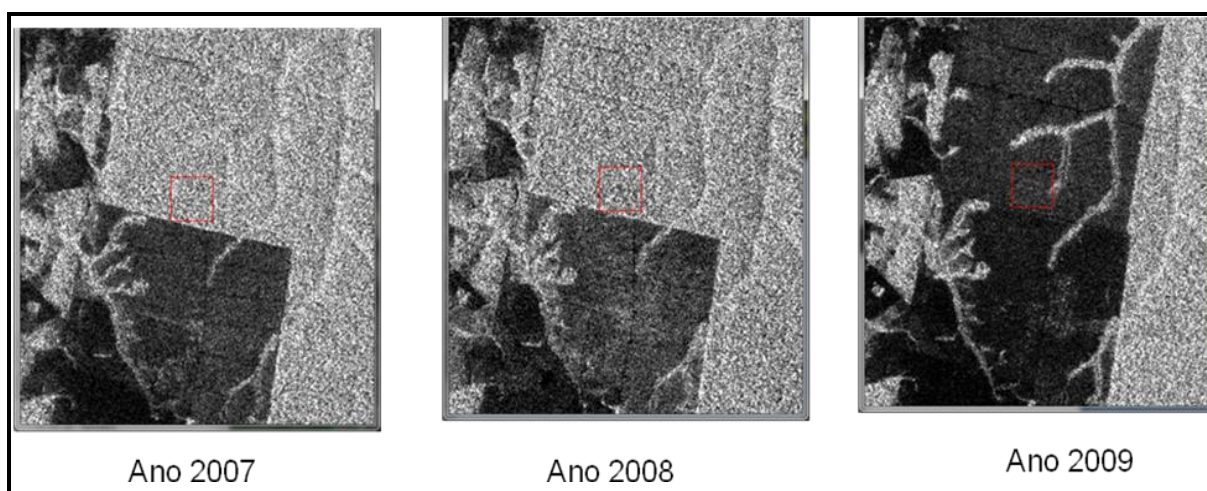
**Figura 3.8** Recorte na imagem de Machadinho d'Oeste com destaque para os rois selecionados.

Com as informações extraídas a partir de *Roi* (*Region Of Interest*), foi possível obter várias feições de comportamento do retroespalhamento do pulso de *RADAR* e será apresentado gráfico 3.3 para ilustrar de forma resumida a feição de desmatamento, pois serão discutidas no decorrer deste trabalho.



**Gráfico 3.3** Comportamento do retroespalhamento em área de desmatamento na polarização HH e HV.

A caracterização do comportamento do espalhamento ao longo de uma série temporal de imagens do sensor *PALSAR* possibilitou perceber que determinadas áreas em determinado período do tempo apresentaram variações muito forte de diminuição da radiação retroespalhada pelo alvo. Por meio da análise visual das 6 imagens em polarização HH e HV, constatou-se que algumas áreas sofreram processo de desmatamento no último ano como mostra a figura a seguir.



**Figura 3.10** Imagens multitemporais em polarização HV de área em processo de Desmatamento na região de Machadinho d'Oeste.

No pré-processamento das imagens do sensor *Palsar*, a correção do terreno foi realizada por meio da utilização de *Digital Elevation Model* (DEM) com resolução espacial de 30m disponível no site [www.dpi.inpe.br/topodata/acesso.php](http://www.dpi.inpe.br/topodata/acesso.php), acesso em agosto de 2010.

A correção geométrica das imagens RADAR se justifica porque o processo de formação de uma imagem SAR implica deformações geométricas em função do relevo do terreno. Essas deformações devem ser corrigidas para posteriores comparações das imagens com outros planos de informações georeferenciadas como os *shapes* produzidos pelo SIPAM sobre o desmatamento de cada região estudada.

Devido à diferença de tempo de dois sinais retroespalhados em uma área elevada, no qual a frente de onda que toca a base de um morro de uma encosta íngreme é menor a partir do topo para a base, caracterizado por encurtamento de rampa (*Foreshortening*). Portanto, os dois, topo e base, são mapeados de forma

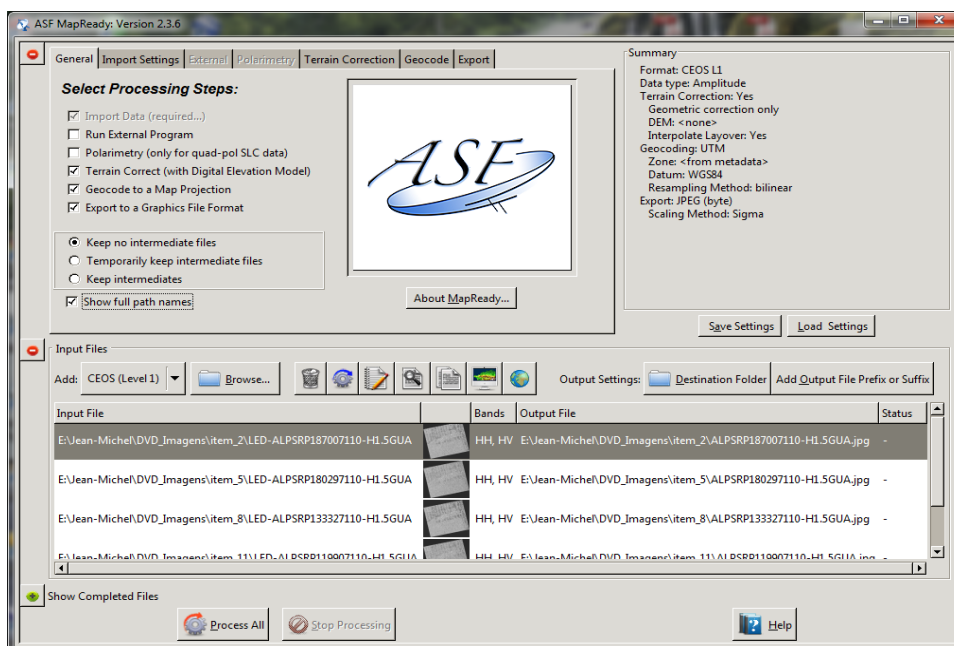
diferente, devido na faixa de inclinação da imagem. Este efeito geométrico comprime o sinal de retroespalhamento de energia provenientes de zonas de encurtados e, conseqüentemente, as áreas afetadas com a imagem aparecem mais brilhante.

Quando o sinal de retroespalhamento do topo da montanha é realmente recebido mais cedo do que o sinal da base, ou seja, a inclinação dianteira é invertida. As informações de pixel de vários objetos se sobrepõem, o que produz um aspecto mais brilhante na imagem e caracteriza-se de inversão de relevo (*layover*).

Essas distorções na imagem de RADAR provocam sombras no terreno fazendo com que o sensor não receba nenhuma informação na parte de trás da inclinação do relevo, sendo realizado nas imagens correções radiométricas para que remova essas distorções e, para isto, é necessária a utilização das informações altura disponível dentro em um *Model Elevation Digital (DEM)*.

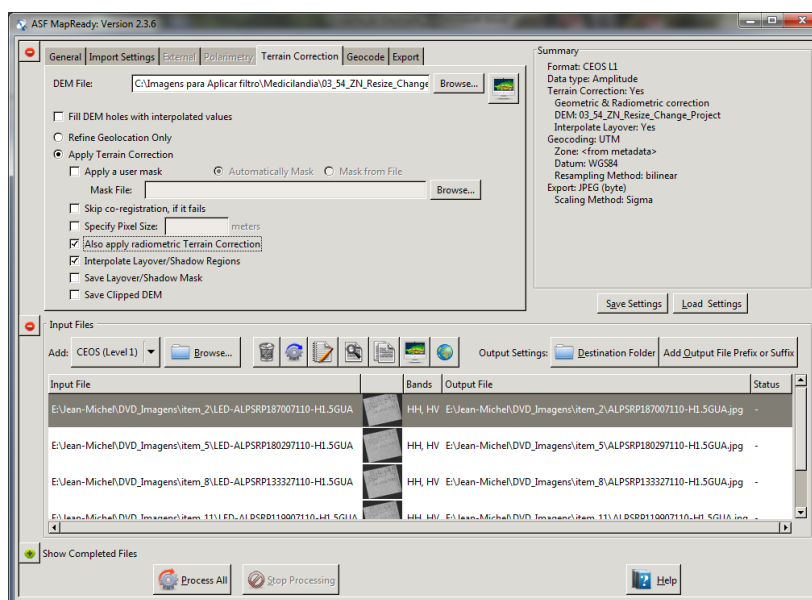
Além das distorções geométricas, costuma-se corrigir radiometricamente as imagens. As distorções radiométricas são decorrentes do ângulo formado pela direção perpendicular à superfície terrestre e o feixe inicial da onda emitida. Este ângulo aumenta do início da faixa imageada (*near range*) e tende a produzir valores mais elevados de retroespalhamento, em relação ao final da faixa imageada (*far range*). O relevo produz localmente o mesmo efeito e usa-se o DEM para calcular o ângulo local de incidência em cada pixel para realizar correção radiométrica. Essa correção clássica da imagem, permite de corrigir os efeitos das variações de incidência na imagem, porém não pretende modelar/corrigir os processos de espalhamento causados pelas diferenças de rugosidade e/ou umidade dos alvos.

Para as correções geométrica e radiométrica das imagens foi utilizado o software *MapReady®* disponibilizado gratuitamente pela *ASF (Alaska Satellite Facility)*.



**Figura 3.11** Parâmetros selecionados para processamento das imagens. Seleção da correção do terreno, geocodificação para projeção e exportação do arquivo.

Nesta etapa do pré-processamento das imagens, seleciona-se no *software* para que seja processada a correção do terreno a partir de um modelo digital do terreno, a fim de corrigir o encurtamento da rampa e a inversão de relevo.



**Figura 3.12** Seleção da correção radiométrica a partir de imagem DEM.

Para que o *software* realize a correção radiométrica nas imagens, é necessário que o usuário indique qual imagem corresponde ao modelo digital do terreno. Nesta etapa, o tamanho do pixel será ampliado para as áreas que possuem

alterações no valor do pixel devido a presença relevo. Nas imagens é possível perceber que 2 ou 3 *pixels* tem o mesmo valor digital em decorrência da substituição dos valores de *pixels* que se encontram em sombra.

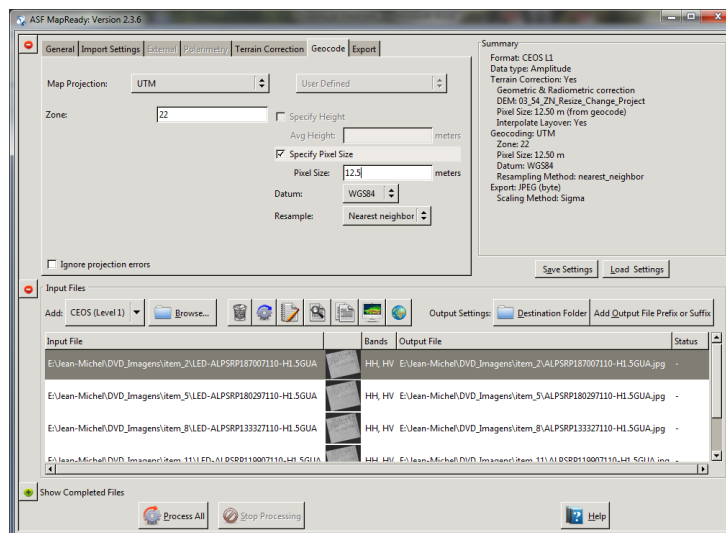


Figura 3.13 Seleção da geocodificação da imagem de saída.

Ao final foi selecionado a geocodificação de saída da imagem e a especificação de tamanho de *pixel* de saída. Para este estudo foi mantida a resolução espacial da imagem original.

### 3.3.2 Redução do ruído speckle

O *Speckle* reduz drasticamente a acurácia radiométrica na imagem RADAR, necessitando o uso de processamentos específicos para reduzir esse efeito. Costuma-se usar o número equivalente de looks (*ENL*) para determinar quantitativamente o nível da acurácia radiométrica de uma imagem (MARTINEZ & LE TOAN, 2007). O *ENL* está relacionado ao coeficiente de variação de uma imagem de um grupo de pixels (supostamente homogêneos) é calculado pela seguinte equação.

$$ENL = \frac{1}{CV^2} = \frac{(I)^2}{var(I)} \quad (3.2)$$

onde a média e a variância de intensidade são indicadas (*I*) e *var* (*I*) denota uma



média espacial de  $N$  pixels em uma janela. A função de distribuição dos valores dos pixels dentro de uma zona homogênea segue uma distribuição *Gamma*, que é dada pela equação a seguir.

$$P(I) = \left(\frac{L}{\langle I \rangle}\right)^2 \left(\frac{\langle I \rangle^{L-1}}{\Gamma(L)}\right) \exp\left(-\frac{LI}{\langle I \rangle}\right) \quad (3.3)$$

Observe-se que a distribuição esta parametrizada pelo número equivalente de *looks*. Quanto maior for o parâmetro  $L$ , maior será o fechamento do histograma da imagem, aproximando-se de uma imagem com histograma de distribuição *Gaussiana*.

### 3.3.3 Filtro Espacial

Para aumentar a acurácia da imagem, técnicas de filtragem podem ser utilizadas. O objetivo da filtragem do *speckle* é de diminuir a variabilidade dos dados dentro de uma zona homogênea, e para tal, o aumento na quantidade de *Looks* favorecerá a aplicação do segmentador.

O filtro espacial *Lee* calcula em uma janela de pixels, o coeficiente de variação no nível da janela para testar a homogeneidade dos pixels. No processamento do filtro, informações de linha, ponto, retas, margem são detectadas para melhorar a filtragem.

O filtro de Lee é baseado no pressuposto de que a média e a variância do *pixel* de interesse é igual à média local e variância de todos os pixels dentro da janela selecionada pelo usuário (3x3, 4x4, 7x7, etc). O filtro *Lee-Sigma* utiliza a distribuição estatística dos valores de números digitais (*DNs*) dentro de uma janela espacial e se desloca para estimar o pixel de interesse dentro do intervalo de desvio. Um modelo matemático em que o ruído é multiplicativo também é assumido e para aplicação do filtro *Lee-Sigma*, é necessário que o usuário informe qual valor estimado para sigma(s) coeficiente de variação dentro da cena de interesse.

O filtro de *Lee-Sigma* é baseado na probabilidade de uma distribuição de *Gaussiânica*. A supressão de ruído substitui o pixel de interesse com a média de

todos os valores (*DNs*) dentro da janela e que estão dentro de um intervalo determinado pelo usuário. O mesmo acontece com o filtro Lee, um coeficiente de variação específica para o intervalo para o conjunto de dados introduzidos. Ao final, o usuário deve especificar quanto de desvio-padrão (2, 1 ou 0,5) será aceito.

### 3.3.4 Filtro Multitemporal

Sempre que um conjunto de imagens é disponível e distribuído ao longo do tempo, a utilização de um filtro multitemporal pode ser empregada antes do uso de um filtro espacial clássico. Vários estudos foram desenvolvidos nessa perspectiva como Novak et al. (1993); Oliver & Quegan (1997). O filtro multitemporal desenvolvido por Quegan & Yu (2000), consiste em produzir uma imagem resultado da combinação linear de todas as imagens. Segundo a equação a seguir, o filtro multitemporal produz  $M$  novas imagens como a seguir:

$$I_K = \sum_{i=1}^M A_{Ki} I_i \quad 1 < K < M \quad (3.4)$$

onde  $A_{Ki}$  é expresso pelo coeficiente de correlação entre  $K^{th}$  e  $i^{th}$  imagens. Quando a correlação entre as imagens pode ser desprezada, ou seja, quando o período de tempo entre as imagens são suficientemente longos, a equação pode ser simplificada como a seguir (QUEGAN & LE TOAN, 1998).

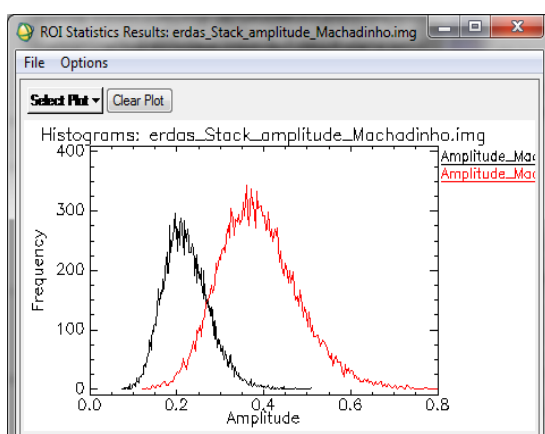
$$I_i = \frac{\langle I_i \rangle}{M} = \sum_{j=1}^M \frac{I_j}{\langle I_j \rangle} \quad 1 < i < M \quad (3.5)$$

Desta forma, para cada imagem, essa equação normaliza o valor local médio de intensidade pela soma ponderada das intensidades de todas as imagens, conforme Quegan e Le Toan (1998). Esta técnica não preserva totalmente a resolução espacial, mas reduz a perda de resolução, se comparado a um filtro espacial. Neste trabalho, após a aplicação do filtro multitemporal, foi aplicado o filtro espacial *Sigma-Lee*, disponível no *Erdas* com o intuito de aumentar o número de

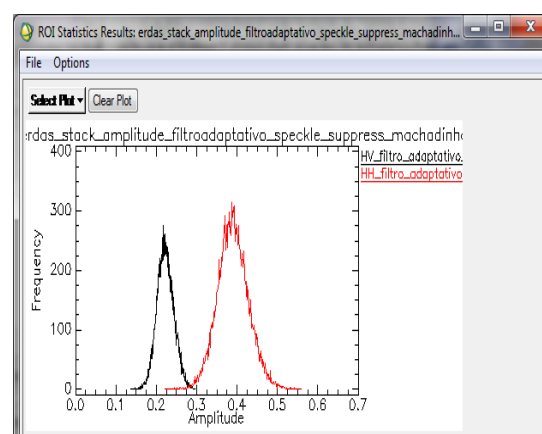
*Looks*, fechando ainda mais o histograma da imagem e favorecendo a segmentação e a classificação.

Como todos os filtros de redução de *speckle*, há uma recompensa entre redução de ruído e perda de resolução. Cada conjunto de dados e cada aplicativo tem uma resposta diferente e o usuário deve avaliar se os resultados são satisfatórios e podem ser empregado.

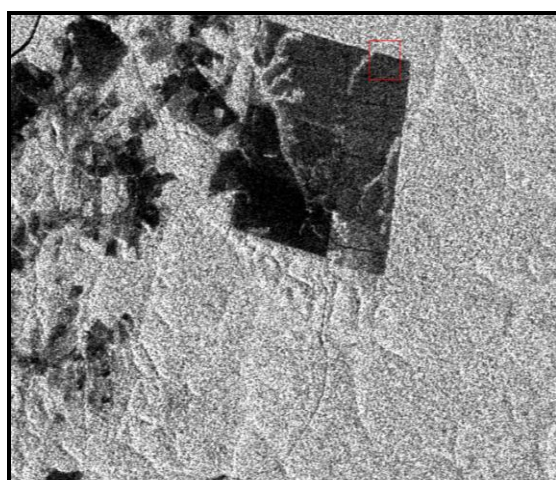
A figura 3.14 e 3.16 a seguir, mostra o aumento no número de *Looks* de uma imagem no qual não foi usado nenhum tipo de filtro redutor de *speckle*, e a mesma imagem (figura 3.15 e 3.17), com aplicação do filtro multitemporal elaborado por Guegan & Yu (2000) e logo após a aplicação do filtro espacial *Sigma-Lee* com janela de 3x3.



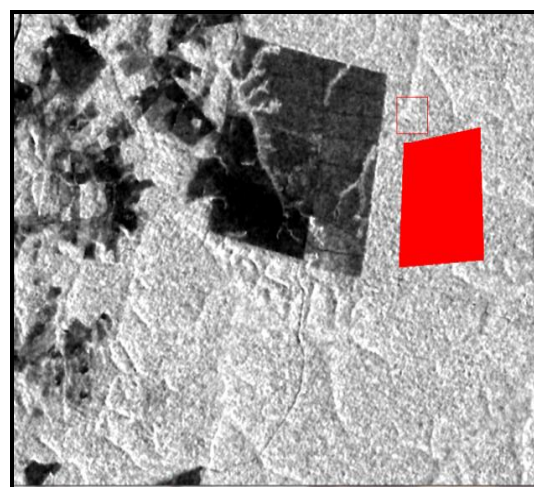
**Figura 3.14** Histograma da imagem com polarização HV na cor preta e HH em vermelho de dados originais. (17 *Looks*).



**Figura 3.15** Histograma da imagem com polarização HV na cor preta e HH em vermelho de dados com aplicação do filtro multitemporal e espacial com janela 3x3 pixels. (122 *Looks*).



**Figura 3.16** Recorte na imagem original com número de 17 *Looks*.

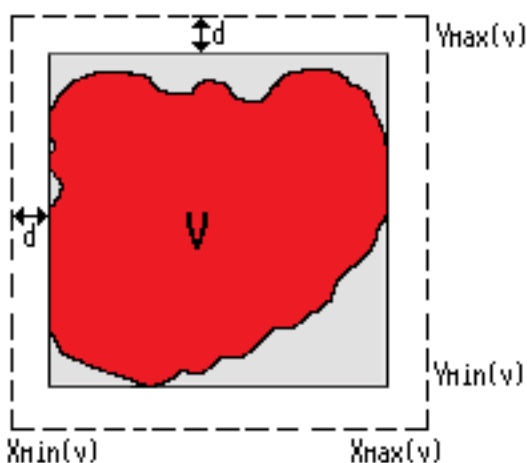


**Figura 3.17** Recorte na imagem com aplicação do filtro multitemporal e espacial de número 122 *Looks*.



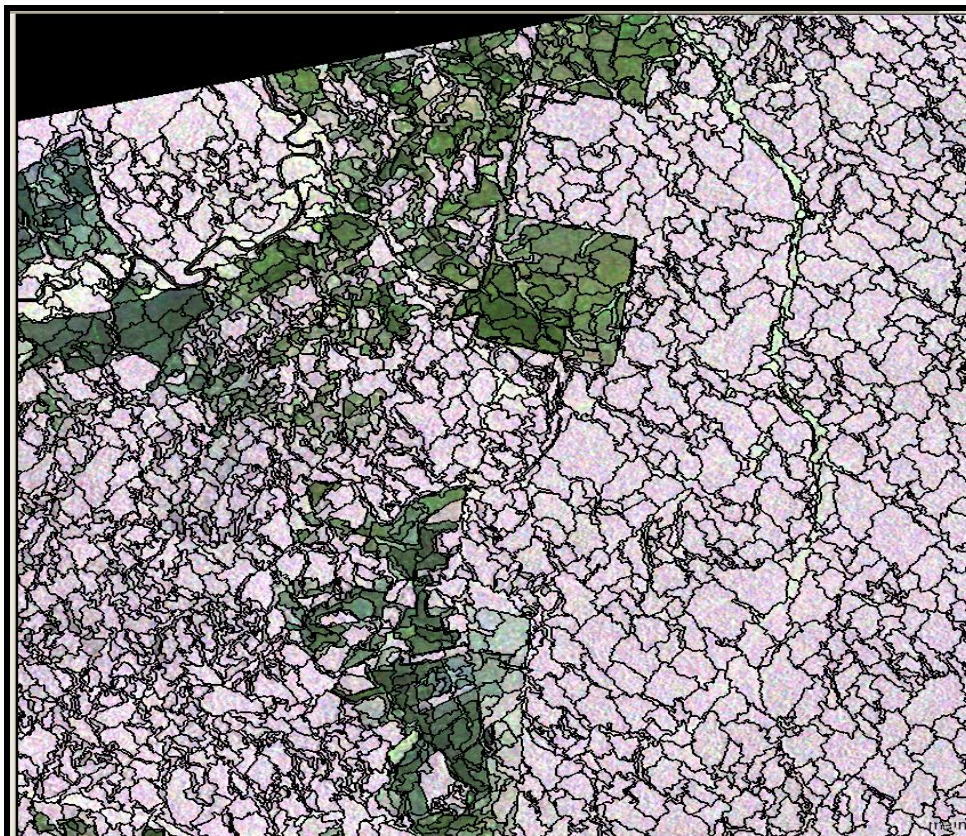
### 3.3.4 Segmentação

A base principal do *ecognition*, *software* elaborado principalmente para segmentação e classificação parte do pré-suposto que um objeto  $v$  na imagem é representado por um número  $P$  pixel. A relação com objetos vizinhos é verificada pela borda de separabilidade de cada objeto na imagem. Assim sendo, a borda é definida por valores máximos e valores mínimos em uma coordenada  $x, y$ . A extensão da borda com  $P$  pixels é calculada para todas as direções como na figura 3.18.



**Figura 3.18** Borda de objeto  $v$  em uma imagem (*Ecognition*, 2010).

Considerando as características básicas de processamento do software, neste estudo foi utilizado o segmentador disponível no *Ecognition* que realiza o processo de segmentação a partir de parâmetros de *Threshold* (limites) selecionado pelo usuário. Além dos limites de segmentação, é necessário escolher peso de cor para segmentação da imagem. Estes dois fatores são de relevante importância, pois são estes que determinarão quais *pixels* serão associados a uma determinada classe.



**Figura 3.19** Recorte na cena com segmentação realizada no *Software Ecognition*.

Neste estudo, o valor 30 foi selecionado, dentro de um intervalo que varia de 0 a 255, para os limites e o peso de cor foi selecionado 0,8, em um intervalo que varia de 0 a 1. A partir destes parâmetros, o segmentador foi capaz de seccionar a imagem dividindo partes ou blocos homogêneos. Os parâmetros selecionados para esta segmentação foi realizado com o intuito de preservar os valores digitais da imagem. Desta forma, o resultado final de classificação apresentará melhor qualidade.

### **3.3.5 Classificação**

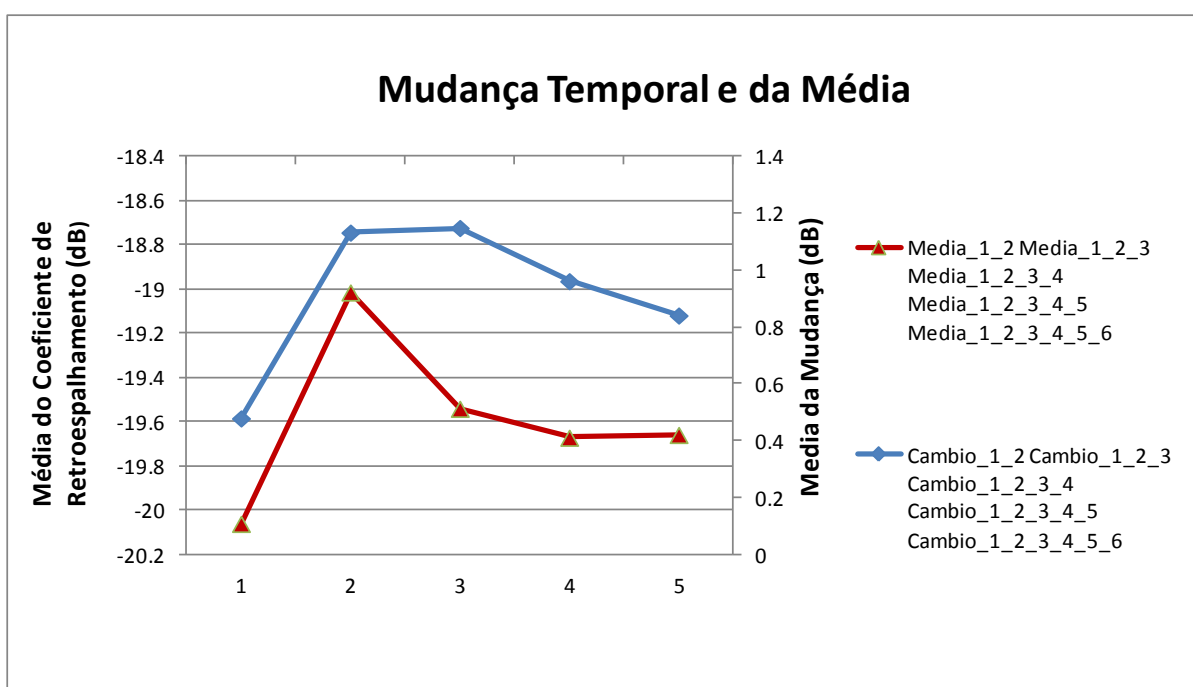
Neste estudo, o método de classificação foi baseado na análise dos valores de retroespalhamento e das suas mudanças temporais. Para avaliar e quantificar as variações temporais, em toda a série de imagens em tempo, é necessário fazer uma estimativa quantitativa do grau de mudança. Neste trabalho, usou-se o indicador de mudança absoluta (AC) com base no algoritmo desenvolvido por Quegan & Le Toan (1998). O algoritmo calcula o logaritmo da relação entre as imagens em qualquer

momento dentro do conjunto de dados multitemporais (QUEGAN et al., 2000) como nas equações 3.7 e 3.8.

$$AC = 10 \log \left[ \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j>i} R_{ij} \right] \quad (3.7)$$

$$\text{com } R_{ij} = \max(\langle I_i \rangle / \langle I_j \rangle, \langle I_j \rangle / \langle I_i \rangle) \quad (3.8)$$

Para cada *pixel*, o AC calcula o valor da assinatura de mudança de retroespalhamento total, usando o valor máximo das razões de todas possíveis combinações, para cada par de imagens possíveis. A razão usada na equação 3.8 realiza a média de valores de pixels em uma janela definida. O indicador AC calcula um tipo de indicador de mudança máximo somando todas as variações aparecendo na série temporal. Como resultado da aplicação, a figura 3.20 mostra o comportamento da assinatura de retroespalhamento na polarização HV dos valores de mudança temporal e valores da média do retroespalhamento.

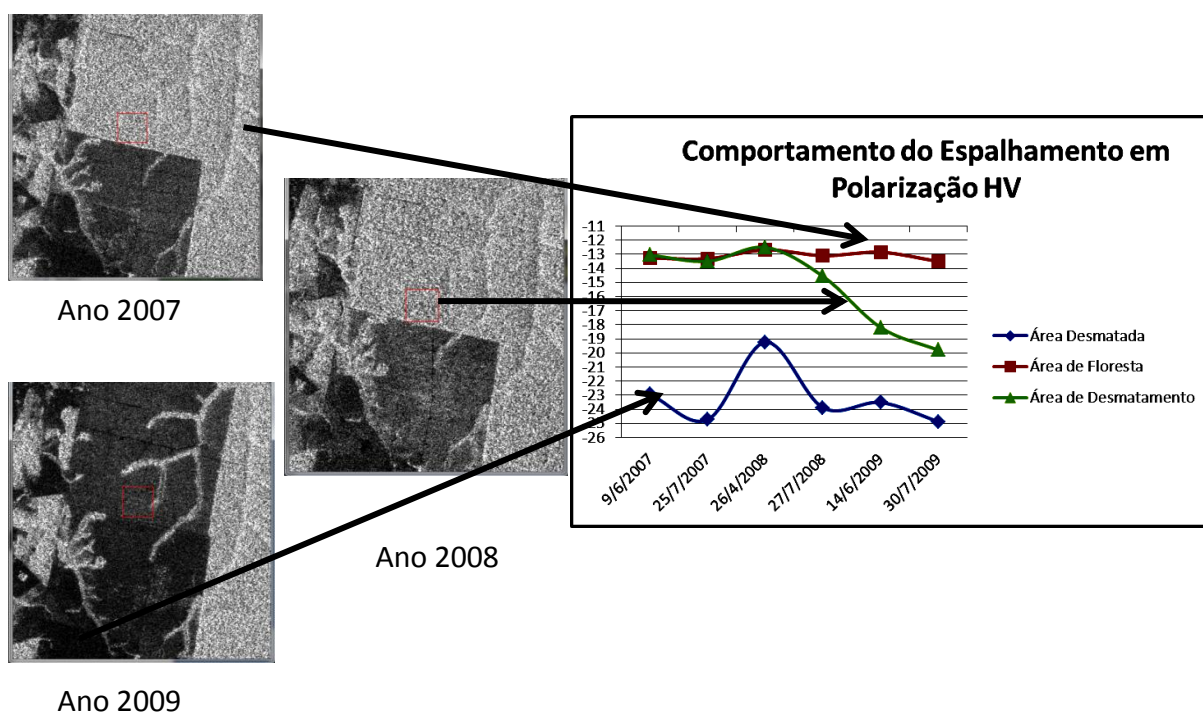


**Gráfico 3.4** Mudança temporal e coeficiente de retroespalhamento em polarização HV.

## 4. ANÁLISE

### 4.1 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES TEMPORAIS EM FUNÇÃO DA COBERTURA DOS SOLOS

A variabilidade do retroespalhamento em imagens multitemporais dependem das características das copas das árvores como a quantidade de biomassa existente, da estrutura e umidade das folhas, que afetam a capacidade do pulso REM de penetrar a vegetação (WANG et al., 1995). A seguir, a figura 4.1 mostra de que forma ocorrem as variações de retroespalhamento das imagens em polarização HV em função do tipo de cobertura do solo.

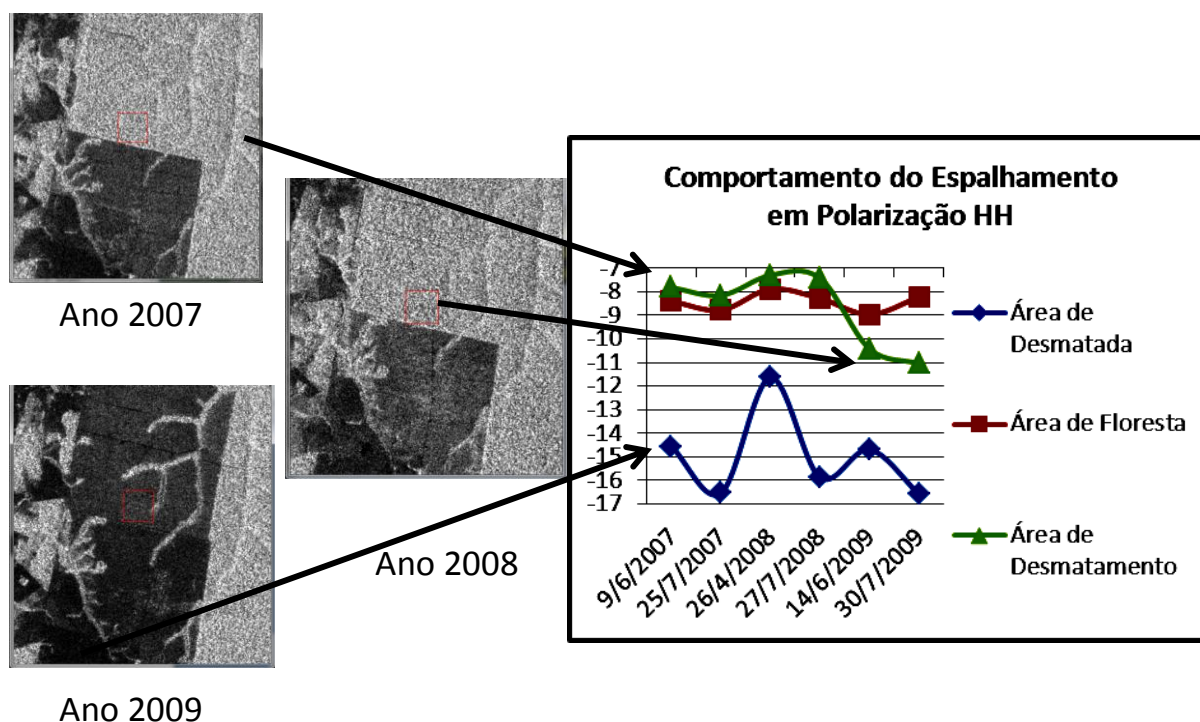


**Figura 4.1** Recorte da cena das imagens PALSAR para os anos de 2007, 2008 e 2009 com seleção de rois (*region of interest*) para caracterização do comportamento do retroespalhamento em polarização HV de área desmatada, floresta e desmatamento no município de Machadinho d'Oeste.

E possível perceber na Figura 4.1 o comportamento do espalhamento em área de floresta se mantém no decorrer dos anos para esta série temporal, pois se tratam de vegetação que não sofreu alterações antrópicas. Para áreas de florestas estáveis, o patamar de espalhamento do pulso da onda de *RADAR* que atinge a copas das arvores em polarização HV, tem valor médio de -12 e -14 dB (MITCHARD et al., 2009). Este padrão de retroespalhamento permite observar que a floresta se mantém intacta.



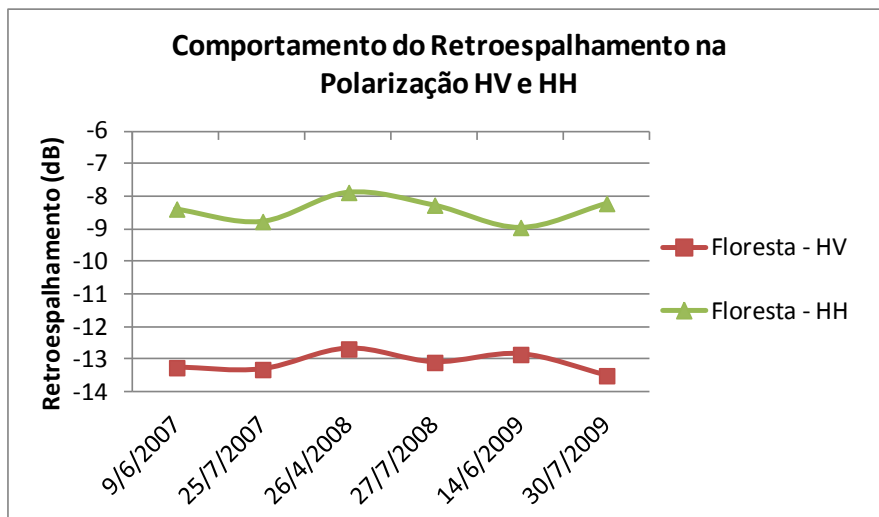
Para as mesmas áreas de florestas estáveis, o patamar de espalhamento do pulso da onda de *RADAR* que atinge a copas das árvores em polarização HH, tem valor médio de -7 e -8 dB (Figure 4.2). Observa-se que a diminuição do sinal antes e depois do desmatamento na polarização HH (-3 dB) é bem menor do que na HV (-6 dB). Similarmente, as áreas descampadas apresentam valores muito mais baixos no HV do que no HH.



**Figura 4.2** Recorte da cena das imagens PALSAR para os anos de 2007, 2008 e 2009 com seleção de rois (*region of interest*) para caracterização do comportamento do retroespalhamento em polarização HH de área desmatada, floresta e desmatamento no município de Machadinho d'Oeste.

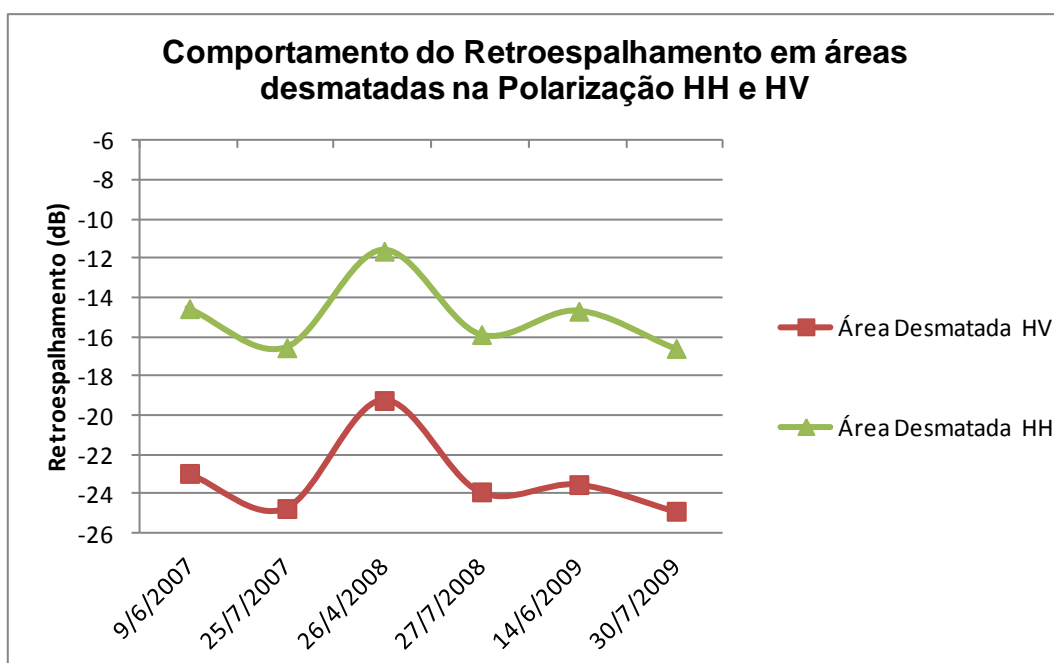
#### 4.2 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE ESPALHAMENTO EM POLARIZAÇÃO HH E HV

Ao relacionar os valores de retroespalhamento em área de floresta para as polarizações HH e HV, observa-se que ocorre uma diminuição nos valores de retroespalhamento entre a polarização HH e a polarização HV. O gráfico 4.1 a seguir mostra os patamares de retroespalhamento de feição de floresta com polarização HH e HV.



**Gráfico 4.1** Comportamento do espalhamento em polarização HH e HV de área de floresta.

O dossel das florestas para a onda de *radar*, *pode* ser considerado um elemento difusor, com determinado volume sob uma superfície terrestre. Neste caso, o sinal mais forte registrado entre os valores de -7 a -8 dB da polarização HH, é resultante do duplo sinal de retorno causado pela interação solo e tronco das árvores e do espalhamento volumétrico (cf figura 2.12) (MITCHARD et al., 2009; Almeida et al., 2007; Almeida et al., 2009). O sinal que varia de -13 para -14 dB na polarização HV, é resultante quase exclusivamente do espalhamento volumétrico com os galhos e folhas das árvores.

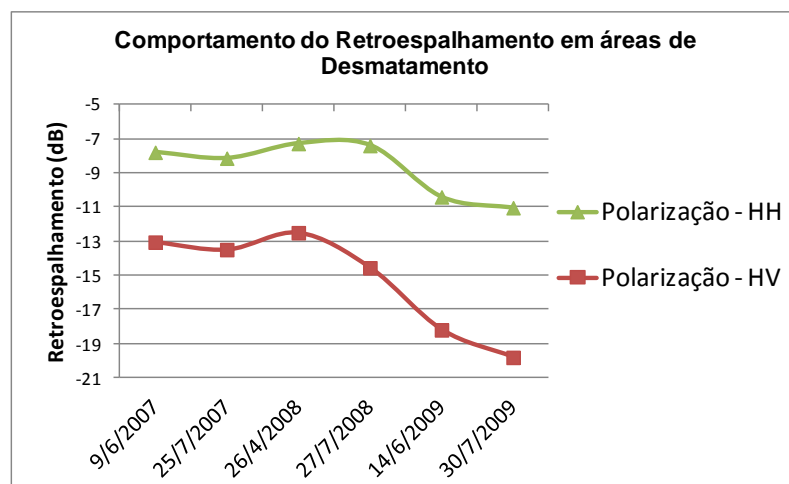


**Gráfico 4.2** Comportamento do espalhamento em polarização HH e HV de área desmatada.

Como no gráfico 4.2, para áreas que já sofreram processo de desmatamento, o patamar de retroespalhamento é de -14 a -17 *dB* para polarização HH e de -22 a -25 *dB* para polarização HV.

Para esta série temporal, foi selecionado uma cena de imagem do mês de abril na tentativa de verificar o retroespalhamento em época do ano em que a quantidade de chuvas são mais intensas. Para o mês de abril foi percebido um aumento significativo no retroespalhamento nas áreas pouca vegetadas com baixo coeficiente de retroespalhamento, ficando na ordem de -2 a -3 *dB* nas duas polarizações. Este aumento de retroespalhamento é provavelmente decorrente do aumento da vegetação no período úmido provocando um aumento da difusão volumétrica. Nas áreas de florestas, onde o nível de biomassa é bem maior, o aumento no período de chuva é pouco perceptível devido à saturação do sinal em função da alta biomassa (MITCHARD et al., 2009).

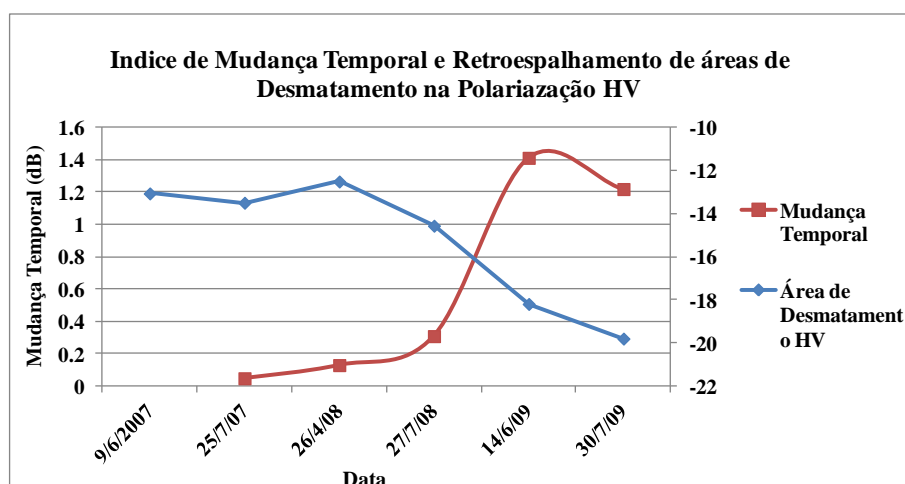
Na área de desmatamento recente mostrada nas figuras 4.1 e 4.2, considerando a série temporal utilizada neste estudo, percebe-se que no ano de 2007 o retroespalhamento tem um comportamento característico de área de floresta com valores entre -7 e -8 *dB* na polarização HH e valores -12 a -14 *dB* para a polarização HV. No mês de abril de 2008 ocorre um leve aumento de retroespalhamento no período de chuva nas duas polarizações HH e HV e logo em seguida no mês de julho do mesmo ano, percebe-se a diminuição no retroespalhamento no mesmo local, caracterizando um processo de desmatamento na área. No último ano desta série temporal, ano seguinte à detecção do processo de desmatamento, foi constatado a perda quase que total da cobertura vegetal, resultando em valores de retroespalhamento que estão no patamar de -11 *dB* para polarização HH e -20 *dB* para polarização HV. No gráfico 4.3, percebe-se a diminuição do retroespalhamento pela perda de biomassa em área em processo de desmatamento (WANG et al., 1995).



**Gráfico 4.3** Comportamento do espalhamento na polarização HH e HV para área de desmatamento. Estas áreas são caracterizadas pela diminuição do retroespalhamento de -7 a -8 db em HH, e -12 a -14 HV, para -11 HH e -20 HV, de retroespalhamento ao longo da série temporal.

### 4.3 MUDANÇA TEMPORAL

A partir do cálculo de detecção de mudança para  $N$  imagens em uma série temporal usando o índice AC ( $AC = 10 \log \left[ \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j>i} R_{ij} \right]$  com  $R_{ij} = \max(\langle I_i \rangle / \langle I_j \rangle, \langle I_j \rangle / \langle I_i \rangle)$ , o qual se objetiva encontrar o índice máximo de mudança de retroespalhamento caracterizando o comportamento da mudança temporal para a mesma área de desmatamento discutida na seção anterior.



**Gráfico 4.4** Mudança temporal e retroespalhamento de áreas de desmatamento na polarização HV.

O primeiro valor de mudança temporal é resultado da razão entre o máximo de intensidade das imagens de 9/6/2007 e 25/6/2007; o segundo, imagens 9/6/2007, 25/6/2007 e 26/4/2008; o terceiro, imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008 e 27/7/2008; o quarto, imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008, 27/7/2008 e 14/6/2009 e o quinto, das imagens 9/6/2007, 25/6/2007, 26/4/2008, 27/7/2008, 14/6/2009 e 30/7/2009.



No gráfico 4.4 observa-se que para o primeiro ano (imagens de 9/6/2007 e 25/6/2007), o valor de mudança é baixo, com valores em torno de zero (0), indicando que ocorreram poucas mudanças nos valores de retroespalhamento, possibilitando afirmar que na data em que se observou o comportamento do espalhamento não houve mudanças significativas.

No segundo ano (imagens de 26/4/2008 e 27/7/2008), os valores de mudança temporal aumentam de 0,04 para 0,3, com leve diminuição nos valores de retroespalhamento (-12 a -14 dB), permitindo inferir que se iniciaram mudanças na área.

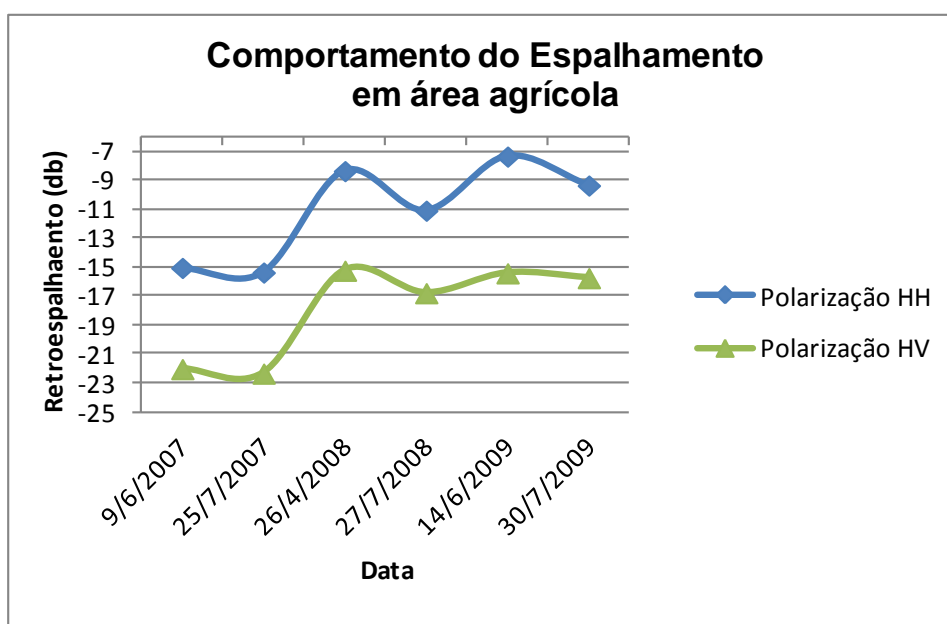
No terceiro ano (imagens de 14/6/2009 e 30/7/2009), verifica-se forte diminuição dos valores do retroespalhamento saindo de -13 dB (ano anterior) para -18 dB, possibilitando inferir que nas imagens selecionadas para aplicação do AC, houve perdas significativas de retroespalhamento. No caso da mudança temporal, os valores que estavam em torno de 0,04 (estimativa 3) para 1,4 caracterizando fortes mudanças na área selecionada.

Observa-se que o índice AC pode ser utilizado para a série inteira de imagens para produzir um indicador de mudança para o período de 3 anos de cobertura pelas imagens. Poderia também ser utilizado para detectar a data exata da mudança análise desde o início a série temporal de imagens.

#### **4.3.1 Importância da Utilização de Série Multitemporais**

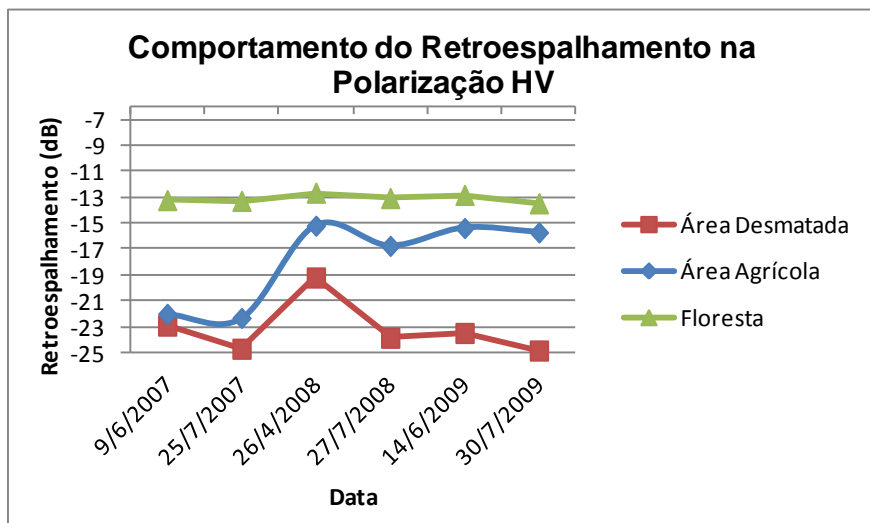
A utilização de imagens em séries temporais tem demonstrado vantagens para análise de uso e cobertura do solo com dados de RADAR, pois possibilita entender a dinâmica dos ambientes analisados. Para que a resposta da série temporal tenha representatividade é necessário selecionar cenas de imagens que abrangem todas as configurações possíveis dos alvos. Se ao contrário, não é feita a seleção das imagens de forma a perceber as diferenças no alvo, a série de imagens conduzirá o intérprete de imagens a interpretações equivocadas a respeito do objeto estudado (MARTINEZ & LE TOAN, 2007).

Para área de agricultura, em que a dinâmica de plantio varia no tempo (gráfico 4.5), com áreas de pousio em determinadas épocas do ano, áreas em preparo de solo, e áreas prontas para colheita é necessário analisar multitemporalmente os valores de retroespalhamento. Para melhor compreensão da importância do uso das imagens multitemporais e da seleção das imagens, será comparado a variação dos valores de retroespalhamento de áreas de agricultura, desmatadas e de floresta.



**Gráfico 4.5** Retroespalhamento da onda de RADAR em área agrícola na polarização HH e HV.

Se o intérprete de imagens selecionasse uma cena apenas para a primeira data do gráfico 4.6 para analisar uso e cobertura do solo, verificaria que o valor de retroespalhamento em polarização HV da feição é de (-22 dB), classificando-a como área desmatada. Se por outro lado selecionasse uma cena na última data, poderia classificar o mesmo alvo como área de vegetação intermediária (-14 dB) em polarização HV. O mesmo aconteceria para polarização HH, mas em patamares de retroespalhamento diferentes (áreas desmatada -14 a -17 dB e área de floresta -7 a -8 dB) com valores muito parecidas com as de floresta (WANG et al., 1995).



**Gráfico 4.6** Comportamento do espalhamento em áreas desmatadas, área agrícola e área de floresta. Destacam-se áreas possíveis de serem confundidas sem utilização de séries temporais.

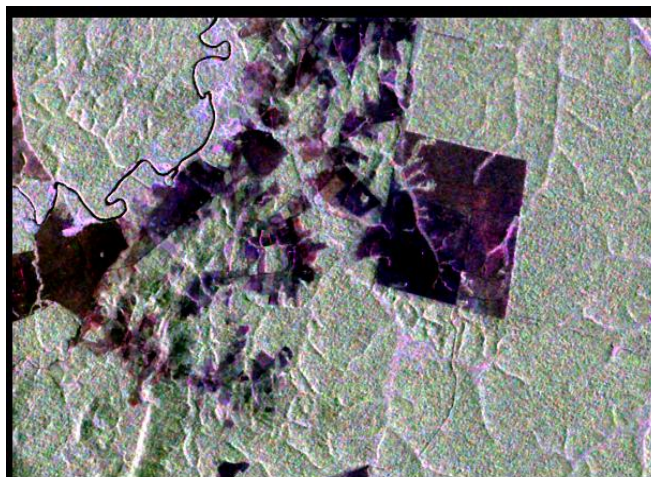
Com a série temporal selecionada para realização deste estudo, foi possível perceber o comportamento de área de agricultura, que terá momentos de valores semelhantes às áreas desmatadas, por não ter cobertura vegetal pelo preparo do solo para receber a sementes, ou em decorrência do pousio da área, esperando o solo restabelecer os nutrientes absorvidos pelas plantas, prática comum e aconselhável nas rotações de culturas. Nestas áreas agrícolas, terá momentos em que o retroespalhamento se assemelhará a áreas de vegetação intermediária, dependendo do tipo de cultura existente. O entendimento do comportamento do retroespalhamento de cada tipo de área agrícola não é objeto de estudo desta pesquisa, mas é de relevante importância para estabelecer patamares de retroespalhamento que serão usados para classificação do uso do solo de maneira global.

#### 4.4 ANÁLISE DO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO

Na fase de elaboração dos resultados, foram realizadas análises para investigar a importância da aplicação de filtro radiométrico para produção de mapa final de classificação (procedimentos realizados com *software Erdas Image*). Para isso, foi realizado um recorte na cena da imagem de Machadinho d'Oeste.

A imagem foi reescalada de 16bits para 8bits, pois a variabilidade dos números digitais da imagem (*pixels*) podem gerar várias pequenas classes que não

correspondem à realidade da cobertura do solo. Desta forma, foram aplicados valores limites sistemáticos para a análise. Segue o recorte utilizado para a imagem de Machadinho d'Oeste (figura 4.3).



**Figura 4.3** Recorte na cena da imagem de *RADAR*, com valores variando de 0 a 255.

Para o segmentador do *software Erdas*, é necessário colocar alguns parâmetros de segmentação, como *Threshold*, *Minimal Length*, *Minimal Value Difference* e *Variance Factor*.

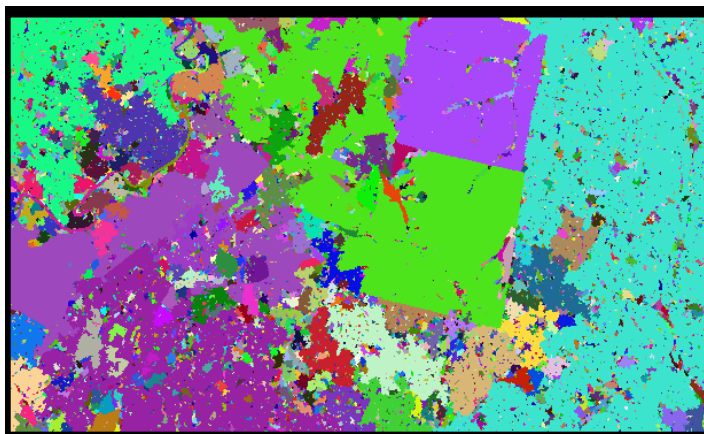
O *Threshold* (limiar) permite que o usuário refine o agrupamento dos dados, pois determina quais pixels da imagem são mais susceptíveis de ser classificados incorretamente. Um limite de distância pode ser definido para agrupar uma determinada classe de pixels na tela, evitando pixels que não pertença à classe. Este limite é aplicado para todos os pixels cuja distância de valores seja o limite definido pelo usuário. O limite pode ser definido com entrada numérica, utilizando as estatísticas do qui-quadrado e a distância euclidiana espectral, ou de forma interativa, por meio da visualização da resposta o histograma de uma classe no arquivo de segmentação obtida. Os valores para *Threshold* especifica o limite utilizado na detecção de bordas. Considerando cada pixel, se a diferença entre este valor de pixel e um de seus pixels vizinhos é maior que o limiar selecionado, o pixel é considerado como um candidato para o pixel de borda. O valor limite apropriado é dependente do valor entre as diferenças de pixels vizinhos ao longo das bordas.

O *Minimal Length* (mínima duração) especifica o comprimento mínimo aceitável da borda. Neste caso, qualquer comprimento (medido em pixels) de borda inferior a este número é ignorado.

O *Minimal Value Difference* (valor mínimo de diferença) é a diferença de valor mínimo entre os segmentos vizinhos. Se a diferença de valor entre pixels vizinhos é inferior ao valor mínimo, então eles são considerados parte do mesmo segmento.

Por fim, o *Variance Factor* (fator de variância), indica quão importante é o papel que a variação nos valores de pixel dentro do mesmo segmento irá desempenhar na determinação de expandir ou não um segmento.

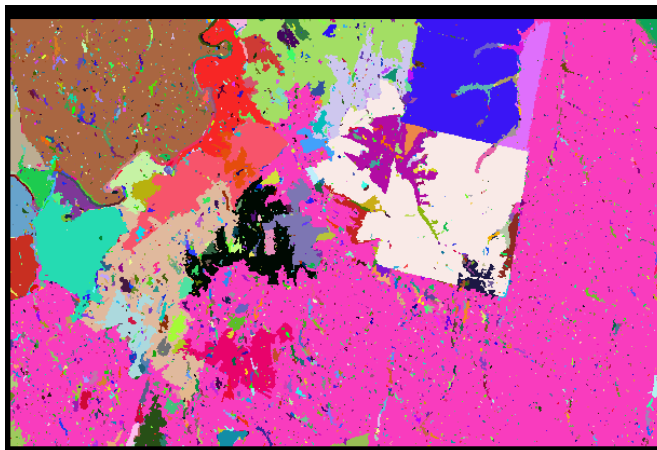
Foram adicionados valores que apresentaram melhor desempenho na realização da segmentação no recorte da cena da imagem, sendo que para o *Threshold*, o valor foi fixado em **18**, para o valor de *minimal length* **3**, para *minimal value difference*, estabeleceu-se **25** e por fim **3.5**, para *variance factor*. Estes valores foram testados para imagem sem aplicação de filtros, apresentando o seguinte resultado de segmentação (figura 4.4).



**Figura 4.4** Resultado da segmentação com valores de *Threshold* 18, *minimal length* 3, *minimal value difference* 25 e *variance factor* 3.5 para imagem sem aplicação de filtro.

Nota-se na figura 4.4 que muitos *pixels* foram agrupados em poucos polígonos de maior tamanho e, ao contrário, muitos polígonos de tamanho reduzido foram criados (de 1 a 15 pixels). Esta resposta de segmentação representa os extremos dos dados, com poucos polígonos muito grandes e muitos polígonos extremamente pequenos.

Novamente, este procedimento foi testado para o mesmo recorte da cena. Agora, aplicou-se o filtro radiométrico temporal e espacial (janela 3x3).



**Figura 4.5** Resultado da segmentação com valores de *Threshold* 18, *minimal length* 3, *minimal value difference* 25 e *variance factor* 3.5 para imagem com aplicação do filtro temporal e espacial.

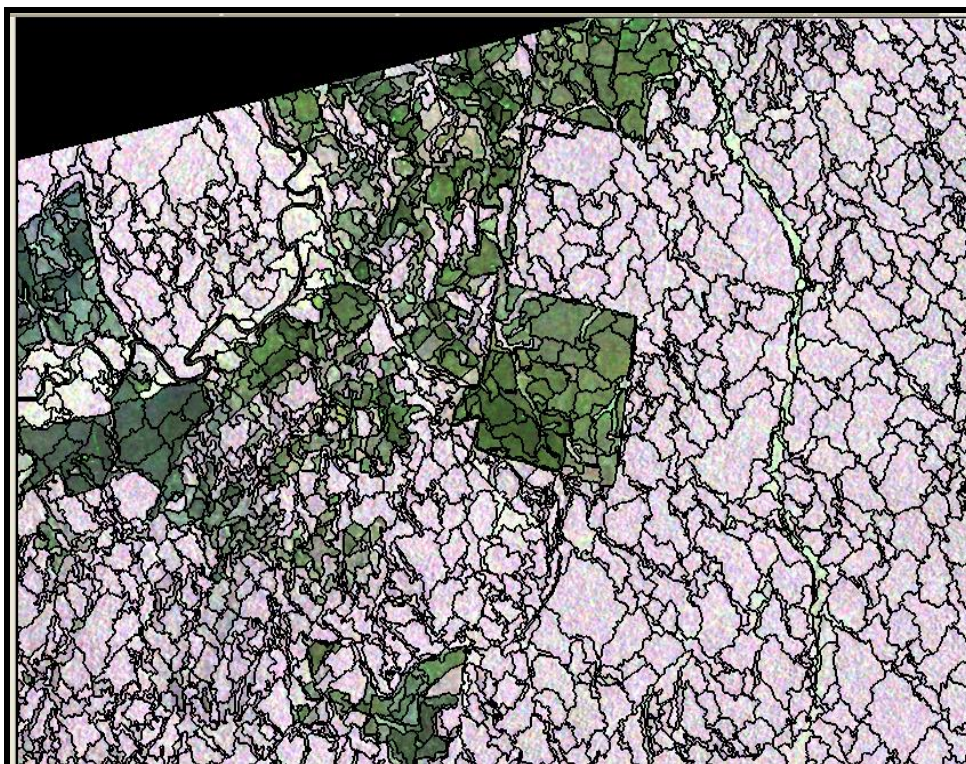
Percebe-se na figura 4.5 que com a utilização dos dois filtros (temporal e espacial) ocorre um melhor agrupamento de *pixels* dentro de um mesmo polígono, proporcionando menor quantidade de polígonos e facilitando o processo de classificação. Estes resultados podem ser decisivos para escolha da utilização dos filtros.

Mesmo com a melhora da segmentação, a qualidade dos agrupamentos não foi considerada satisfatória, principalmente pela subsistência de polígonos de tamanho reduzido.

Também realizou-se testes com o módulo *Envi Ex*. Os procedimentos empregados para a segmentação foram introduzidos, apresentando resultados considerados piores que os produzidos no *Erdas*. A criação de vários polígonos de tamanho reduzido se repete no *Envi Ex*, com o agravante que as feições de borda não são delineadas corretamente.

Para segmentar as imagens de RADAR, o *software* que apresentou maior potencialidade foi o *Ecognition*, conforme figura 4.6.





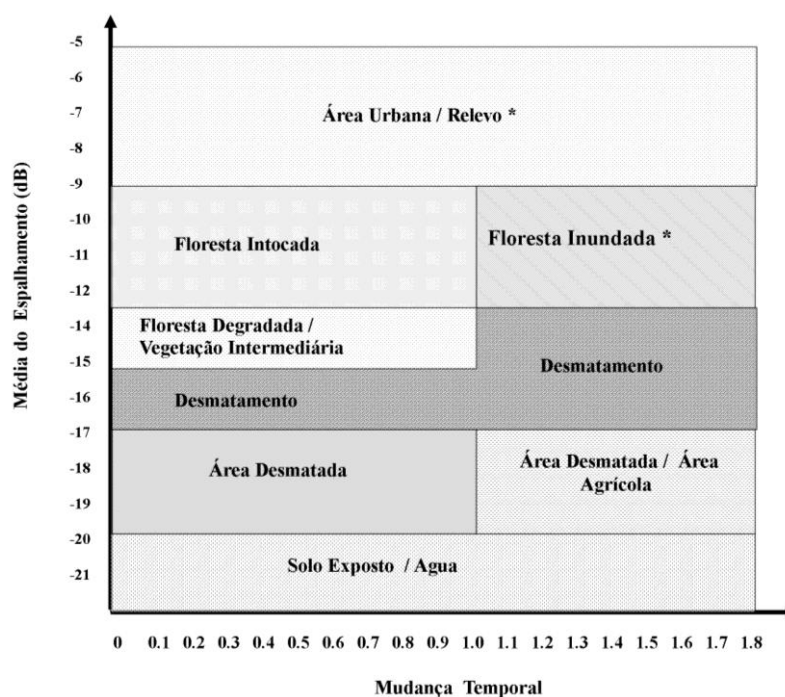
**Figura 4.6** Resultado da segmentação com o software *ecognition*. Para o *threshold* foi utilizado o valor 30 (de 0 a 255) e peso de cor 0.8 (de 0 a 1).

O *ecognition* utiliza na detecção de bordas, além da diferença entre o grupo de pixels e sua relação com os vizinhos, um fator de cor que é melhorado quando se utiliza multicamadas, a partir de um grupo em coordenadas x, y e z, ou como neste trabalho, multi-imagens, o que proporciona uma segmentação mais eficaz.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO

As análises dos comportamentos das feições de interesse apresentadas na seção anterior possibilitaram estabelecer os patamares sobre o retroespalhamento e o índice de mudança (*AC- absolut change*) para classificação das imagens. A figura 5.1 mostra os patamares propostos para classificação dos valores de *pixels* nas imagens utilizada para as localidades de Machadinho d'Oeste (RO) e Confresa (MT). Este método de classificação reduz a dimensionalidade do espaço das soluções da série temporal de imagens (6 dimensões) para somente duas dimensões: 1) a média total das mudanças de retroespalhamento nas imagens e 2) o valor de mudança absoluta de todas as imagens (MARTINEZ & LE TOAN, 2007). O classificador avalia cada grupo de pixel (resultado do processo de segmentação) e determina se os valores dos *pixels* pertencem ou não ao intervalo da classe definida previamente. A classificação está basicamente baseada no uso da polarização HV por ter mostrado maior contraste entre as áreas desmatadas e não desmatadas na análise, conforme gráfico 4.2. Portanto, a polarização HH foi utilizada numa segunda fase para discriminar as áreas inundadas e urbanas graças à detecção de espalhamento duplo, de acordo com figura 2.12.



**Figura 5.1** Limites de retroespalhamento para classificação do desmatamento, a partir da média de espalhamento e da mudança temporal em polarização HV.



De acordo com as análises dos comportamentos de retroespalhamento das feições estudadas na polarização HV, os patamares se caracterizaram da seguinte forma.

Para alvos do tipo solo exposto, foi verificado um índice de mudança muito variável, em função da rugosidade de superfície e do nível de biomassa restante, mas um retroespalhamento médio, menor que  $-20 \text{ dB}$ . Estes valores também são atribuídos a corpos d'água que são facilmente discriminadas na pós-classificação, pela forma particular que rio possui. Para áreas desmatadas, foram observados valores de mudança temporal menor que  $1,0 \text{ dB}$  e espalhamento médio, variando de  $-20 \text{ dB}$  a  $-17 \text{ dB}$ . Alvos que possuem os mesmos patamares de espalhamento médio de áreas desmatadas, com índice de mudança temporal maior que  $1,0$  foram consideradas áreas desmatadas, mas provavelmente utilizadas como terras agrícolas.

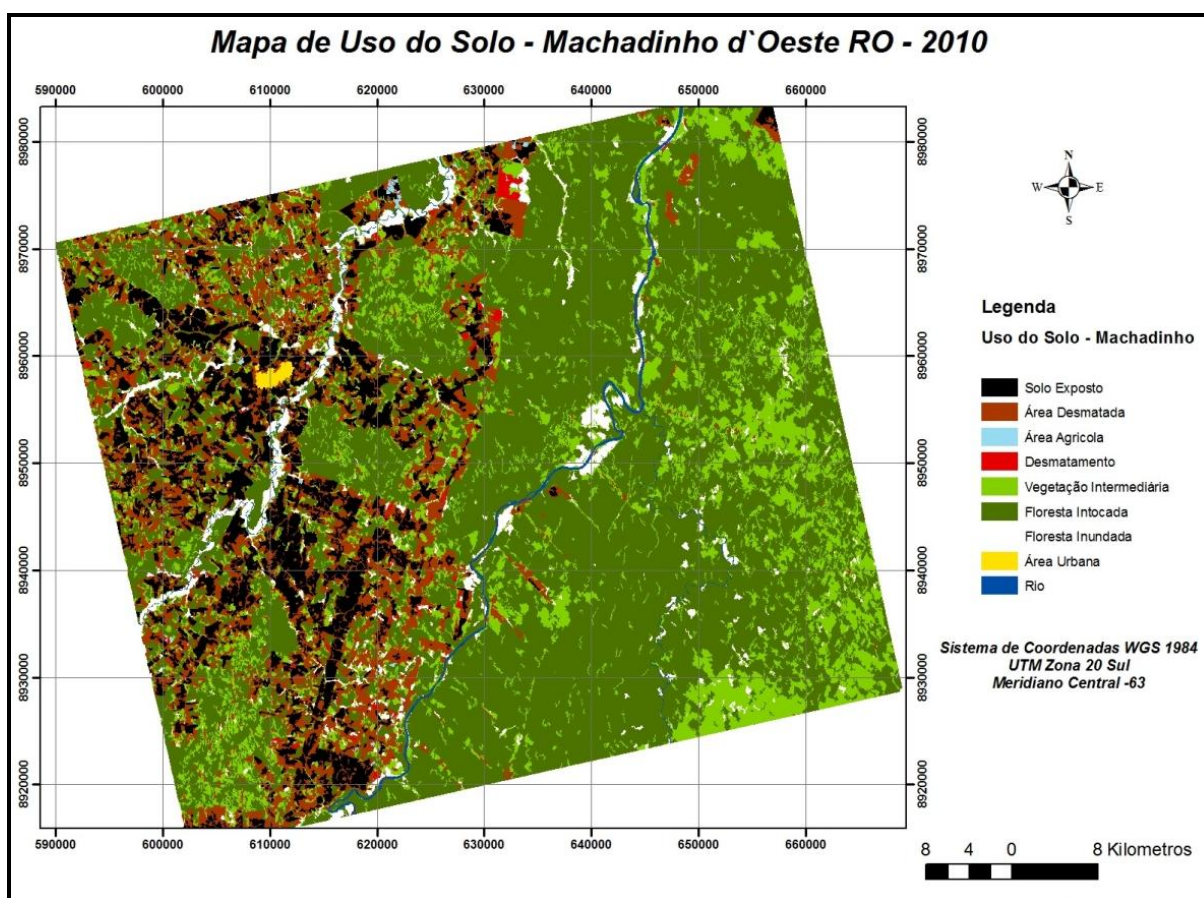
As áreas em processo de desmatamento apresentam valores médios de retroespalhamento e índice de mudança temporal variável em função da intensidade do processo (MARTINEZ & LE TOAN, 2007). Assim, áreas que apresentaram índices de mudança temporal menor que  $1,0$  com valor médio de retroespalhamento, variando de  $-17$  até  $-15 \text{ dB}$ , foram caracterizadas como desmatamentos de área estável, com processo lento de desmatamento. Para os valores médios de retroespalhamento de áreas desmatadas maior de  $-17 \text{ dB}$ , porém, menores de  $-13,5 \text{ dB}$ , com índice de mudança temporal menor que  $1,0$ , ficou caracterizado processo intenso de desmatamento.

Áreas com valores médios de retroespalhamento variando de  $-15$  até  $-13,5 \text{ dB}$ , com índice de mudança temporal menor que  $1,0$ , foram caracterizadas como áreas degradadas e/ou de biomassa intermediária (caso do município de Confresa). Alvos que apresentaram valores médio de retroespalhamento  $> -12$  e  $< -9 \text{ dB}$ , e índice de mudança temporal  $< 1,0$  são classificados como áreas de floresta intocada, enquanto que para um índice de mudança maior que  $1,0$  essas áreas são classificadas como áreas de inundação, sendo que, para este caso, foram utilizado também os valores de retroespalhamento em polarização HH.

Por fim, as áreas que apresentam valores médios de retroespalhamento maior que  $-9 \text{ dB}$  ficam classificadas como áreas urbanas ou de relevo. Em função

da forma particular das áreas urbanas, esses dois alvos foram facilmente resolvidos com auxílio dos valores de retroespalhamento da polarização HH.

Após o estabelecimento das regras a serem utilizadas, a aplicação do classificador de detecção de mudança baseado nas propriedades físicas do retroespalhamento das feições apresentou bons resultados. Seguem os resultados da classificação, com os mapas de uso dos solos obtidas nos municípios de Machadinho do Oeste (RO) e de Confresa (MT).



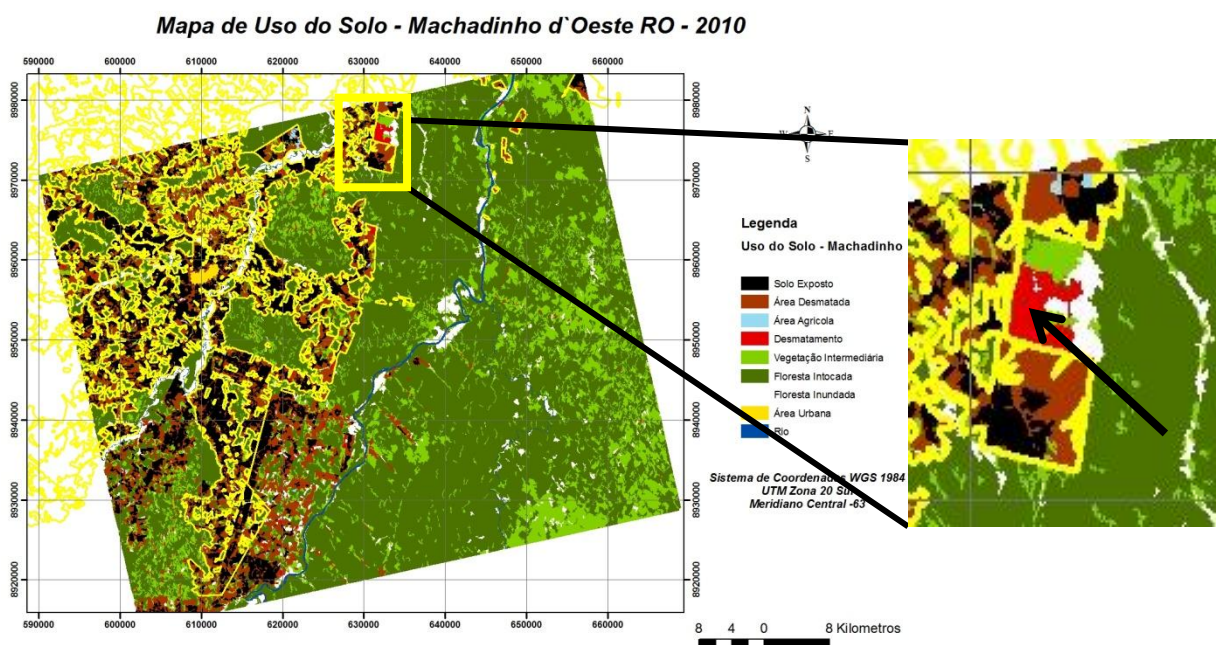
**Figura 5.2** Mapa de classificação para a cena da região de Machadinho d'Oeste - RO.

No mapa de classificação apresentado na figura 5.3, acrescentou-se o *shape* de desmatamento produzido pelo SIPAM para verificação das áreas de desmatadas, caracterizadas pela linha amarela.

A análise do comportamento das mudanças temporais e do retroespalhamento possibilitou a separabilidade entre área de solo exposto, com nenhum tipo de cobertura vegetal, das áreas desmatadas, com presença de

pequenas formações vegetais. As áreas classificadas como agricultura devem-se as altas variações de retroespalhamento e forte mudança temporal. Áreas de vegetação intermediária foram influenciadas pela relação com o relevo, mostrando que a correção aplicada com o *software MapReady* não é suficiente para eliminar todas variações de relevo. Áreas de floresta inundada foram discriminadas com utilização da polarização HH da época de chuva. Para área urbana, também foi utilizada a polarização HH, por apresentar maior retroespalhamento e maior contraste entre alvos vizinhos que a HV. Ao todo, nove (9) classes de uso do solo foram discriminadas, incluindo a classe rio que foi separada das áreas de solo exposto, por apresentar valores de retroespalhamento semelhantes, mas que foi resolvido facilmente pela forma do rio.

Outro fator importante do mapa elaborado, a partir dos dados de imagens multitemporais do ALOS/PALSAR, é a possibilidade de discriminar não apenas áreas que estão desmatadas, mas também oportunizar o conhecimento de áreas que estão em processo de desmatamento.

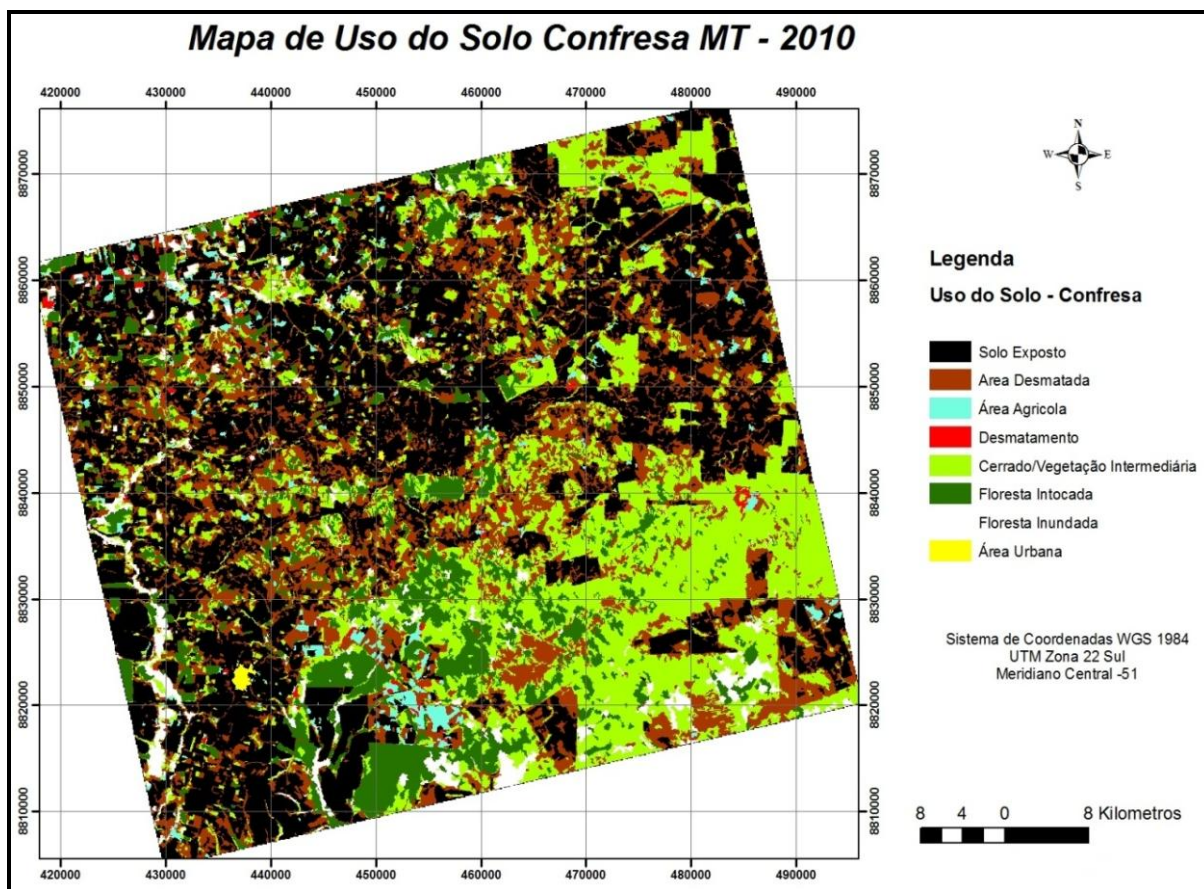


**Figura 5.3** Recorte no mapa de classificação (*shape* de desmatamento do SIPAM na linha amarela), com destaque para área em processo de desmatamento indicado pela seta na cor preta.

Observa-se que os dados de desmatamento produzidas pelo SIPAM (figura 5.4), não conseguiram detectar a área mapeada (área em destaque pelo zoom) como processo de desmatamento indicada pela seta. Essa área foi apresentada em

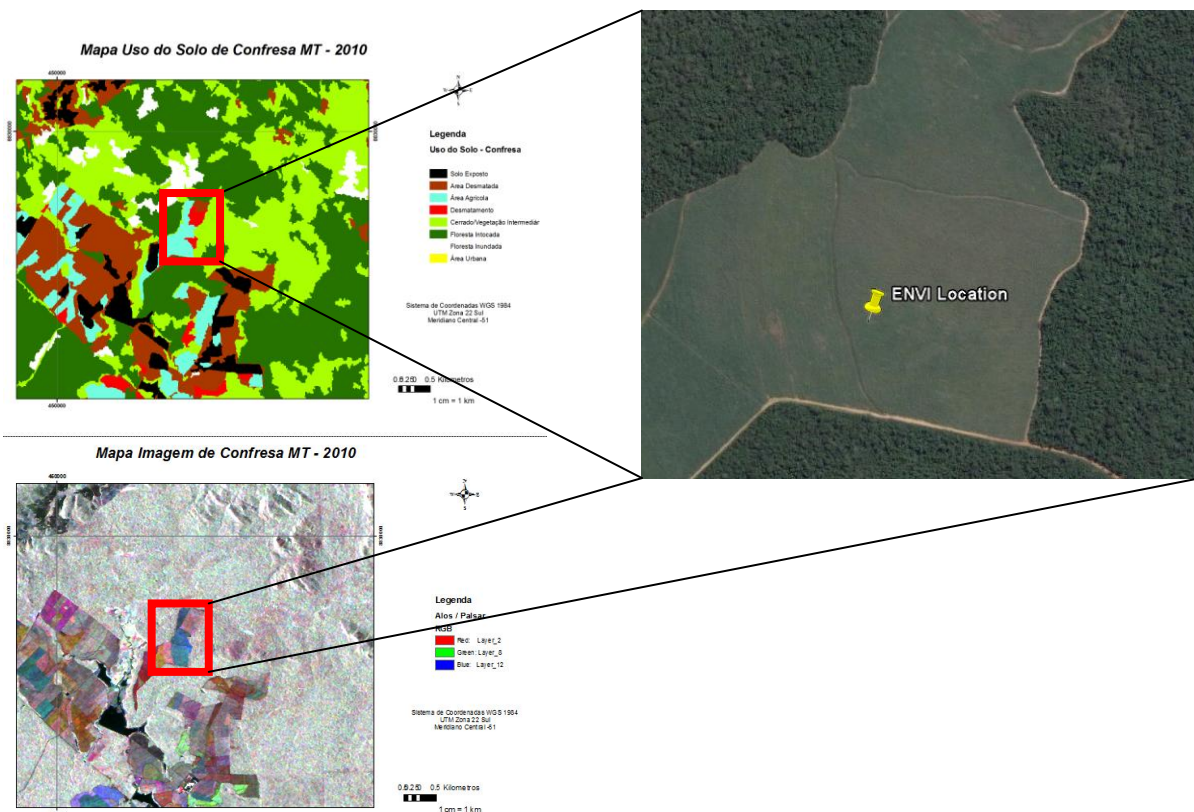


detalhe na figura 4.2 e caracteriza claramente um processo de desmatamento que se iniciou depois do levantamento do SIPAM (de 2006 ou 2007).



**Figura 5.4** Mapa de classificação para a cena da região de Confresa – MT.

No mapa de classificação de Confresa, as classes solo exposto, área desmatada, área agrícola, desmatamento, cerrado/vegetação intermediária, floresta intocada, floresta inundada e área urbana foram discriminadas pelos mesmos critério de classificação utilizado para Machadinho d'Oeste. Para classe área agrícola, deve ser ressaltado que apesar da sua identificação na classificação, é necessário um estudo mais detalhado e aprofundado. Áreas de agricultura apresentam fortes variações de retroespalhamento, podendo variar de características que representam floresta a características que representam solo exposto, conforme descrito no item (4.3.1). A figura 5.5 demonstra melhor identificação dessas áreas.



**Figura 5.5** Locais de agricultura identificados pela cor azul no mapa de classificação. Destaque para área com o retângulo na cor vermelha, em imagem do visível.

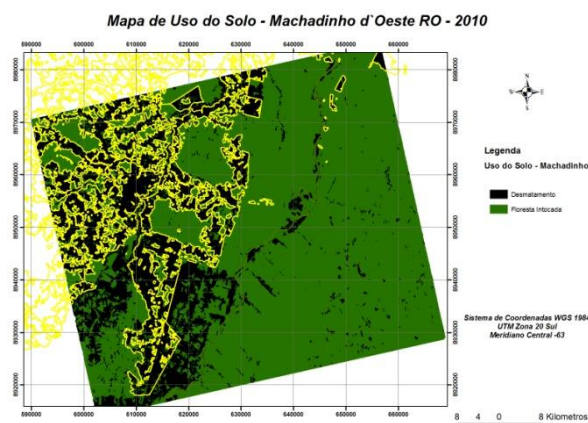
Estas informações possibilitam concluir que para áreas de agricultura é necessário selecionar séries temporais que permitam compreender a dinâmica das culturas plantadas. Este estudo não contempla de forma específica, áreas de agricultura, pois ao final, o que se deseja é o total de áreas desmatadas com o uso das imagens do ALOS/PALSAR de Machadinho d'Oeste e Confresa. Para essa quantificação, foi necessário que as classes encontradas fossem reduzidas de 9 classes para 2 classes que são: áreas desmatadas e áreas não desmatadas.

## 5.2 DISCUSSÃO

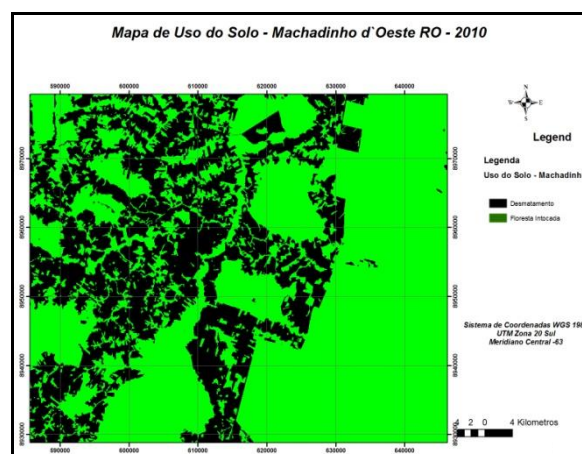
### 5.2.1 Validação para o Mapa de Classificação de Machadinho d'Oeste - RO

Para validar o mapa de classificação, o arquivo *shape file* do SIPAM e o mapa de classificação foram convertidos para o formato *raster*. Esta classificação apresenta uma tipologia muito mais fina (9 temas) do que os dados do SIPAM (dois temas).

Assim, para validação, o mapa obtido por satélite foi simplificado em duas classes (desmatado / não desmatado). A seguir, o mapa de uso do solo produzido a partir do ALOS/PALSAR reduzido em dois temas e o *shape* de desmatamento produzido pelo SIPAM são apresentados.



**Figura 5.6** Classe de uso do solo a partir de dados PALSAR, com redução de 9 para 2 classes (em verde área não desmatada, e em preto área desmatada na região de Machadinho d'Oeste. A linha amarela representa o *shape* de áreas desmatadas).



**Figura 5.7** Classe de desmatamento de Machadinho d'Oeste a partir de dados do SIPAM (em verde área não desmatada, e em preto área desmatada).

Desta forma, para verificação de similaridade de área desmatada optou-se por atribuir valores para as classes conforme a seguir.

**Tabela 5.1** Tabela de validação.

	<b>Palsar</b>	<b>SIPAM</b>	
<b>acerto</b>	Desmatada	desmatada	1
<b>acerto</b>	não desmatada	não desmatada	2
<b>comissão</b>	Desmatada	não desmatada	3
<b>omissão</b>	não desmatada	Desmatada	4

Neste caso, para cada área mapeada como desmatamento a partir dos dados do *PALSAR* e para os dados do *SIPAM*, foi atribuído o valor 1, indicando acerto na classificação. Para áreas no mapa de classificação e nos dados do *SIPAM* que indicaram não desmatadas, foi atribuído o valor 2. Áreas que foram classificadas como desmatadas e o *SIPAM* classifica como não desmatada, foi atribuído valor 3. O valor 4 foi atribuído para situações que no mapa de classificação eram não desmatada e o *SIPAM* classificou como desmatada.

O resultado da comparação entre o mapa de classificação realizado pelo *PALSAR* e a classificação feita pelo *SIPAM*, apresentou o seguinte resultado.

**Tabela 5.2** Resultado da comparação entre o mapa de classificação a partir de dados *PALSAR* e dados *SIPAM* para região de Machadinho d' Oeste.

		<b>SIPAM</b>		
		Desmatada	Não Desmatada	
<b>PALSAR</b>	Desmatada	<b>81,7%</b>	8,9%	90,6
	Não Desmatada	18,3%	<b>91,1%</b>	109,4
		100,0%	100,0%	<b>86,4</b>

O total da área utilizada para validação do mapeamento das áreas desmatadas representa 919 Km<sup>2</sup> e, para as áreas não desmatadas, 2.774 Km<sup>2</sup> (áreas calculadas a partir das imagens RADAR). A razão pelo qual o *shape* do *SIPAM* não foi utilizado no processo de análise das imagens assegura uma validação robusta e independente.

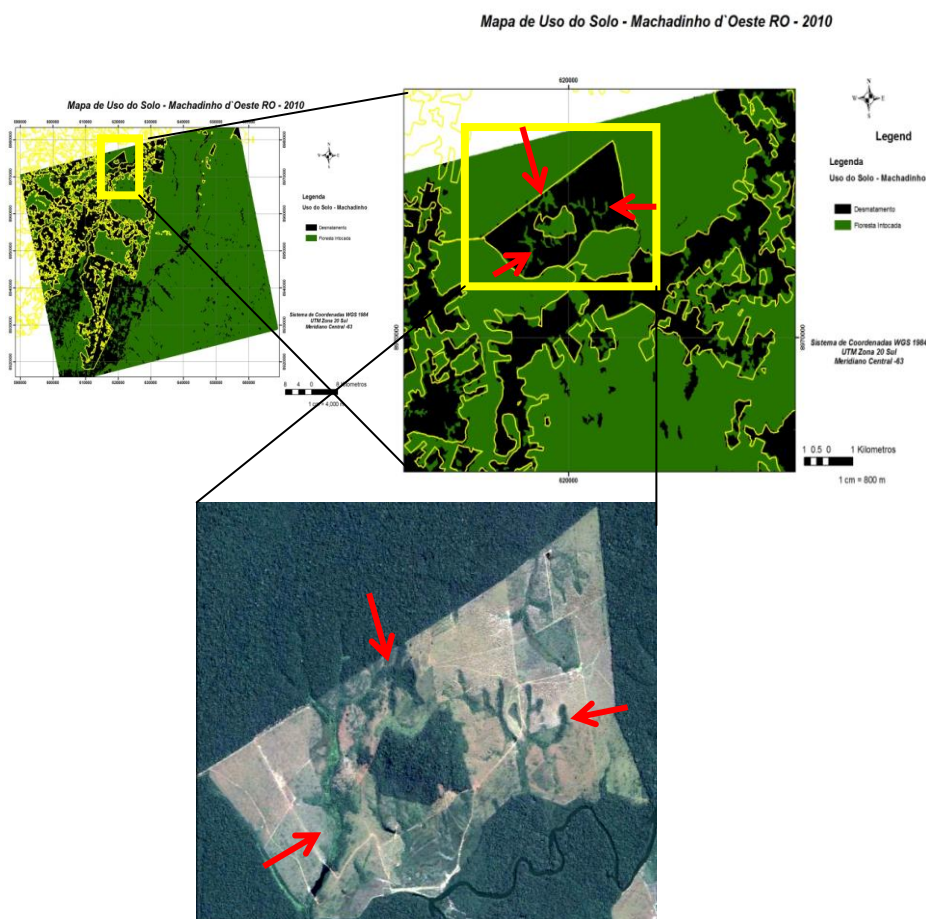
A comparação entre os dois mapas apresentaram bons resultados. Para área desmatada no *SIPAM* e no mapa de uso do solo a semelhança entre os dois foi de 81,7%. A discordância entre os dois dados para áreas desmatadas (18,3%) é decorrente do classificador utilizado para o mapa produzido com dados do ALOS/*PALSAR*, por apresentar maior detalhamento das áreas e pelo fato que o mapa do *SIPAM* ter sido produzido nos anos anteriores ao da aquisição das imagens.

Para áreas não desmatadas, no mapa do *SIPAM* e no mapa de uso do solo produzido, 91,1% dos dados apresentaram similaridade. Parte da discordância entre



os mapas são decorrentes dos mesmos fatores comentados anteriormente e serão detalhados a seguir.

Na figura a seguir, as setas indicam áreas que o classificador conseguiu discriminar vegetação dentro de um polígono de áreas desmatada traçada pela linha amarela, que corresponde ao polígono de desmatamento produzido pelo SIPAM.



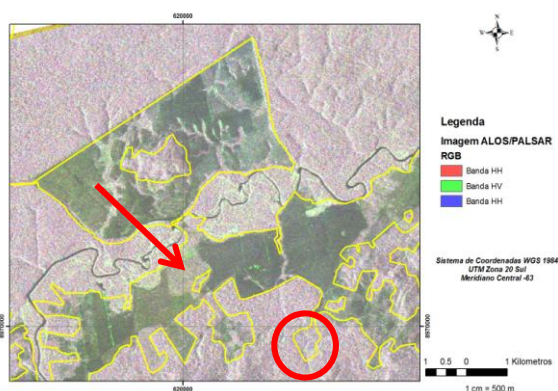
Esta incorporação de área de vegetação é decorrente de dois fatores: o primeiro se refere a capacidade e a potencialidade da utilização desta metodologia em detectar áreas vegetadas ou desmatadas, independentes de tamanho mínimo da áreas; e o segundo é decorrente do profissional que traça a poligonal, pois dependendo do tamanho da área vegetada, julga agregá-la ou não ao polígono de desmatamento. Esta segunda variável pode estar associada à resolução espacial de



área de trabalho na tela do computador. Este fato mostra que mesmo reduzindo as classes de uso de solo produzidas com dados do PALSAR de 9 para 2 classes, ainda apresenta maior confiabilidade que os dados do SIPAM, uma vez que a determinação das classes se dá de forma automatizada e objetiva.

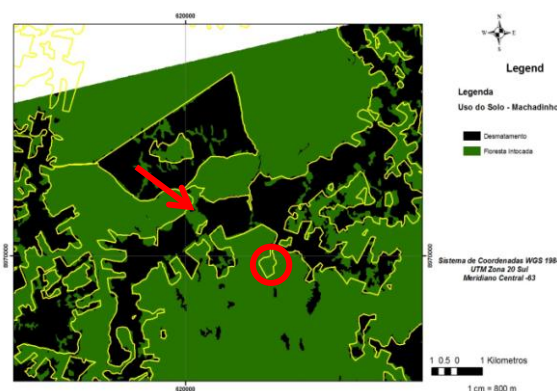
Na figura a seguir as áreas destacadas com as setas vermelhas representam formações florestais que não foram detectadas pelos dados SIPAM.

Imagem ALOS/PALSAR - Machadinho d'Oeste RO - 2010



**Figura 5.9** Imagem ALOS/PALSAR de Machadinho d'Oeste com *shape* SIPAM de área desmatada em linha amarela. A seta e o círculo destacam áreas de vegetação intermediária que foram incorporadas à área desmatada.

Mapa de Uso do Solo - Machadinho d'Oeste RO - 2010



**Figura 5.10** Área de desmatamento de Machadinho d'Oeste produzido a partir dos dados ALOS/PALSAR. A linha Amarela corresponde ao *shape* de desmatamento do SIPAM. A seta e o círculo destacam área de floresta incorporada à áreas desmatadas.

Estas informações são relevantes para validação do mapa produzido com dados do PALSAR, pois influenciam os resultados obtidos ao relacionar os dois mapas. Parte da discordância entre algumas áreas, podem ser atribuídas ao traço da poligonal de áreas desmatadas no mapa do SIPAM, no qual feições pequenas de vegetação, foram consideradas áreas desmatadas. Isso provocará uma perda natural de informação no mapa de desmatamento do SIPAM, enquanto que o mapa produzido automaticamente pela metodologia empregada neste estudo, mostra detalhes que muitas vezes o olho humano não consegue discriminar, aumentando a diferença entre os dois mapas.

### 5.2.2 Validação para o Mapa de Classificação de Confresa - MT

Para a região de Confresa, aspectos de incorporação de áreas de floresta também foram identificados.

Da mesma forma que o mapa de classificação de Machadinho foi reduzido para área desmatada e área não desmatada, o mapa de classificação de Confresa foi reduzido de 8 para 2 classes.

**Tabela 5.3** Resultado da comparação entre o mapa de classificação a partir de dados PALSAR e dados SIPAM para região de Confresa.

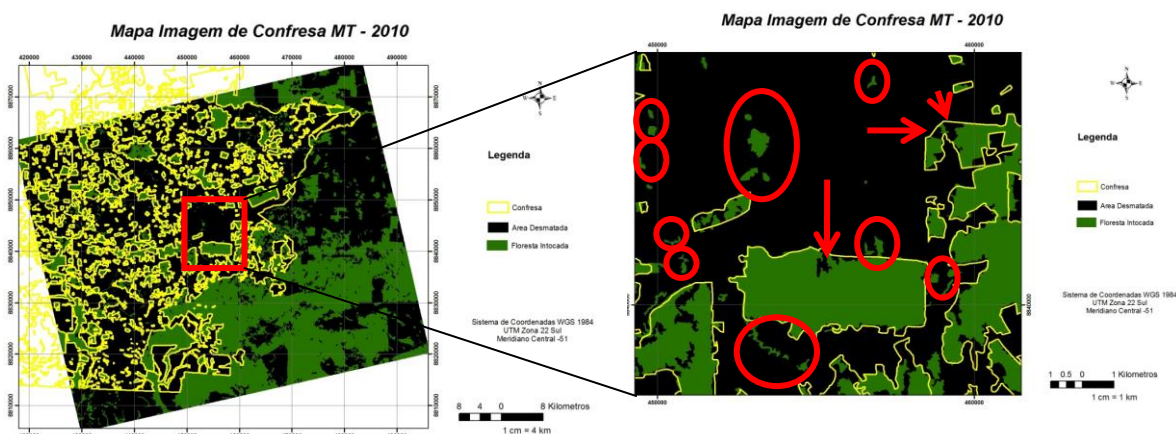
		SIPAM		
		Desmatada	Não Desmatada	
PALSAR	Desmatada	<b>93,46%</b>	31,06%	124,5
	Não Desmatada	6,54%	<b>68,94%</b>	75,5
		100%	100%	<b>81,20</b>

O total da área utilizada para validação do mapeamento das áreas desmatadas representam 2.311 Km<sup>2</sup> e para as áreas não desmatadas 1.313 Km<sup>2</sup> (áreas calculadas a partir das imagens RADAR). Para verificação do tamanho da área, a razão pelo qual o shape do SIPAM não foi utilizado no processo de análise das imagens, assegura uma validação robusta e independente.

A comparação entre o mapa produzido a partir de dados do ALOS/PALSAR e o mapa de desmatamento do SIPAM apresentou bom resultado. Para áreas que o SIPAM e o mapa de classificação mostram ser área desmatada, a semelhança entre os dois foram de 93,46%. A discordância entre os dados se referem aos mesmos descritos no item (5.2.1), que são maior capacidade de classificação e poligonal traçada manualmente reduzindo o detalhamento das áreas estudada.

Para área não desmatadas a semelhança entre os dois mapas foi de 68,9%, sendo que a discordância apresentou valor mais alto que o esperado (31,06%). Avaliando quais fatores influenciaram a alta discordância entre os dois mapas uma área foi selecionada e será apresentada a seguir. Os círculos representam áreas de

floresta não identificadas ou incorporadas ao polígono de desmatamento no *shape* do SIPAM, enquanto que as setas caracterizam áreas desmatadas que estão agregadas às áreas não desmatada pelos dados satelitais.



**Figura 5.11** Áreas não desmatadas e áreas desmatadas detectadas pelo mapa de desmatamento de Confresa, a partir de dados *PALSAR*, que não foram detectadas pelo *shape* do SIPAM. Os círculos representam áreas não desmatadas e as setas áreas desmatadas. A linha amarela é o polígono de área não desmatada produzido pelo SIPAM.

Áreas consideradas de tamanho razoável para ser classificada como não desmatada, mesmo manualmente, não foram discriminadas provocando maior perda de informação nos dados do SIPAM. Este fato contribue a explicar porque ocorreu maior diferença entre áreas desmatadas conforme a seguir.



**Figura 5.12** O círculo e a seta mostram áreas de tamanho considerável para classificação correta, porém não foram registradas.

Diante da precisão e detalhamento que o mapa de desmatamento produzido, a partir do ALOS/PALSAR, em relação aos dados do SIPAM, a comparação entre eles é prejudicada, mas pode ser empregada para validar os dados apresentados. O mapa produzido pelo SIPAM apresentou divergências consideradas comuns, pois os mesmos foram produzidos manualmente.

Conclui-se com as divergências de classificação, que apesar do mapa produzido pelo SIPAM ser de relevante importância para analisar e quantificar o processo de desmatamento, e o total de área desmatada, ainda é necessário buscar melhorias na elaboração das informações. Este estudo vem contribuir para essa melhoria.

A utilização desta metodologia para detecção de desmatamento pode ser utilizada, otimizando o processamento das imagens e produzindo resultados com maior rapidez.

## 6. CONCLUSÕES E PESPECTIVAS

Este trabalho vislumbrou a utilização de uma ferramenta semi-automática capaz de mapear áreas desmatadas a partir da compreensão do comportamento dos mecanismos de interação das ondas EM em uma série multitemporal.

A redução dimensional da série temporal para apenas duas, média do espalhamento e o cálculo da mudança temporal possibilitaram a discriminação de 9 classes de uso do solo (rio, solo exposto, área desmatada, área agrícola, desmatamento, área de vegetação intermediária/cerrado, floresta intocada, floresta inundada e área urbana) permitem alcançar um classificador simples e robusto.

As informações multitemporais dos dados das imagens analisadas permitem reduzir a confusão entre classes. Assim, essas informações garantiram uma classificação mais fina do que uma simples discriminação desmatamento/não desmatamento, tal como a classificação realizada pelo SIPAM.

Reduzindo a quantidade de classes do mapa produzido neste estudo para somente duas; área desmatada e área não desmatada, foi possível realizar uma validação independente e robusta com o mapa do SIPAM, apresentando bons resultados.

Para região de Machadinho d'Oeste, a acurácia das informações produzidas, mostraram similaridade de 86,4%, sendo que,13,6% (valor restante para alcançar 100%), corresponde as áreas não similares entre as duas imagens. Este valor (13,6%) foi fortemente influenciado por áreas de desmatamento não detectadas no mapa produzido pelo SIPAM e pelas áreas não desmatadas incorporadas a áreas de desmatamento durante o processamento manual no SIPAM.

Para a classificação na região de Confresa, a acurácia das informações produzidas foi de 81,2% de similaridade entre os dois mapas. O valor de 18,8% para alcançar 100% de similaridade, também foi fortemente influenciado por áreas de desmatamento não detectadas e por áreas de floresta incorporadas às áreas de desmatamento no mapa de classificação do SIPAM.

A aplicação de série temporal para detecção de desmatamento depende não apenas do número de imagens, mas também das datas de aquisição. Ao selecionar imagens com datas do período seco (junho/julho) e datas do período chuvoso (abril), foi possível entender a variabilidade do retroespalhamento para as áreas desmatadas, possibilitando separar áreas totalmente desmatadas, de áreas que contém pequenas formações vegetais. Desta forma, o classificador utilizado mostrou robustez, para o número e datas de imagens selecionadas neste estudo, na detecção de desmatamento com sensor PALSAR em banda L na polarização HH e HV.

Para análises combinadas de detecção do desmatamento e do uso do solo nas áreas desmatadas, é relevante maior compreensão do comportamento de retroespalhamento de áreas de agrícolas, utilizando séries temporais selecionadas para datas de colheita e datas plantio. Esta análise poderia ser empregada também com sensores RADAR que operam em outras bandas como P e C.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 10520. **Informação e Documentação – Citações em Documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, RJ, 2002. p. 7 Origem: CB – 14
- ABNT. NBR 14724. **Informação e Documentação – Trabalho Acadêmico – Apresentação**. Rio de Janeiro, RJ, 2002. p. 7 Origem: CB – 14
- ABNT. NBR 6023. **Informação de Documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, RJ, 2002. p. 24. Origem: CB – 14.
- ABOUD NETA, S. R.; **Uso de Imagens ALOS/PALSAR Multipolarizadas para detecção de Incremento de Deflorestamento na Amazônia**. Dissertação de Mestrado, INPE, 2009
- ABOUD NETA, S. R.; DUTRA, L. V.; SCOFIELD, G. B.; NEGRI, R. G.; FREITAS, C. C.; SILVA, D. L. A. **Comparação entre classificação contextual e classificação por regiões para mapeamento de uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional de Tapajós - PA (FLONA): utilizando imagens polarimétricas em banda L**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7749-7756. DVD, On-line. ISBN 978-85-17- 00044-7. (INPE-15793-PRE/10405).
- AB’SABER, A.N. **Os Domínios de Natureza do Brasil**. ed. Atelie Editorial. São Paulo, 2003.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, A.; PACHECO, P; DIAZ, M.D.C.V.; FILHO, B. S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 2004
- ALMEIDA, C.M.V.C.; SOUZA, V. F.; LOCATELLI, M.; COSTA, R.S. C.; VIEIRA, A.H.; RODRIGUES, A.N.A.; COSTA, J.N.M.; ASHARAM, C.P.S.; VENEZIANO, W.; JÚNIOR, R.S.M. **Sistemas agroflorestais como alternativa auto-sustentável para o estado de Rondônia. Histórico, aspectos agronômicos e perspectivas de mercado**. Porto Velho: PLANAFLORO, PNUD, 1995.
- ALMEIDA-FILHO, R., ROSENQVIST, A., SHIMABUKURO, Y.E. SILVA GOMEZ, R. **Detecting deforestation with multitemporal L-band SAR imagery: a case study in western Brazilian Amazônia**. International Journal of Remote Sensing, 28, pp.1383–1390, 2007.
- ALMEIDA-FILHO, R., ROSENQVIST, A., SHIMABUKURO, Y.E. R. **Using dual-polarized ALOS PALSAR data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazônia**. International Journal of Remote Sensing, 30, pp. 3735-3743, 2009.

- AYOADE, J. O.; SANTOS, M. J. Z. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**.ed.Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003.
- BATISTELLA, M.; BRONDIZIO, E. **Uma estratégia integrada de análise e monitoramento de assentamentos rurais na Amazônia**. In: GIS BRASIL 2001: SHOW DE GEOTECNOLOGIAS, 7, Curitiba. **Anais**, FatorGis-Selper, 2001. Disponível em: <http://www.gisbrasil.com.br>. Acesso em: 26 julho, 2001
- BETTR, R.; SANDERSON, M.; WOODWARD, M.; **Effects of Large-Scale Amazon Forest Degradation on Climate and Air Quality Through Fluxes of Carbon Dioxide, Water, Energy, Mineral Dust and Isoprene**. Philosophical Transaction Royal Society Biological Sciences, 2008. 363, 1873-1880 doi: 10.1098/rstb. 2007.007. 2010.
- CHELLY, R.; MANIESI. V. **Vulnerabilidade à erosão no município de Rio Branco, Acre: aplicação de técnicas de geoprocessamento**. In: Seminário internacional Amazônia e fronteiras do conhecimento, Núcleo de altos estudos amazônicos - NAEA/UFPa, Belém, 2008.
- CRUZ, O. Sobrevôos no Território de Rondônia, norte de Mato Grosso e sul do Pará e Amazonas.**Projeto RADAM** (Relatório Interno RADAM, 1-GM). Belém, 1974.
- DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; LETOAN, T.; BEAUDOIN, A.; KASISCHKE, E.S.; CHRISTENSEN, N. **Dependence of RADAR backscatter on coniferous forest biomass**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing v. 30: 1992.
- ERDAS. **User Guide**. Atlanta, Georgia, 2007.
- ECOGNITION DEVELOPER. **Trimble Documentation**. Muchen, Germany, 2010.
- ELACHI, C. **Introduction to Physics and Techniques of Remote Sensing**. New York. Wiley & Sons. , 1987
- HOEKMAN, D.H.; QUIÑONES, M.J. **Biophysical forest type characterization in the Colombian Amazon by airborne polarimetric SAR**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 40, n.6, p. 1288-1300, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Imagens do Satélite Alos** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos/> Acesso em: 05 dez. 2007. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Programa de prevenção e controle de queimadas e incêndios florestais na Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/proarco/apresentacao.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2010.
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 509 p., 2000



- JAXA. Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa. Tutorial: **ALOS-Advanced Land Observing Satellite DAICHI**. 2008. Disponível em: <[http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_e.html)>. Acesso em 01 fev. 2010
- JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- LILLESAND, T. M.; Kieffer, R. W.; CHIPMAN, J. W.; Remote Sensing and Interpretation. Ed. 5 John Wiley & Sons. 2004, United Station of Amerian.
- LIMA, M. C.; **Introdução à Interpretação RADAR Geológica**. Ministério da Educação e Orçamento – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Séries Manuais Técnicos em Geociências, número 3. Rio de Janeiro, 1995
- MACEDO, K. A. C.; **Development of a SAR Geocoding Processor**. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 2001.
- MAGHSOUDI, Y; COLLINS, M. J.; LECKIE, D ; **Speckle Reduction for the Forest Mapping Analysis of Mult-Temporal RADARsat-1 Images**. International Journal of Remote Sensing. August, 2010.
- MALHI, Y; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A., KILLEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. **Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon**. Science, v. 319, n. 169, p. 169-172, 2008.
- MARTINEZ, LE TOAN, T.; **Mapping of Food Dymanics and Spatial Distribution of Vegetation in the Amazon Floodplain Using Multitemporal SAR Data**. Remote Sensing of Environment, 108 (3), 209-223.
- MENESES, P. R.; JÚNIOR, L. G. F. Comportamento Espcetral de Minerais e Rochas. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais** Eds. Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, Brasília, DF, 2001, p.262.
- MENESES, P. R. **Processamento de Imanges**. Texto Universitário. Universidade de Brasília, 2006.
- MIRANDA, E.E.; MANGABEIRA, J.A.C.; MATTOS, C.; DORADO, A.J. **Perfil agroecológico e sócio-econômico de pequenos produtores rurais: o caso de Machadinho d'Oeste (RO)**, em 1996. Campinas: ECOFORÇA/EMBRAPA-NMA, 117pp. Documentos, 2, 1997.
- MITCHARD, E. T. A.; SAATCHI, S.S.; WOLDHOUSE, I. H.; NANGENDO, G.; RIBEIRO, N.S.; WILLIAMS, M.; RYAN, C. M.; LEWIS, S. L.; FELDPAUSCH, T. R.; MEIR, P.; **Using Satellite RADAR Backscatter to Predict Above-Ground Woody Biomass: a consistent relationship across four different African landscapes**. Geophysical Research Letters, vol. 36, L23401, doi:10.1029/2009GL04692, 2009.

- OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding synthetic aperture RADAR images**. Norwood, MA: Artech House, p- 479, 1998
- QUADROS, M.L.E.S.; RIZZOTTO, G.J. (organizadores). **Mapa geológico e de recursos minerais do estado de Rondônia**. Escala 1:1.000.000, Porto Velho, CPRM, 2007.
- PRODES. **Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia**. fevereiro 2009. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em 15 jun 2010.
- RONDÔNIA. SEPLAD/PLANAFLORO/PNUD.BRA/00/004. **As unidades de conservação de Rondônia**. 2a ed. Porto Velho, 92pp., 2002a.
- ROSA, R. A. S.; **Correção Radiométrica de Imagens de RADAR de Abertura Sintética Aerotransportado**. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo, 2007.
- SANTOS, R.P. **Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002-2007) – uma análise econométrica e espacial**. Dissertação de mestrado, Unb, 2010.
- SCANDOLARA, J.E. Geologia. In: **Atlas geoambiental de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, v.2, 2002
- SCANDOLARA, J.E.; RIZZOTTO, G.J.; AMORIM, J.L.; BAHIA, R.C.B.; QUADROS, M.L.; SILVA, C.S. **Mapa geológico de Rondônia na escala de 1:1.000.000**. Porto Velho: CPRM, 1999.
- SHIMADA, M. Alos handbook. In: . [s.n.], 2007. p. 146. Disponível em: [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos\\_userhb\\_en.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos_userhb_en.pdf). Acesso em 20 jun 2010.
- SIPAM.**Relatório Técnico Final – Missão SIPAM/SAR-MMA**. Brasília, 2008.
- SOARS, P.C., FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Noticiário Geomorfológico*, v.16, n.32, p. 71-104.
- SOUZA JR, M.A., **Segmentação multi-níveis e multi-modelos para imagens de RADAR e ópticas**. Tese Doutorado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KANASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazon Craton: tectonic implications. **Precambrian Research**, 42: 213-217, 1989.
- ULABY, F. T.; ELACHI, C. **RADAR polarimetry for geoscience applications**. Norwood, Artech House, 1990.

ULABY, F.T.; ALLEN, C.T.; EGER, G.; KANEMASU, E. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. **Remote Sensing Environment.**, v.14, n.1-3, p. 113-133, Jan. 1984.