



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.16.20.25-TDI

ANÁLISE DE IMAGEM POLARIMÉTRICA TERRASAR-X PARA CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA NA PORÇÃO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Cesar Edwin Garcia Cortes

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Roberto dos Santos, e José Cláudio Mura, aprovada em
24 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3978MU8> >

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivêca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.16.20.25-TDI

ANÁLISE DE IMAGEM POLARIMÉTRICA TERRASAR-X PARA CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA NA PORÇÃO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Cesar Edwin Garcia Cortes

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Roberto dos Santos, e José Cláudio Mura, aprovada em
24 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3978MU8> >

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C818a Garcia Cortes, Cesar Edwin .
Análise de imagem polarimétrica TerraSAR-X para classificação de uso e cobertura da terra na porção sudoeste da Amazônia Brasileira / Cesar Edwin Garcia Cortes. – São José dos Campos : INPE, 2011.
xx+86 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.16.20.25-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientadores : João Roberto dos Santos, e José Cláudio Mura

1. Mapeamento florestal. 2. Radar. 3. Classificação poliramétrica. 4. Amazônia. I.Título.

CDU 528.8.044.2 (811.2)

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

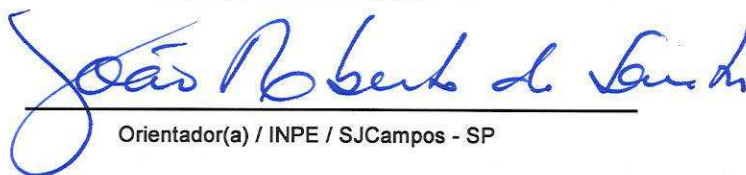
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. Márcio de Morisson Valeriano



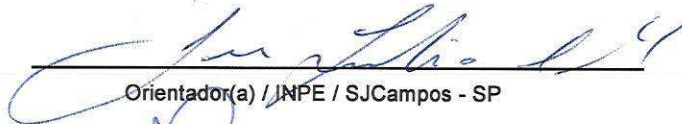
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. João Roberto dos Santos



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. José Cláudio Mura



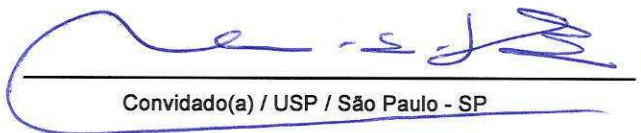
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Marisa Dantas Bitencourt Pereira



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Cesar Edwin Garcia Cortes

São José dos Campos, 24 de fevereiro de 2011

"Toda a grande obra supõe um sacrifício; e no próprio sacrifício se encontra a mais bela e a mais valiosa das recompensas"

Agostinho da Silva

Este trabalho está dedicado a minha família e namorada

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser fonte de fortaleza, sabedoria e paz nos momentos difíceis.

Agradeço, aos meus pais, minha família e namorada pelo constante apoio e amor durante estes dois anos de trabalho.

Ao Ministério de Relações Exteriores (MRE), do Governo brasileiro, que por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) concedeu-me a bolsa de estudos, através do Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG). Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) agradeço pelo conhecimento fornecido através do corpo docente, pela disposição das ferramentas e infraestrutura para o desenvolvimento da pesquisa, e pelo apoio institucional e financeiro nas iniciativas de difusão das investigações.

Agradeço aos meus orientadores, Dr. João Roberto dos Santos e Dr. José Claudio Mura, por todo apoio, paciência e críticas, que contribuíram diretamente para a conclusão desta pesquisa. Igualmente gostaria de agradecer à INFOTERRA GmbH (Alemanha), pela concessão da imagem TerraSAR-X dentro da cooperação técnica com o INPE e ao PROCAD/CAPES no contexto do projeto de colaboração acadêmica entre a PGSER/INPE e a UFAC (Acre).

Ao mesmo tempo quero agradecer ao Dr. Arnaldo Queiroz, como aos doutorandos Cléber Oliveira, Polyanna Bispo e Haron Xaud, pela ajuda fornecida nesta pesquisa. Ao identificador botânico (UFAC) Edilson Consuelo, pela ajuda na identificação das espécies no inventário florestal. Aos colegas da Turma 2009, aos amigos da diretoria e irmãos da república por sua amizade e por serem grandes amigos, contribuindo direta ou indiretamente nas rotinas diárias que fizeram parte da elaboração deste trabalho.

Finalmente agradeço todas as pessoas maravilhosas que pude conhecer durante estes dois anos no Brasil...

Gracias Totales!!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar o uso potencial de imagens SAR polarimétricas do sensor TerraSAR-X, no modo *StripMap*, para mapear o uso e cobertura da terra na região sudoeste da Amazônia brasileira. No procedimento metodológico foram empregados dois classificadores, um baseado nas funções estatísticas de máxima verossimilhança (MAXVER) e o método contextual (*Context*), utilizando imagens de amplitude nas polarizações individuais ($A_{<HH>}$ e $A_{<VV>}$) e da derivada da matriz de covariância $A_{<HH,VV*>}$, bem como da entropia ($A_{\text{Entropia (H)}}$), derivada da decomposição de alvos por auto-valores. Os resultados temáticos dessas classificações foram avaliados através da matriz de confusão e pelo índice *Kappa*. Levantamentos fisionômico-estruturais em campo e pontos de observação devidamente georreferenciados serviram de referência para classificação de 6 classes de uso e cobertura da terra e para avaliação do desempenho das abordagens utilizadas. De forma sintetizada pode-se afirmar que o conjunto de componentes [$A_{<HH>}$, $A_{<VV>}$, $A_{<HH,VV*>}$ e A_{Entropia}], por meio da classificação *Context*, apresentou melhor desempenho classificatório, com exatidão global de 78.33% e índice *Kappa* 0.70. Isso nos permite concluir sobre o importante papel das imagens TerraSAR-X na caracterização temática da paisagem sudoeste da Amazônia, contribuindo também no processo de monitoramento das atividades decorrentes da ação humana, adicionando informações aos já tradicionalmente existentes produtos ópticos obtidos em áreas com elevada cobertura de nuvens como em regiões de florestas tropicais.

TERRASAR-X IMAGE FOR CLASSIFICATION THE LAND USE AND LAND COVER IN THE SOUTHWEST PORTION OF THE BRAZILIAN AMAZON

Abstract

The objective of this study is to analyze the potential use of images from satellite TerraSAR-X, at StripMap acquisition mode, to map and identify the land use and land cover (LULC) in the southwestern Brazilian Amazon. Classifiers based on statistical functions for maximum likelihood (ML) method and based on frequency-based contextual and neural network classification technique (Context) was used in images of amplitude in dual polarization (HH and VV), a synthesized image derivative of the covariance matrix $\langle HH.VV^* \rangle$ and entropy (Entropy (H)), derived from the decomposition of targets by Cloude and Pottier. The results of these classifications were evaluated by the confusion matrix and *Kappa* index. Physiognomic-structural and field observation points (GPS) served as reference for classification of six land cover classes and to evaluate the performance of the approaches used. It can be stated that all components [$A_{\langle HH \rangle}$, $A_{\langle VV \rangle}$, $A_{\langle HH.VV^* \rangle}$ e A_{Entropy}], at Context Classification performed better with an overall accuracy of 78,33% and *Kappa* 0,70. This allows us to conclude on the important role of TerraSAR-X images for the characterization of thematic landscape in the southwestern Brazilian Amazon, including new tools for monitoring human activities and its environmental impact, adding information to already existing traditional optical products obtained in areas of high cloud cover, as it occurs in tropical rain forests.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 Diferentes mecanismos de espalhamento do SAR numa Floresta: (1) Espalhamento volumétrico de copa, (2) espalhamento direto de troncos e galhos, (3) espalhamento direto do solo, (4a) espalhamento tronco-solo, (4b) espalhamento solo-tronco, (5a) espalhamento copa solo, (5b) espalhamento solo copa.....	13
Figura 3.1 Localização da área em estudo em composição colorida R(HH), G(VV) e B(HH.VV*) do Terra SAR-X.....	25
Figura 3.2 (A) Mapa pendente derivado de dados do SRTM, (B) Fotografia indicando a topografia com relevo dissecado de topo tabular e (C) correspondentes perfis topográficos da área assinalada.....	26
Figura 3.3 Distribuição da precipitação e temperatura no ano 2009.....	27
Figura 3.4 Imagem TerraSAR-X nas polarizações HH e VV.....	29
Figura 3.5 Modo de aquisição <i>StripMap</i>	31
Figura 3.6 Localização das Parcelas; em verde as parcelas identificadas como Floresta e em amarelo as parcelas identificadas como Capoeira.....	34
Figura 3.7 Diagrama com a organização geral do trabalho.....	36
Figura 3.8 Procedimento na etapa de pré-processamento.....	37
Figura 3.9 Elementos da Matriz de covariância C_{HH} , C_{VV} e $C_{HH.VV^*}$ e suas respectivas distribuições.....	38
Figura 3.10 Componentes: Entropia (H), Ângulo Alfa (α) e Anisotropia (A) derivadas da decomposição de alvos.	39
Figura 3.11 Passos metodológicos realizados na fase de Classificação.....	41
Figura 3.12 Distribuição de frequências das imagens HH, VV e [HH.VV*] sem e com ortoretificação.....	43
Figura 4.1 Curva espécie-área obtida com a amostragem empregada no	46

	levantamento florestal.....	
Figura 4.2	Parâmetros fitossociológicos das 22 famílias de maior IVI encontradas no inventário florestal.....	48
Figura 4.3	Distribuição das famílias dos 1048 indivíduos arbóreos inventariados.....	49
Figura 4.4	Distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos inventariados.....	50
Figura 4.5	Distribuição da altura total (HT) dos indivíduos arbóreos inventariados.....	50
Figura 4.6	Dendrograma de similaridade florística entre as diferentes parcelas...	51
Figura 4.7	Descrição fotográfica das classes de uso e cobertura da terra na área de Sena Madureira (AC).....	53
Figura 4.8	Distribuição das classes nas diferentes canais na imagem ortoretificada.....	56
Figura 4.9	Distribuição das classes nas diferentes canais na imagem registrada.	59
Figura 4.10	Gráficos Box-plot das classes de uso e cobertura da terra nas polarizações HH (a) , VV (b), HHxVV (c) e Entropia (d).....	60
Figura 4.11	Classificação temática pelo método MAXVER do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{HH.VV*}$, $A_{entropia}$).....	63
Figura 4.12	Classificação temática pelo método Context do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{HH.VV*}$, $A_{entropia}$).....	65
Figura 4.13	Detalhe das diferenças visuais entre a classificação MAXVER (esq.) e <i>Context</i> (der.).....	68

LISTA DE TABELAS

	<u>Pag</u>
Tabela 2.1 Componentes da árvore que atuam como fonte de retroespalhamento em função do comprimento de onda	14
Tabela 2.2 Conceitos <i>Kappa</i>	22
Tabela 3.1 Características da Imagem TerraSAR-X	29
Tabela 3.2 Principais características principais do TerraSAR-X	30
Tabela 3.3 Características e parâmetros do modo <i>StripMap</i>	31
Tabela 4.1 Número total de indivíduos, famílias e espécies de cada parcela amostral do IF, com o respectivo valor do índice de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou.....	52
Tabela 4.2 Valores de Jeffries-Matusita (JM), das classes nas imagens ortoretificada e registradas do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{HH.VV}^*$, $A_{entropia}$).....	58
Tabela 4.3 Matriz de confusão derivada da classificação MAXVER.....	65
Tabela 4.4 Matriz de confusão derivada da classificação pelo método <i>Context</i>	67
Tabela 4.5 Valor Kappa condicional calculado para cada classe para as duas classificações.....	68

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 CONCEITOS SAR (RADAR DE APERTURA SINTÉTICA)	5
2.1.1 Polarização.....	6
2.1.2 Matriz de espalhamento.....	6
2.1.2.1 Matriz de Covariância e de coerência de alvos	8
2.1.3 Decomposição de alvos	9
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR EM REGIÕES DE FLORESTA ..	13
2.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO POLSAR.....	17
2.3.1 Classificação por modelo estatístico de Máxima Verossimilhança (MAXVER) em florestas tropicais.....	18
2.3.2 Classificador contextual (<i>Context</i>)	19
2.4 VALIDAÇÃO DO DESEMPENHO CLASSIFICATÓRIO.....	21
2.5 MÉTODOS PARA AS ANÁLISES FLORÍSTICA E ESTRUTURAL DA TIPOLOGIA FLORESTAL	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 ÁREA DE ESTUDO	25
3.2 MATERIAIS	29
3.2.1 IMAGEM TerraSAR-X.....	29
3.2.2 Dados complementares.....	31
3.2.3 Softwares utilizados.....	32
3.3 METODOLOGIA.....	33
3.3.1 Dados de Campo.....	33
3.3.2 Tratamento dos dados dual polarimétricos TerraSAR-X	36
3.3.2 Pré-processamento digital da Imagem TerraSAR-X.....	36
3.3.3 Classificação.....	41
3.3.3.1 Classificação contextual	42
3.3.3.2 Classificação MAXVER	42
3.3.3.3. Desempenho das classificações.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 ANÁLISES FLORÍSTICA E ESTRUTURAL	45
4.1.1 Caracterização das parcelas amostrais.....	49

4.2 ANÁLISE DESCRITIVA DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA	52
4.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS TERRASAR-X	55
4.3.1 Imagem Ortoretificada.	55
4.3.2 Imagem Registrada.	57
4.3.3 Gráficos <i>box-plot</i>	59
4.4 CLASSIFICAÇÕES DOS DADOS TerraSAR-X.....	61
4.4.1 Classificação pelo método MAXVER.....	61
4.4.2 Classificação Context	63
4.4.3 Síntese comparativa entre classificações.....	65
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A	79

1. INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica possui grande importância nos ciclos biogeoquímicos e concentra parte considerável da biodiversidade do planeta, além de ter uma forte influência sobre o sequestro de carbono (NEGRI et al., 2009). Nas duas últimas décadas a Amazônia brasileira sofreu uma acelerada conversão florestal devido ao aumento da fronteira agrícola e da atividade de pecuária. Atualmente, por ações governamentais tornou-se mais eficiente o processo de fiscalização da degradação florestal, inclusive com redução da taxa bruta de desflorestamento, atualmente em torno 7.000Km²/ano (INPE, 2010). O impacto dessa ação predatória, com efeitos na redução da biodiversidade, perda de fertilidade dos solos e do potencial hidrológico, além de tensões sociais no controle da terra, é uma preocupação da sociedade no planejamento estratégico de conservação e uso sustentável dos recursos dessa extensa região. (CARREIRAS e PEREIRA, 2005; HOUGHTON et al., 2000; VIEIRA et al., 2005).

Imagens de satélite operando com sensores na faixa espectral óptica têm sido ferramentas úteis para mapear e monitorar, de forma operacional, os ecossistemas dessa região, utilizando uma variedade de técnicas de extração de informações. Neste contexto, devem ser citados os projetos DETER – Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (<http://www.obt.inpe.br/deter/>); e o PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>), ambos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT, em convênio com o Ministério de Meio Ambiente e Recursos Renováveis - MMA.

Todavia, a utilização de imagens ópticas apresenta problemas de aquisição, devido a fatores atmosféricos típicos de regiões tropicais. Em algumas regiões da Floresta Amazônica a probabilidade de obtenção de imagens com uma mínima cobertura por nuvens é da ordem de 10% durante quase todo o ano (ASNER, 2001).

Com a disponibilização no mercado de imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*) em nível orbital, o interesse da comunidade técnico-científica em aprimorar ferramentas de tratamento desses dados e a capacidade destes para adquirir informações independentes da cobertura de nuvens, tornou-se uma importante opção para o mapeamento e monitoramento da paisagem. Atualmente existem vários sistemas de radar polarimétricos, em nível orbital, que operam em diferentes bandas e frequências, como o *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS/PALSAR, banda L), Radarsat-2 (banda C), TerraSAR (banda X) e a constelação COSMO-SkyMed (três satélites em banda X).

Como fonte de consulta na aplicabilidade de dados SAR de diferentes sensores, nos modos polarimétrico e interferométrico, em áreas tropicais pode-se citar os artigos de (GAMA et al., 2009; HOEKMAN e QUIÑONES, 2000; SAATCHI et al., 1997; SANTOS et al., 2003; SANTOS et al., 2007). Ainda assim toda essa base tecnológica e seus produtos precisam ser avaliados para diversas aplicações ambientais, considerando sobretudo a complexidade dos alvos das regiões tropicais.

Por conseguinte, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de imagens dual (HH e VV) do satélite TerraSAR-X, no modo *StripMAP*, para a identificação de classes de cobertura e uso da terra na porção SW da Amazônia brasileira. Para tanto, usaram-se algumas técnicas de tratamento como a decomposição de alvos e de classificadores estatísticos e contextual. É importante registrar que são ainda poucos os trabalhos que exploram esses dados do TerraSAR-X em estudos de uso e cobertura da terra, destacando-se os trabalhos de Bratsolis (2009) e Tanase et al., (2009).

1.2 JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, a utilização de dados de sensoriamento remoto provenientes de sistemas de radar imageador vem se tornando cada vez mais freqüente nos trabalhos de mapeamento. Observa-se porém na literatura, que existem poucos trabalhos que utilizam banda X, em imageamento de nível orbital, para o mapeamento de uso e cobertura da terra em ambientes tropicais. Por conseguinte, com a

disponibilização de dados polarimétricos do TerraSAR-X, pretende-se acrescentar conhecimentos que permitam a inclusão de seus produtos, no modo *StripMAP*, nos programas de mapeamento e monitoramento da Floresta Amazônica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar a aplicabilidade de imagens TerraSAR-X, no modo *StripMAP*, para a identificação de classes de cobertura e uso da terra em região de floresta tropical, empregando-se para tal finalidade técnicas de tratamento digital SAR, como a decomposição de alvos e classificadores estatísticos e contextual.

1.3.2 Objetivos específicos

Para o cumprimento do objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Representar a configuração polarizada (HH e VV) das classes de uso e cobertura da terra, procurando explicitar a resposta-radar conforme as características fisionômicas e/ou estruturais de cada alvo investigado.
2. Gerar um procedimento metodológico para mapear as classes de cobertura da terra na paisagem investigada, a partir das abordagens de classificação estatística MAXVER e contextual CONTEXT em dados TerraSAR (banda X) com alta resolução espacial (6 metros).
3. Avaliar o desempenho dos classificadores empregados, definido pelas análises da matriz de confusão e do índice de concordância *Kappa*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS SAR (RADAR DE APERTURA SINTÉTICA)

O SAR é um sensor ativo que se baseia na utilização da energia eletromagnética na região das microondas. O uso do SAR em sensoriamento remoto tem basicamente duas vantagens: 1) que a radiação emitida pelo radar não sofre interferência de fatores atmosféricos como nuvens ou poeira, 2) a aquisição de dados pode ocorrer em qualquer horário do dia (RANEY, 1998). Por tais características, os dados gerados pelo radar são de grande utilidade em ambientes tropicais, em decorrência da intensa cobertura de nuvens (ASNER, 2001; SANO et al., 2007).

O sinal do retroespalhamento dos alvos está relacionado a geometria e as propriedades dielétricas do alvo. O retroespalhamento SAR é dependente da combinação de parâmetros inerentes ao sistema imageador, tais como frequência, polarização, ângulo de visada e incidência, e das características geométricas e elétricas das superfícies dos materiais imageados. (PARADELLA et al. 2005).

O princípio do funcionamento do radar imageador consiste na emissão de radiação eletromagnética na faixa de microondas direcionada a uma porção da superfície terrestre, registrando a intensidade e o tempo de retorno desse pulso de energia retroespalhada em direção à antena, portando características como comprimento de onda (λ), amplitude, polarização, fase e direção de propagação da onda (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Para garantir que toda a informação da onda espalhada seja mantida, sua polarização deve ser medida através de uma representação vetorial. Com a utilização de um radar imageador polarimétrico é possível medir a amplitude e a fase relativa de todas as configurações das antenas de transmissão e recepção, para todos os elementos de resolução de uma cena (ULABY e ELACHI, 1990).

Num SAR polarimétrico a parte do sinal que retorna e é captada pela antena é estruturada em duas partes: sinal em fase (I: *In Phase*) e sinal em quadratura de fase (Q: *Quadrature*). Conforme citado por Gaboardi (2002), o sinal é convertido em representação numérica e armazenado na forma de um número complexo, onde a parte real contém o componente do sinal em fase (I) e a parte imaginária contém o componente em quadratura de fase (Q); As imagens de radar disponibilizadas no formato complexo são geradas com um único “look”, ou seja, utilizando-se toda a abertura sintética disponível. Segundo Andrade (1999), esse tipo de dado contém a informação de fase de cada pixel da imagem, representado por um número complexo composto de uma componente real e de uma componente imaginária. Segundo Paradella et al. (2005), a polarimetria é o campo no qual a amplitude e a fase entre polarizações são exploradas para extração de informações, tais como parâmetros estatísticos, imagens transformadas e decomposições de alvos.

2.1.1 Polarização

As imagens SAR são resultado do processo de retroespalhamento de uma onda eletromagnética transmitida com uma polarização horizontal (h) ou vertical (v) sendo possível medir a amplitude e a fase relativa de todas as configurações (componentes) das antenas de transmissão e recepção formando assim um conjunto possível de imagens: HH, HV, VH e VV (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Segundo Henderson e Lewis (1998) a interação da onda eletromagnética com objetos na superfície terrestre tem relação com a polarização incidente. Caso os objetos tenham uma orientação vertical, a interação com microondas verticalmente polarizadas será maior. Com raras exceções, retroespalhamento em polarizações paralelas (HH ou VV) é mais forte que em polarizações cruzadas (HV ou VH) (HENDERSON e LEWIS, 1998).

2.1.2 Matriz de espalhamento

Do conjunto de imagens polarimétricas é possível gerar a matriz de espalhamento [S] (1). A matriz de espalhamento (S) é uma matriz complexa 2×2 que expressa como um

espalhador que transforma o campo elétrico transmitido E^t no campo elétrico recebido E^r , ou seja, é uma matriz que contém as informações relativas ao alvo (HENDERSON e LEWIS, 1998). Assim [S] representa o retroespalhamento do alvo imageado e depende somente das propriedades físicas e geométricas desse alvo.

A matriz de espalhamento é definida em Ulaby e Elachi (1990) como:

$$E^r = \frac{e^{ikr}}{r} (S) \cdot E^t \quad \text{ou} \quad \begin{bmatrix} E_h^r \\ E_v^r \end{bmatrix} = \frac{e^{ikr}}{r} \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} E_h^t \\ E_v^t \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Onde r corresponde à distância do espalhador, ou seja, a distância entre a antena e o alvo e k é o número de onda do sinal transmitido.

A matriz de espalhamento [S] toma formas diferentes nas convenções FSA - *Forward Scattering Alignment* e BSA - *Backscatter Alignment* (HELLMANN, 2001). É chamada matriz de Sinclair [S] quando se trabalha nas convenções BSA ou Matriz de Jones [J] na convenção FSA. As matrizes de Jones (FSA) ou de Sinclair (BSA) são utilizadas quando se representa a onda por intermédio do vetor de Jones. (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Além da matriz de espalhamento [S], existem outras maneiras de se representar os dados polarimétricos, que são: matriz de Stokes [M] (também chamado de Muller) na convenção FSA e a matriz de Kennaugh [K] na convenção BSA. As matrizes de Stokes e de Kennaugh assumem que os espalhadores são puramente determinísticos o que não é rigorosamente válido, pois a célula de resolução é maior do que o comprimento de onda utilizado pelo sistema, ou seja, os alvos naturais contêm muitos espalhadores determinísticos espacialmente distribuídos, sendo que cada um destes espalhadores são completamente representados por uma matriz [S] individual (ANDRADE et al., 2007).

Para a caracterização de ondas parcialmente polarizadas, e para o melhor conhecimento da estatística dos efeitos do espalhamento e na análise dos espalhadores, foi introduzido o conceito de matriz de covariância [C] e de coerência [T] dos espalhadores (CLOUDE e POTTIER, 1996).

2.1.2.1 Matriz de Covariância e de coerência de alvos

A partir da matriz de espalhamento [S] pode-se deduzir a matriz covariância a qual é de grande importância quando se trata de dados polarimétricos.

A matriz de espalhamento [S] pode ser expressa sob forma vetorial [\mathbf{K}_B], representado na equação (2), através da transformação de base de Borgeaud, também chamada do vetor de espalhamento do alvo.

$$\vec{k}_B = [S_{hh} \quad S_{vh} \quad S_{hv} \quad S_{vv}]^T \quad (2.2)$$

Aplicando-se a média do produto complexo entre os vetores \mathbf{K}_B e \mathbf{K}_B^{*T} , obtém-se a matriz de covariância [C], representada por:

$$[C] = \langle \vec{k}_B \cdot \vec{k}_B^{*T} \rangle \quad (2.3)$$

A matriz [C] dada na equação (3) tem seus autovalores reais e não negativos e tem precisamente os mesmos elementos da matriz de Kennaugh [K] e da matriz de Mueller [M]. A matriz de covariância contém todas as informações necessárias para lidar com um alvo, utilizando-se a convenção BSA.

A matriz de espalhamento [S] também pode ser expressa sob forma vetorial através da transformação de base de Pauli, gerando o vetor de espalhamento \mathbf{K}_p do alvo ou vetor de coerência (CLOUDE, 1986), dado pela equação (4):

$$\vec{k}_p = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{hh} + S_{vv} \quad S_{hh} - S_{vv} \quad S_{hv} + S_{vh} \quad i(S_{hv} - S_{vh})]^T, \quad (2.4)$$

Aplicando-se a média do produto complexo entre os vetores \mathbf{K}_p e \mathbf{K}_p^{*T} , representado na equação (5), obtém-se a matriz de coerência [T], introduzida por Cloude (1986). Cloude e Pottier (1997) utilizaram esta matriz para o desenvolvimento da teoria da decomposição de alvos baseada em autovalor e autovetor.

$$[T] = \langle \mathbf{K}_p \cdot \mathbf{K}_p^{*T} \rangle, \quad (2.5)$$

As matrizes de covariância e de coerência são unitariamente similares, carregando as mesmas informações, tendo os mesmos autovalores (que são reais), mas com diferentes autovetores (CLOUDE e POTTIER, 1996). A matriz de covariância ou de coerência são parâmetros de entrada para a decomposição de Freeman-Durden, e, posteriormente são empregadas na classificação da imagem. Ambas carregam as mesmas informações em representações diferentes e possuem uma distribuição de Wishart.

2.1.3 Decomposição de alvos

A decomposição de alvos tem como objetivo expresso o mecanismo médio de espalhamento como uma soma de elementos independentes, associando-se cada um destes elementos a um mecanismo físico. A decomposição pode ser dividida em duas classes: coerente e incoerente. A decomposição coerente consiste num espalhamento determinístico, com a onda retroespalhada e completamente polarizada; neste caso, a matriz $[S]$ é comumente utilizada para caracterizar os estados de polarização. Ex.: decomposição de Pauli (CLOUDE e POTTIER, 1996), decomposição de Krogager, (KROGAGER, 1990) e decomposição de Cameron (CAMERON e LEUNG, 1990). Caso o espalhamento não seja determinístico, com a onda retroespalhada e parcialmente polarizada, a decomposição é do tipo incoerente. Nesse último caso, indicam-se as matrizes de Muller, covariância $[C]$ e coerência $[T]$, que são comumente utilizadas para caracterizar os estados de polarização Ex.: decomposição de Freeman (FREEMAN e DURDEN, 1998), decomposição por autovalor e autovetor (CLOUDE e POTTIER, 1997).

A decomposição por autovalor e autovetor baseia-se na análise dos autovalores e autovetores da matriz de coerência $[T]$ de Cloude e Pottier (1997). Com base nesta decomposição obtém-se uma interpretação física dos mecanismos de espalhamento, através do conceito de entropia, anisotropia e do ângulo α . De acordo com Cloude e Pottier (1997), a associação da entropia (H) e do ângulo α , indica o mecanismo de espalhamento médio dominante, onde ângulos α maiores que 45° correspondem à

anisotropia de diedros e abaixo de 45° correspondem à superfície anisotrópica. Para a entropia, o limiar entre baixa e média é de 0,5, e entre média e alta é de 0,9. (LEE e POTTIER, 2009)

No processo de espalhamento a Entropia (H) mede a quantidade de aleatoriedade (ou desordem) dos processos de espalhamento e a Anisotropia (A) estima a importância relativa dos diferentes mecanismos de espalhamento, (CLOUDE e POTTIER, 1997). Estes atributos são definidos por (6) e (7):

$$H_s = \sum_{j=1}^3 -P_j \log_3 P_j, \text{ onde } P_j = \frac{\lambda_j}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)} \quad (2.6)$$

$$A_p = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3} \quad (2.7)$$

O valor P_j indica a intensidade relativa de cada processo j. Os valores da entropia são restritos ao intervalo ($0 \leq H \leq 1$) onde $H = 0$ representa a existência de somente um mecanismo de espalhamento determinístico, enquanto que $H = 1$ significa que todos os autovalores são iguais, ou seja, não existe um mecanismo de espalhamento dominante. (LEE e POTTIER, 2009)

A anisotropia ($0 \leq A \leq 1$) não fornece nenhuma informação adicional, quando $H = 0$ ou $H = 1$, mas quando o valor de H for baixo ou médio ($\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$) indica que existem dois ou mais mecanismos de espalhamento. Valores de anisotropia alta indicam que somente o segundo mecanismo é importante, enquanto que uma anisotropia baixa indica que o terceiro mecanismo também contribui para o espalhamento (HELLMANN, 2001).

Outro parâmetro da decomposição dos autovetores é o ângulo “ α ”, que representa o grau de liberdade do alvo, e pode ser utilizado para descrever o tipo de mecanismo de espalhamento. Assim, quando $\alpha = 0^\circ$ tem-se um espalhamento superficial, $\alpha = 45^\circ$ um espalhamento volumétrico e $\alpha = 90^\circ$ um espalhamento por *double-bounce*. (LEE e POTTIER, 2009).

O conjunto de informações representadas pela entropia (H) e pelo ângulo “ α ” possibilita uma discriminação detalhada dos diferentes mecanismos de espalhamento. Dessa forma, os alvos podem ser estudados em um espaço bidimensional, denominado de plano (H / α), onde a partição desse plano em várias regiões pode ser utilizada como parte de um método de classificação digital de imagens SAR polarimétricas.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR EM REGIÕES DE FLORESTA

A cobertura florestal numa imagem SAR é representada, segundo Leckie e Ranson (1998), pela combinação das respostas geradas através dos diferentes mecanismos de espalhamento (Figura 2.1). Essas incluem a contribuição direta do solo, do tronco, da copa das árvores, da interação copa-solo e da reflexão dupla tronco-solo.

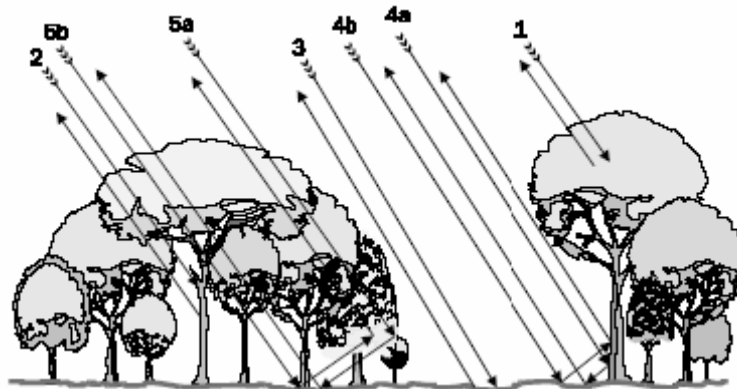


Figura 2.1 - Diferentes mecanismos de espalhamento do SAR numa floresta: (1) Espalhamento volumétrico de copa; (2) direto de troncos e galhos; (3) direto do solo; (4a) espalhamento tronco-solo; (4b) solo-tronco; (5a) copa-solo; (5b) espalhamento solo-copa.

Fonte: Adaptado de Leckie e Ranson (1998).

A magnitude dos mecanismos de espalhamento decorrentes dos diferentes componentes é dependente dos fatores geométricos e propriedades dielétricas da vegetação e solo (DOBSON et al. 1995). Comprimento de onda, polarização e ângulo de incidência do sinal controlam os mecanismos de espalhamento múltiplo, superficial e/ou volumétricos que expressam a resposta polarimétrica de alvos florestais.

O comprimento de onda é o parâmetro de maior influência na penetração do sinal de microondas no dossel florestal. A banda X (comprimento de onda: 2,4cm - 3,75cm) devido ao pequeno comprimento de onda praticamente não penetra no dossel e, portanto, o retroespalhamento ocorre somente devido à interação na superfície, com folhas e pequenos galhos (LECKIE E RANSON, 1998). Na banda C (3,75cm - 7,5cm) a

penetração é um pouco maior e a interação se dá com folhas e galhos maiores. Nos comprimentos de onda maiores; bandas L (15cm - 30cm) e P (77cm - 136cm), dependendo da densidade, estrutura da vegetação e umidade, o pulso emitido penetra o dossel e pode chegar ao solo.

Le Toan et al. (2002) concluírem que as principais fontes de espalhamento dos componentes vegetais são da mesma ordem de magnitude dos comprimentos de onda com os quais interagem (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Componentes da árvore que atuam como fonte de retroespalhamento em função do comprimento de onda.

Banda	X	C	L	P
Fontes de retroespalhamento	Folhas e acículas	Folhas, galhos	Galhos, troncos	Galhos, troncos

Fonte: Adaptado de Le Toan et al. (2002)

Segundo Leckie e Ranson, (1998) as ações dos ventos, conteúdo de água, orientação de folhas e presença de áreas alagadas que ocorrem em florestas em um curto intervalo de tempo podem alterar o resultado das respostas em imagens de radar, dificultando o entendimento da resposta de interação radar-alvo e, por conseguinte, a obtenção de resultados consistentes.

Segundo Henderson e Lewis (1998) o conteúdo de água dos solos e do dossel florestal pode influenciar a constante dielétrica e a intensidade do retroespalhamento. Quanto maior a umidade da superfície, menor a penetração e atenuação do sinal, e maior a intensidade da resposta de solos e vegetação. Trabalhos feitos por Kux et al. (1998) e Shimabukuro e Almeida Filho (2002) relatam a dificuldade e variação na resposta de áreas desflorestadas devido ao efeito provocado pela umidade. Para Kasischke et al. (1997), a constante dielétrica desempenha um papel fundamental na intensidade e fase das microondas espalhadas pela estrutura florestal. Segundo Waring et al. (1995), quanto maior o conteúdo hídrico da vegetação, maior sua constante dielétrica, refletividade e espalhamento.

Quanto ao ângulo de incidência, os mais rasantes beneficiam o espalhamento volumétrico no interior da copa das árvores, enquanto os mais próximos ao nadir, dependendo do tipo de floresta e do comprimento de onda, favorecem a contribuição do solo no retroespalhamento. O ângulo de incidência é aquele formado entre o pulso de microondas incidente e a uma reta vertical estabelecida em relação à Terra (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Muitos estudos têm mostrado boa correlação entre o coeficiente de retroespalhamento (σ^0) do sinal-radar e a densidade de biomassa (DOBSON et al., 1992; LUCKMAN et al., 1997; SANTOS et al., 2002). Entretanto, a insensibilidade das microondas a partir de determinados níveis de biomassa pode ser um fator limitante. Para os comprimentos de onda menores, bandas X e C, a saturação ocorre em baixos níveis de biomassa (20-30 t ha⁻¹). Nas bandas L e P, os níveis de saturação são maiores (60-100 t ha⁻¹ e 200 t ha⁻¹, respectivamente), o que torna estes comprimentos de onda mais adequados para estimativa de biomassa florestal (KASISCHKE et al., 1997; NARVAES, 2010; NEEF et al. 2005; SANTOS et al. (2002, 2009)).

O radar polarimétrico permite extrair informações não somente referentes à textura e ao brilho, obtidos a partir da magnitude, mas também possibilita caracterizar os mecanismos de espalhamento do alvo. Segundo Gonçalves (2007) e Narvaes (2010), as características polarimétrica de um determinado alvo podem ser descritas por uma série de atributos extraídos da matriz de espalhamento complexa [S] (amplitude e fase). Estes atributos podem ser divididos em incoerentes, referentes às medidas de potência do radar, e atributos coerentes, que fazem uso da informação de fase (HENDERSON e LEWIS, 1998). Entre os atributos incoerentes podem ser citados o coeficiente de retroespalhamento (σ_0), a razão de polarização paralela (R_p), a razão de polarização cruzada (R_c), a potência total (PT) e os índices biofísicos desenvolvidos por Pope et al. (1994), os quais visam aumentar a capacidade de caracterização de parâmetros florestais e o aproveitamento das diferentes polarizações adquiridas.

Entre os atributos coerentes podemos citar a diferença de fase ($\Delta\Phi$) e a coerência polarimétrica (γ) entre as polarizações HH e VV, a entropia (H), a anisotropia (A) e o

ângulo alfa médio, resultantes da decomposição por autovetores da matriz de coerência (Cloude e Pottier, 1997); a magnitude de Touzi (α_s), a fase de Touzi ($\Phi\alpha_s$), ambos derivados da decomposição por autovalor e autovetor da matriz de coerência, além do ângulo de orientação ψ e heliticidade χ e as componentes de espalhamento volumétrico (Pv), *double bounce* (Pd) e superficial (Ps), resultantes da decomposição de Freeman (FREEMAN e DURDEN, 1998), na matriz de covariância [C].

Existem relatos na literatura acerca do uso de imagens polarimétricas SAR em florestas tropicais para: diferenciação entre estágios de sucessão florestal (RIGNOT et al 1997; NEEFF et al. 2005), discriminação entre áreas de floresta primária, áreas desmatadas e de corte seletivo (SAATCHI et al. 1997; SANTOS et al, 2008; SERVELLO et al. 2009; VAN DER SANDEN e HOEKMAN, 1999); caracterização de respostas polarimétricas de florestas primárias e antropizadas e estádios sucessionais (SANTOS et al. 2009); Fazendo uso de diferentes técnicas de classificação temática tem-se ainda os trabalhos de Freitas et al (2008), Scofield et al (2009).

2.3 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO POLSAR

Um número considerável de técnicas de classificação SAR tem sido desenvolvido nos últimos anos. Estas técnicas são fundamentadas a partir de conceitos de reconhecimento de padrões, cujo objetivo é identificar e separar objetos em imagens digitais (NEGRI et al., 2009). Assim, um classificador pode ser do tipo pontual ou por região, de aprendizado supervisionado ou não-supervisionado, seguindo uma abordagem estatística, determinística ou estrutural.

Os métodos de classificação de dados SAR polarimétricos podem ser divididos, basicamente, em quatro classes:

1. Algoritmos baseados em técnicas de classificação supervisionada (redes neurais) ou não supervisionada (K-médias), sem nenhum modelo estatístico para os dados;
2. Algoritmos de classificação supervisionada baseados em um modelo estatístico para os dados;
3. Algoritmos de classificação supervisionada ou não-supervisionada baseados nos Teoremas de Decomposição de Alvos;
4. Algoritmos híbridos que utilizam a conceituação contida nos itens 2 e 3.

Normalmente os algoritmos da primeira classe não são utilizados em dados no formato complexo, mas sim em dados SAR em amplitude ou intensidade através de K-médias, mínima distância, paralelepípedo, redes neurais, etc.. Para os demais algoritmos, são utilizados dados SAR no modo complexo, polarimétrico, representados por matrizes de covariância [C] ou coerência [T].

No presente trabalho são consideradas apenas duas abordagens classificatórias, aquela com o método por Máxima Verossimilhança, e a outra, por classificação contextual baseada no número de ocorrências (frequência) do valor do nível de cinza.

2.3.1 Classificação por modelo estatístico de Máxima Verossimilhança (MAXVER) em florestas tropicais

De acordo com Vieira (1996) e Correia (1998), a técnica se baseia na formulação Bayesiana tendo como diferencial a adoção de funções de densidades de probabilidade mais apropriadas para modelar a natureza dos dados de radar, e a incorporação da informação contextual considerando uma distribuição espacial para as classes, adotando conceitos de campos aleatórios markovianos.

Rignot et al. (1997), para discriminar desflorestamentos e estágios de regeneração em floresta tropical aplicaram o classificador estatístico supervisionado (MAXVER) em dados SIR-C (Quad C e Quad L). As áreas desflorestadas há menos de um ano foram mapeadas com boa exatidão a partir dos dados em banda L com uma (HH), duas (HH+HV ou HH+VV) ou três (HH+HV+VV) polarizações.

Saatchi et al. (1997) aplicaram em dados SIR-C o classificador MAXVER para mapear a cobertura do solo no Estado de Rondônia. Segundo esses autores, o uso dos dados em banda L e polarização HH favoreceu a detecção de florestas degradadas devido à sensibilidade deste canal ao sinal resultante da interação solo-tronco (*double bounce*).

Shimabukuro et al. (1998), classificaram com os algoritmos MAXVER e ICM (Iterated Conditional Modes) dados derivados das componentes principais de dados multitemporais RADARSAT (banda C) para mapear tipologias florestais e outras classes de cobertura do solo na região da Floresta Nacional de Tapajós-PA. Segundo estes autores, as áreas recém-desflorestadas foram facilmente identificadas.

Para mapear floresta, corte seletivo e desflorestamento na Guiana e na Colômbia, Van der Sanden e Hoekman (1999), utilizaram um classificador estatístico supervisionado MAXVER com dados polarimétricos do AIRSAR (Quad C, Quad L e Quad P), obtendo boa exatidão. Utilizando os mesmos produtos SAR, Hoekman e Quiñones (2000) aplicaram os classificadores MAXVER e ICM (*Iterated Conditional Modes*) para mapear floresta, pastagem e áreas recém-desflorestadas na Amazônia colombiana.

Segundo estes autores a classificação que obteve o melhor resultado foi aquela realizada com L_{HH+HV} . Na classificação com dados QuadPol L a confusão entre os temas floresta e desflorestamento recente foi aproximadamente 80% menor do que naquela em que se fez uso somente da polarização L_{HH} .

Freitas et al. (2008) para mapear classes de cobertura solo na região da Floresta Nacional de Tapajós (PA) utilizaram os classificadores MAXVER e ICM (*Iterated Conditional Modes*) em dados PolSAR na banda P. Foram consideradas quatro classes (floresta primária/regeneração avançada, regeneração intermediária, solo/pasto/agricultura e vegetação inundada) com os melhores resultados obtidos em intensidade $HV+VV$ e $HH+HV+VV$. Segundo esses autores, o uso da distribuição estatística mais adequada promoveu a melhora do resultado da classificação dos pares de intensidade, quando comparada a classificação com suposição de normalidade.

2.3.2 Classificador contextual (*Context*)

Os classificadores contextuais determinam a classe à qual pertence cada pixel da imagem, utilizando-se, além da informação do NC do pixel considerado, as informações espaciais provenientes dos pixels da vizinhança, essas informações espaciais podem ser extraídas, direta ou indiretamente, incorporando informações de dependência espacial existente entre as classes da imagem.

Para facilitar computacionalmente o processo, uma janela quadrada de *pixels* é freqüentemente utilizada. Portanto, definida a janela de *pixel*, um grande número de medidas estatísticas pode ser empregado para obtenção das características espaciais.

Gong e Howarth (1992) desenvolveram um método de classificação contextual para obter informação do uso da terra, reduzindo a dimensionalidade dos dados e por conseguinte, reduzindo também o número de níveis de cinza de um vetor no espaço multiespectral. Como resultado, o dado multiespectral é reduzido para uma imagem de uma dimensão com perda relativamente pequena da informação. Cada nível de cinza da imagem-redução é então utilizado na classificação contextual baseada no número de

ocorrências (frequência) do valor do nível de cinza para obter a informação do uso da terra. Este classificador foi aplicado em uma imagem SPOT HRV na área metropolitana de Toronto, Canadá. A classificação obtida apresentou um índice *Kappa* de 0,616. O resultado obtido supera uma classificação prévia realizada pelo método MAXVER-ICM com um índice *Kappa* de 0,462.

Lim et al. (2008) utilizaram o classificador contextual em uma imagem ALOS/PALSAR para mapear o uso do solo ao norte da península de Malásia. Segundo estes autores, os resultados apresentados mostraram a eficácia e uma boa exatidão obtendo uma exatidão global de 69,5% com um índice *Kappa* de 0,667.

Rodrigues (2010) aplicou o classificador contextual proposto, em uma imagem ALOS/PALSAR com polarização HH e HV. Como resultado, observou que ocorreu maior confusão entre as classes de pasto sujo e de floresta, diretamente relacionada com o efeito de sombreamento provocado pelo relevo nas áreas de floresta. Não obstante, ao fazer uso de uma máscara nas áreas de floresta, a exatidão global da classificação atingiu um conceito qualificativo de “boa acurácia” face o valor de *Kappa* de 0,91 resultante.

2.4 VALIDAÇÃO DO DESEMPENHO CLASSIFICATÓRIO

A avaliação dos resultados das classificações é realizada a partir da análise de concordância com amostras de validação. A análise de concordância consiste na construção e comparação das matrizes de confusão e no cálculo das estatísticas derivadas dessas matrizes, fazendo-se uso, por exemplo, do índice *Kappa*.

Segundo Congalton e Green (2008), a matriz de confusão ou matriz de erros, é uma das formas mais eficientes de representar a exatidão de uma classificação, sendo capaz de descrever tanto os erros de inclusão, como aqueles de exclusão. No entanto, para a comparação de diferentes matrizes de confusão obtidas de diferentes resultados, são empregadas medidas de concordância. Entre as medidas de concordância mais utilizadas está o coeficiente de concordância *Kappa* (CONGALTON e GREEN, 2008).

Calculado a partir dos elementos da matriz de confusão, o índice *Kappa* é estimado por:

$$\hat{\kappa} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} ; P_o = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{N} ; P_c = \frac{\sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{N^2} \quad (2.8)$$

O Termo P_c é conhecido por Exatidão Global, e pode ser empregado no cálculo da porcentagem de amostras classificadas corretamente.

Embora este coeficiente seja comumente utilizado na análise da exatidão de classificações, não existem definições sobre níveis deste índice que permitam julgar determinado resultado. Uma forma de lidar com esta informação é relacionar diferentes intervalos deste índice aos níveis nominais de qualificação, como por exemplo, a relação definida por Landis e Koch (1977), conforme pode ser vista na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Conceitos *Kappa*

Kappa	Conceito
< 0	Péssima
$0 < K < 0,2$	Má
$0,2 < k < 0,4$	Razoável
$0,4 < k < 0,6$	Boa
$0,6 < k < 0,8$	Muito boa
$0,8 < K < 1$	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCH, 1977

Matrizes de confusão obtidas de diferentes classificações podem ser comparadas a partir de um teste de hipótese z bilateral. As hipóteses nula e alternativa deste teste são as seguintes (CONGALTON e GREEN, 2008):

$$\begin{aligned}
 H_0 : \hat{k}_1 &= \hat{k}_2 \\
 H_1 : \hat{k}_1 &\neq \hat{k}_2
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

A estatística z é obtida com a seguinte formulação:

$$z = \frac{\hat{k}_1 - \hat{k}_2}{\sqrt{\hat{\sigma}_1^2 + \hat{\sigma}_2^2}}
 \tag{2.10}$$

Trabalhos de mapeamento de uso e cobertura da terra empregando imagens de radar têm empregado esses indicadores estatísticos de validação do desempenho de classificadores, conforme se pode observar em Freitas et al. (2008), Lim et al. (2009) e Gong e Howarth (1992)

2.5 MÉTODOS PARA AS ANÁLISES FLORÍSTICA E ESTRUTURAL DA TIPOLOGIA FLORESTAL

Para a análise florística e da estrutura florestal foram empregadas algumas técnicas de análise quantitativa. Primeiro foi empregado o índice de Shannon-Weaver para expressar a diversidade florística, por ser o mais utilizado em fitossociologia e, portanto, passível de comparação com estudos realizados em outras comunidades florestais, bem como o índice de equabilidade de Pielou (J), sugeridos por Magurran (1988):

$$H' = - \sum_{i=1}^S [pe_i \ln(pe_i)], \text{ com } pe_i = \frac{n_i}{N} \quad (2.11)$$

$$J = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (2.12)$$

em que n_i é o número de indivíduos da espécie i ; N é o número total de indivíduos; e S é o número total de espécies amostradas.

Para o diagnóstico da estrutura horizontal do povoamento florestal foram incluídas as estimativas de densidade, dominância e frequência de cada espécie, conforme descrito por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974):

$$DA_i = \frac{n_i}{A_{ha}} \quad \text{e} \quad DR_i = \frac{DA_i}{\sum_{i=1}^S DA_i} 100 \quad (2.13)$$

$$DoA_i = \frac{AB_i}{A_{ha}} \quad \text{e} \quad DoR_i = \frac{AB_i}{\sum_{i=1}^S AB_i} 100 \quad (2.14)$$

$$FA_i = \frac{u_i}{u_t} 100 \quad \text{e} \quad FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^S FA_i} 100 \quad (2.15)$$

em que D , Do , e F correspondem, respectivamente, à densidade, dominância e frequência, absoluta (A) e relativa (R), da espécie i ; n_i é o número de indivíduos da

espécie i ; A_{ha} é a área total amostrada em hectares; S é o número total de espécies amostradas; AB_i é a área basal da espécie i em metros quadrados; u_i é o número de parcelas amostrais nas quais a espécie i ocorre; e u_t é o número total de unidades amostrais.

Assim como na caracterização do povoamento florestal, a diversidade de espécies foi estimada para cada parcela amostral com a utilização do índice de Shannon-Weaver e foi determinada a similaridade florística entre as diferentes parcelas amostrais com a utilização do índice de Morisuta (MORISUTA, 1959). Os valores obtidos foram interpretados através de agrupamentos por média de grupo (UPGMA), conforme sugerido por Sneath e Sokal (1973).

Esta metodologia foi adotada por Gonçalves e Santos (2008), em levantamento florístico-estrutural em áreas de exploração madeireira na Floresta Nacional do Tapajós (Pará). Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que a unidade de manejo florestal investigada apresenta uma elevada diversidade florística no componente arbóreo, com um índice de Shannon-Weaver igual a 4,22, ao mesmo tempo, que o povoamento é caracterizado pela concentração de uma grande quantidade de indivíduos e espécies em poucas famílias botânicas e por um número elevado de espécies localmente raras. Por sua vez, Narvaes (2010) utilizou a mesma abordagem em estudos de florestas primárias e secundárias na mesma região do Tapajós, cuja análise mostrou altos valores nos índices de Shannon-Weaver ($H' = 4,48$) e de equabilidade de Pielou (0,85), demonstrando a existência de elevada diversidade florística nos diferentes componentes do povoamento estudado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as informações referentes a escolha da área de estudo, aos dados SAR e temáticos essenciais utilizados nesta pesquisa, bem como o procedimento metodológico empregado para avaliar a aplicabilidade de imagens TerraSAR-X, para a identificação de classes de cobertura e uso da terra em região de floresta tropical

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área analisada neste estudo, localiza-se no Município de Sena Madureira, Estado do Acre, a cerca de 140 km de Rio Branco, aproximadamente entre os paralelos 9°00' e 9°45' S e meridianos 68°00' e 68°35' W (Figura 3.1).

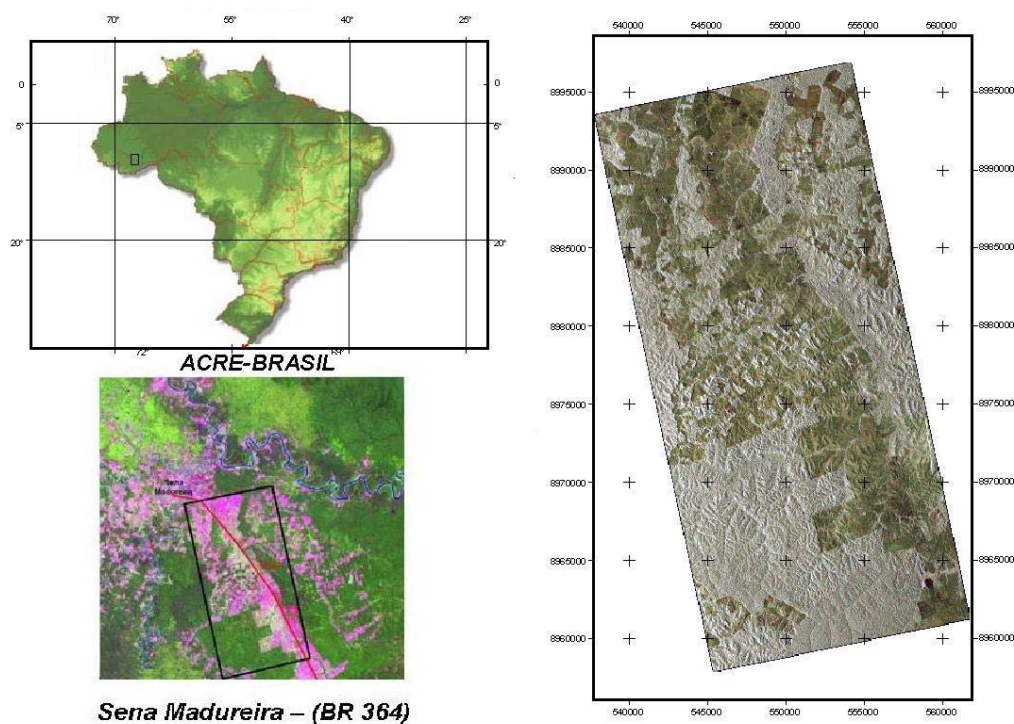


Figura 3.1 - Localização da área em estudo em composição colorida R(HH), G(VV) e B(HH.VV*) do TerraSAR-X.

O Estado do Acre divide-se, politicamente, em regiões de desenvolvimento: Alto Acre, Baixo Acre, Purus, Tarauacá/Envira e Juruá, sendo Sena Madureira o pólo mais importante da Região do Alto Purus e uma das principais cidades do Estado. Possui uma

área de 25.296,70 km², equivalente a 16,62% da área total do Estado. Sua população em 2009 era de 36.166 habitantes, sendo que 47% estão localizados na zona rural e 53% na zona urbana, gerando uma densidade demográfica de 1,4 hab/km². (IBGE, 2010).

A área de estudo está inserida na unidade geomorfológica com relevo dissecado de topo tabular (vide Figura 3.2), com densidade de drenagem média e baixo grau de entalhamento dos canais. (RADAMBRASIL, 1978). A altitude média é em torno de 200m.

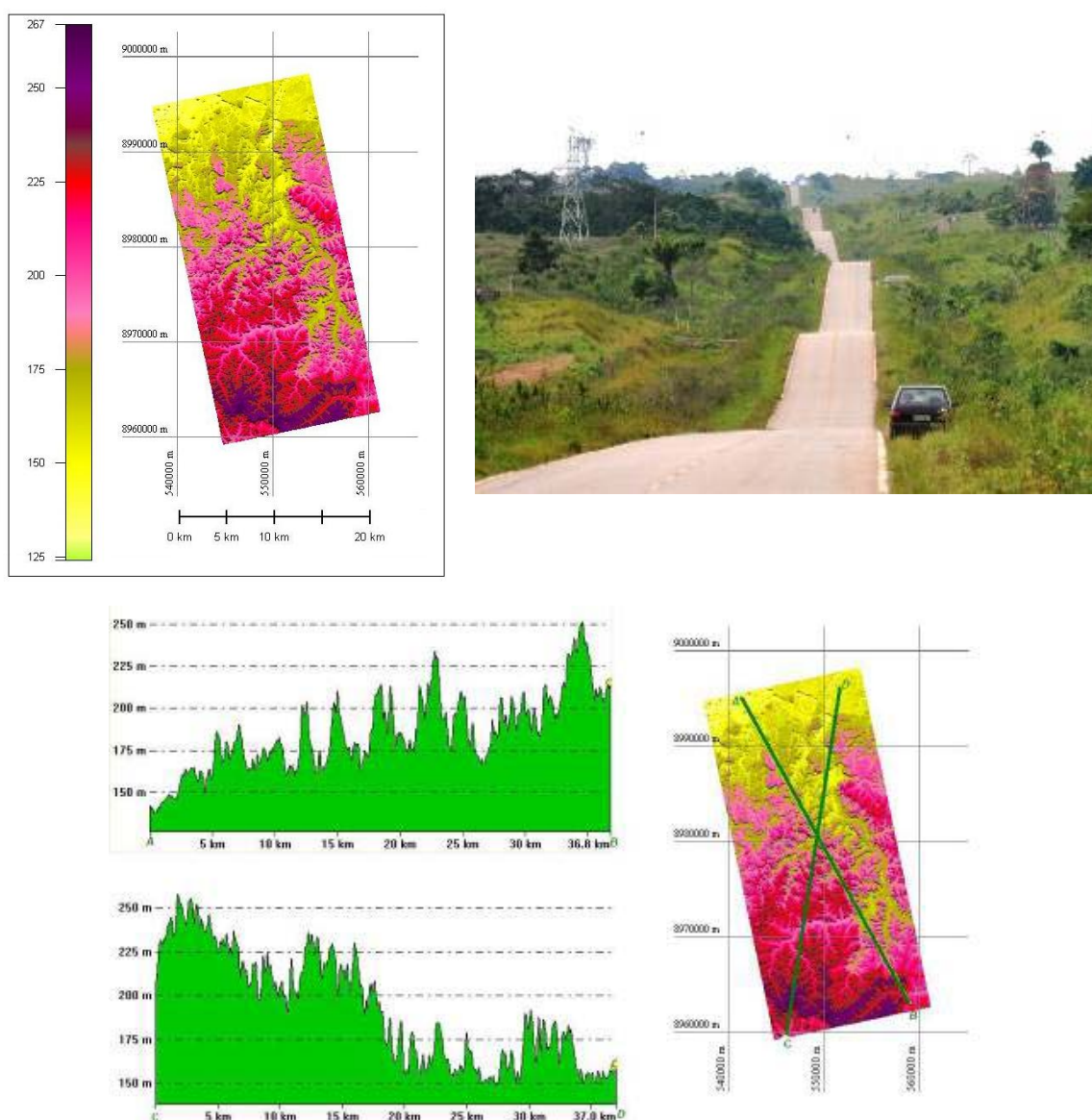


Figura 3.2 – (A) Mapa de pendentes derivado de dados do SRTM, (B) fotografia de campo indicando a topografia com relevo dissecado de topo tabular e (C) perfis topográficos correspondendo a área assinalada.

A temperatura média no ano 2009 na região foi de 24° C. As temperaturas mais baixas ocorrem em Junho e Julho (23° – 23,5° C) e as mais altas (25,4° C – 25,7° C) entre Outubro - Dezembro. Os totais mensais de precipitação mais baixos ocorrem nos meses de Junho - Agosto (50 mm), e os mais altos (250 mm – 287 mm) entre Dezembro e Fevereiro. (CPTEC, 2010)

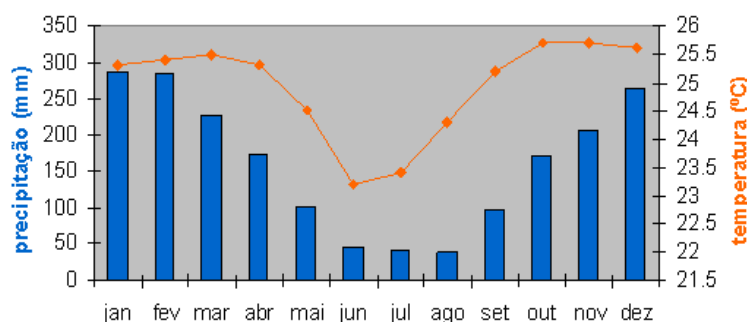


Figura 3.3 – Distribuição da precipitação e temperatura no ano 2009
Fonte: CPTEC, 2010

A formação vegetal predominante na área é a Floresta Ombrófila Aberta Submontana com presença de bambus e palmeiras, Floresta Ombrófila Densa Aluvial com dossel uniforme, e a Floresta Ombrófila Densa Submontana com dossel emergente, próxima aos afluentes do alto curso do Rio Antimari (RADAMBRASIL, 1978). A floresta recobre 93% do seu território e apesar da presença de ações de desflorestamento, sua biodiversidade ainda está bem conservada (SANTOS E OLIVEIRA, 2003). Segundo relatório do projeto PRODES (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>), o desmatamento total no município de Sena Madureira até dezembro de 2009 foi de 1521,8 km² (6% da área total), sem ter um incremento significativo com respeito ao ano 2008 (incremento de 19,7 km²).

De acordo com Lorena (2001) a agricultura na porção Ocidental Amazônica é praticada para a produção de alimentos básicos (arroz, milho, feijão e mandioca). Especificamente nessa porção de Sena Madureira há ocorrência de extensas áreas de pastagem e mais recentemente, áreas destinadas para exploração madeireira em acordo com as práticas de manejo. Há ocorrência também de algumas áreas de sucessão secundária, decorrentes do abandono do uso tradicional com o esgotamento da fertilidade do solo.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 IMAGEM TerraSAR-X

Neste estudo empregou-se a imagem TerraSAR-X, polarimétrica complexa, originalmente em formato SLC, no modo de operação *StripMap*, com as seguintes características:

Tabela 3.1. Características da Imagem TerraSAR-X

Passagem	Ascendente
Data	24 junho 2009
Resolução	1,125m (<i>range</i>) e 6,59 m (azimute)
Dimensão	1273 x 1776 pixel
Polarizações	HH, VV
Ângulo de incidência	43°.46 (<i>near</i>) to 44°.61 (<i>far</i>)

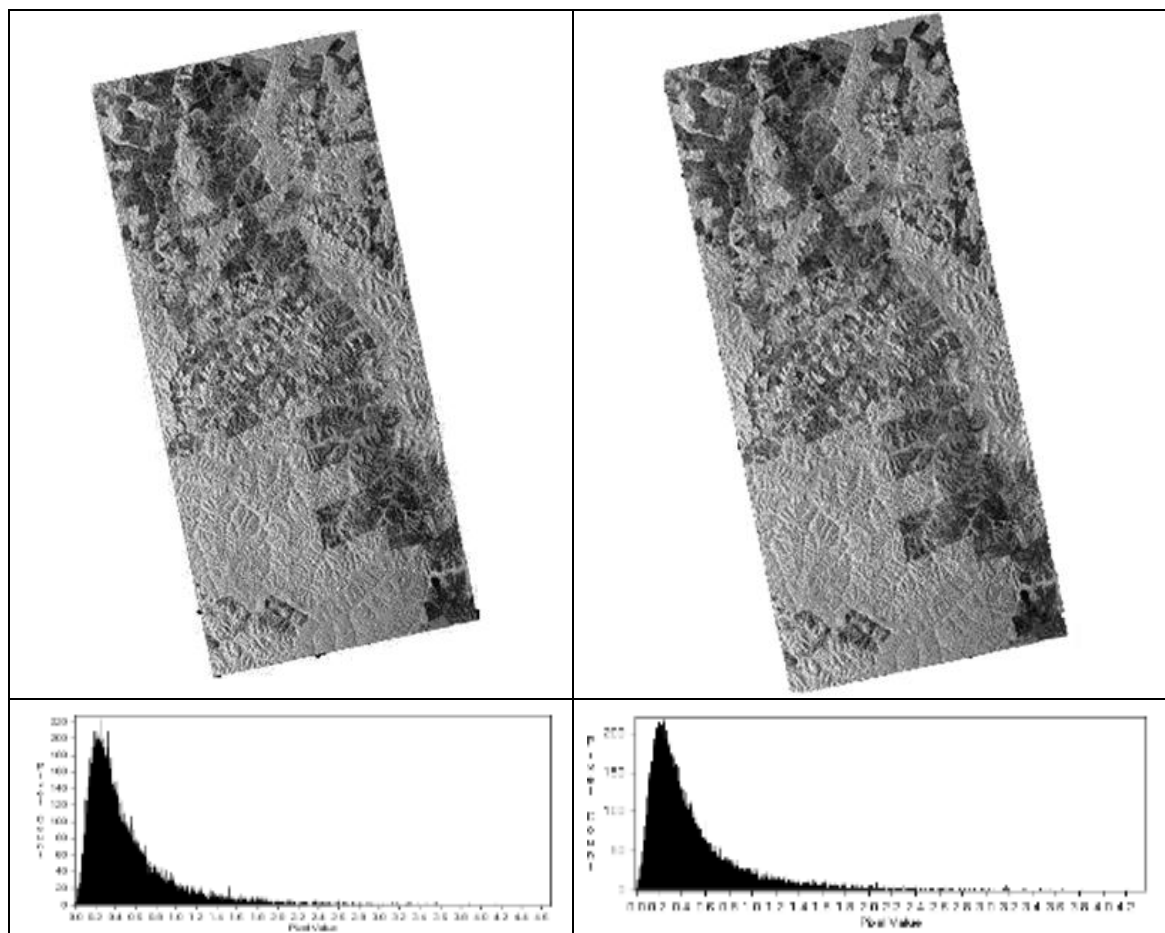


Figura 3.4 - Imagem TerraSAR-X nas polarizações HH e VV.

As imagens do TerraSAR-X foram fornecidas pela INFOTERRA GmbH (Alemanha), dentro do projeto de cooperação técnica com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O TerraSAR-X é um radar de alta resolução espacial que opera em banda X (frequência de 9,6 GHz). Para conhecer a missão e as características do sistema TerraSAR-X recomenda-se a leitura de Werninghaus e Buckreuss (2010) e Pitz e Miller (2010). A Tabela 3.2 sumariza as principais características técnicas do TerraSAR-X.

Tabela 3.2 – Principais características principais do TerraSAR-X

<i>Parâmetro</i>	<i>Órbita da missão</i>
Tipo de órbita	Sol-síncrono
Período de repetição	11 dias
Ciclo de repetição	167 órbitas no período de repetição
Órbitas por dia	15 2/11
Hora em que cruza Equador	18:00hrs \pm 0,25h para a passagem ascendente
Excentricidade	0,0011° - 0,0012°
Altitude no Equador	514,8 km
Comprimento de onda	3,1 cm
Direção de visada nominal	Direita
Direção de visada experimental	Esquerda
Peso do satélite	1230 kg
Massa da carga útil	394 kg
Altura	5 m
Antena SAR	4.8 m x 0.7 m x 0.15 m
Vida útil	5 anos

Fonte: Werninghaus e Buckreuss (2010)

Em termos dos modos de operação, o TerraSAR-X pode operar no imageamento de uma área pontual (*SpotLight*), em modo de mapeamento de faixas (*StripMap*) ou em modo de imageamento geral (*ScanSAR*) com polarizações *Single*, *dual* ou *full* (SCHMULLIUS e RIEDEL, 2004).

O modo *StripMap* é um modo básico utilizado já em outros satélites SAR. A imagem é obtida através de feixes contínuos de pulsos que são fixados em elevação e azimute. Neste modo de operação as características da cena são constantes em azimute. Na

figura 3.5 é ilustrado o modo geométrico do *StripMap*. As características e parâmetros deste modo estão listados na Tabela 3.3.

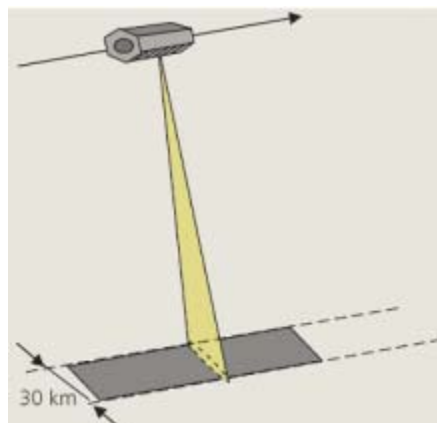


Figura 3.5 - Modo de aquisição *StripMap*.
Fonte: Schmullius e Riedel, (2004)

Tabela 3.3 - Características e parâmetros do modo *StripMap*.

Parâmetro	Valor
Extensão (<i>Azimuth</i>)	50 km <i>Standard</i>
<i>Ground Range</i>	30 km(<i>single polarization</i>) 15 km(<i>double polarization</i>)
Ângulo incidente	15°-60°
Ângulo para melhor desempenho	20°- 45°
Resolução <i>Azimuth</i>	3 m com 150 e 300 MHz
Resolução <i>Ground range</i>	1.55 – 3.21 m com ângulo de incidência entre 45°-20°
Polarizações	<i>Single, dual ou full</i>

Fonte: Werninghaus e Buckreuss (2010)

3.2.2 Dados complementares

Como fonte adicional de informações para a realização dessa pesquisa foram usadas:

- Imagens TM/LANDSAT 5 (bandas 3, 4 e 5) do 06/08/2009, como produto auxiliar nas atividades de definição temática e fase de trabalho de campo;

- MDE (Modelo Digital de Elevação) SRTM-3 com resolução de 90m para a realização da ortorretificação do dado SAR.

3.2.3 *Softwares utilizados*

O processamento polarimétrico das imagens TerraSAR-X foi realizado principalmente no *software* livre **PolSARpro versão 4.02** desenvolvido pela ESA, com ferramentas de filtragem, decomposição polarimétrica e classificação (ESA, 2010). Além disso, para diversos outros processamentos de dados SAR foram usados, em etapas específicas, o **Envi 4.5 com IDL** no processo da classificação MAXVER e o pacote **PCI Geomática 10** na ortorretificação da imagem temática e classificação contextual.

Para a análise florístico- estrutural foram empregados os *softwares* **Mata Nativa 2** e o **STATISTICA 6.0**, facilitando assim a caracterização da tipologia florestal encontrada na área investigada.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Dados de Campo

As atividades de trabalho de campo foram realizadas no período de 07 a 14 de maio de 2010, tendo como objetivo um suporte às etapas metodológicas de processamento e análise da imagem TerraSAR-X, cumprindo as tarefas de: 1) identificar as principais classes de uso e cobertura da terra na área de estudo, permitindo sobretudo a seleção de amostras de treinamento e teste para a classificação e validação temática; 2) caracterização fisionômico-estrutural da tipologia florestal, com coleta de parâmetros biofísicos da cobertura vegetal e identificação botânica em inventário local; 3) coleta de pontos de controle GCPs (*Ground Control Points*) para apoiar o processo de ortorectificação das imagens.

A seleção de amostras nas imagens TerraSAR e a identificação de classes de uso e cobertura da terra foram realizadas através da identificação de padrões de homogeneidade temática, observados *in loco*, sendo apoiada com uma imagem TM/Landsat 5 (06/08/2009). As amostras e os pontos de controle foram georreferenciados com pontos GPS (*Global Positioning System*) e registradas com fotografias de campo para a sua posterior análise.

Por sua vez, o inventário florestal teve como objetivo o conhecimento da composição e da estrutura florestal da área de estudo. Foram realizadas 8 parcelas amostrais de 2500 m² (100 x 25 m) para floresta e 4 parcelas de 1000 m² (50 x 20 m) em áreas de sucessão secundária (capoeira). A localização destas parcelas foi selecionada em função da facilidade de acesso e representatividade de ocorrência dessas formações.(vide Figura 3.6) Todas as parcelas inventariadas foram devidamente georreferenciadas e orientadas por bússola ao norte magnético.

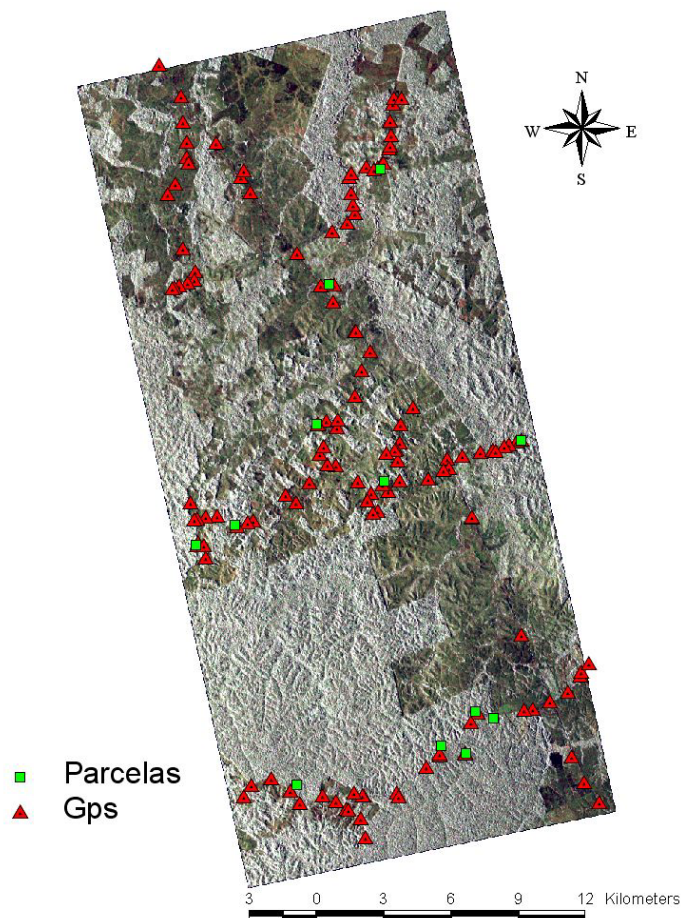


Figura 3.6 - Localização das amostras para definição e calibração temática no presente estudo. Em verde estão indicadas as parcelas de inventário florestal; em vermelho , os pontos de observação na paisagem investigada.

No interior de cada uma das parcelas inventariadas foi realizada a mensuração de DAP (Diâmetro a Altura do Peito), da altura total (HT), e também, levantado o posicionamento de cada indivíduo arbóreo ($DAP \geq 10\text{cm}$) em termos de coordenadas locais (X, Y) através de uma trena laser. É importante ressaltar que a altura total foi realizada através de uma estimativa visual, cujos valores posteriormente serviram de entrada num modelo para correções efetivas, desenvolvido por Gonçalves e Santos, (2008) derivado de medidas de altura através de um clinômetro.

A identificação das espécies encontradas foi realizada com a ajuda de um identificador botânico familiarizado com a flora da região, relatando os nomes científicos e de família constantes nas listas do Herbário do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do

Acre <http://www.nybg.org/bsci/acre/www2/vname_m.html> e do *The New York Botanical Garden*, bem como na listagem de espécies do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, contida no site do (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/>).

Todos os dados de campo foram digitados em planilhas Excel e a partir delas foi gerado um arquivo com os nomes das famílias, espécies e os dados da altura e diâmetro de cada indivíduo. Este arquivo foi exportado ao *software* Mata Nativa 2 para a análise fitossociológica. Os cálculos de similaridade florística e estrutural entre as parcelas foram efetuados no *Software* STATISTICA 6.0 (<http://www.statsoft.com>).

O conhecimento dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo distribuídos na área de estudo é essencial para o desenvolvimento do procedimento de classificação. Assim, a partir dessas informações levantadas no decorrer do inventário florestal (12 parcelas), bem como de pontos observacionais (total de 189) devidamente fotografados, descritos e georreferenciados, foram discriminadas seis classes de uso e cobertura do solo. Todo esse trabalho serviu posteriormente para a seleção amostral do treinamento e validação no processo classificatório.

3.3.2 Tratamento dos dados dual polarimétricos TerraSAR-X

Na Figura 3.7 apresenta-se o diagrama com a organização geral do trabalho, dividido em duas etapas. Na primeira etapa consta o pré-processamento dos dados TerraSAR-X, que consistiu em: obtenção da matriz de covariância, filtragem, decomposição de alvos e geração da imagem em amplitude. Na segunda etapa foi elaborada a classificação da imagem, realizando-se os passos de ortorretificação, registro, classificação e validação.

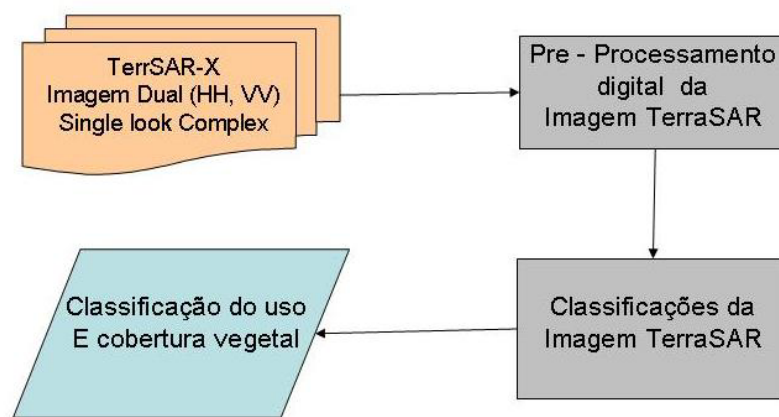


Figura 3.7 - Diagrama com a organização geral do trabalho

3.3.2 Pré-processamento digital da Imagem TerraSAR-X

Neste processo foi realizada a calibração polarimétrica, o processamento *Multi-look*, a redução do *speckle*, a geração dos componentes derivados da decomposição de alvos e a geração da imagem de saída (figura 3.8).

O primeiro passo consistiu em importar, no *software* PolSarPro 4.2 (<http://earth.esa.int/polsarpro/install.html>) a imagem TerraSAR-X dual polarimétrica (HH e VV) no modo SLC (*single look slant range complex*)

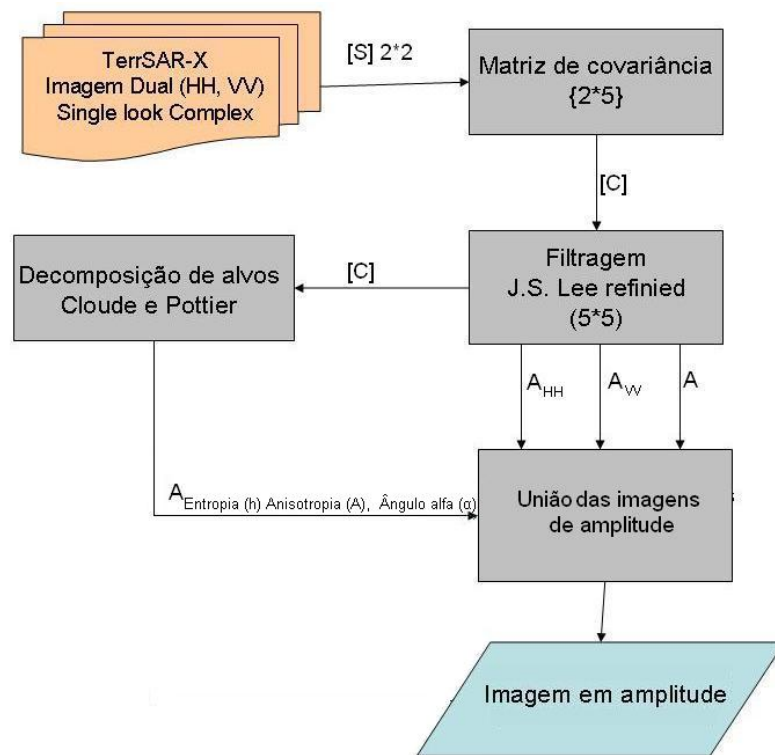


Figura 3.8 - Procedimento na etapa de pré-processamento.

Para gerar a matriz de covariância $[C]$ a partir da matriz de espalhamento $[S]_{2 \times 2}$, realizou-se o processamento *multi-look*, que consiste em um processo de média espacial e reamostragem sobre os elementos da matriz $[S]$. O processamento foi aplicado sobre a imagem tornando-se o espaçamento entre pixels na direção de range e azimuth aproximadamente iguais, utilizando-se uma janela com tamanho de 2×5 pixels.

Como os radares de polarização dual não permitem a reconstrução da matriz de espalhamento $[S]$ completa, pode-se reconstruir uma coluna da matriz, gerando uma nova componente (CLOUDE, 2007). Isso é feito através das informações de fase das polarizações HH e VV da imagem original, obtendo-se assim, a componente $HH.VV^*$.

A partir da matriz de espalhamento $[S]_{2 \times 2}$ *multi-look*, gerou-se a matriz de covariância $[C_2]$, obtendo-se como resultado os elementos C_{HH} , C_{VV} e $C_{HH.VV^*}$. Estes elementos podem ser observados na Figura 3.9. Com o objetivo de reduzir o ruído *speckle*, aplicou-se uma filtragem na matriz $[C_2]$. Considerando o desempenho do filtro, sem comprometer muito a resolução espacial final, foi utilizando o filtro *J.S. Lee refined*

Filter (LEE et al. 1999), com um número de *looks* igual a 1 e tamanho de janela igual a 5x5.

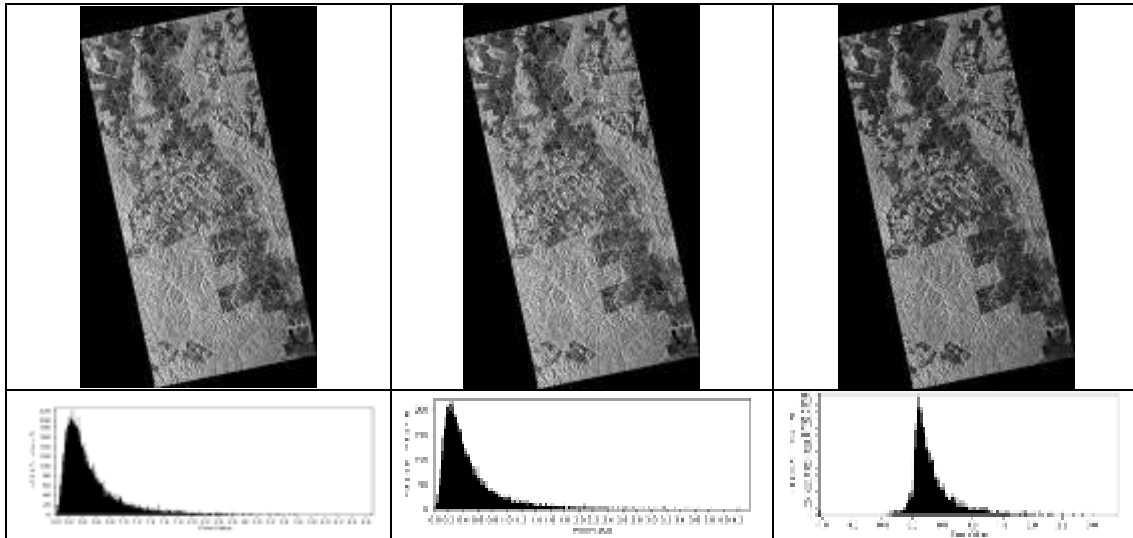


Figura 3.9 Elementos da matriz de covariância C_{HH} , C_{VV} e $C_{HH.VV^*}$ e suas respectivas distribuições.

A partir da matriz de covariância $[C_2]$ foram extraídos os parâmetros de Cloude e Pottier, a Entropia (H), a Anisotropia (A), o Ângulo alfa (α) e o ângulo Beta (β) derivados da decomposição de alvos. É importante mencionar que a base conceitual da decomposição de alvos foi desenvolvida para dados SAR QuadPol (CLOUDE e POTTIER, 1997), podendo entretanto ser aplicada para dados de polarização dual (CLOUDE, 2007), conforme anteriormente mencionado. Como exemplo apenas ilustrativo, pode-se observar na Figura 3.10 as componentes que foram geradas neste processo.

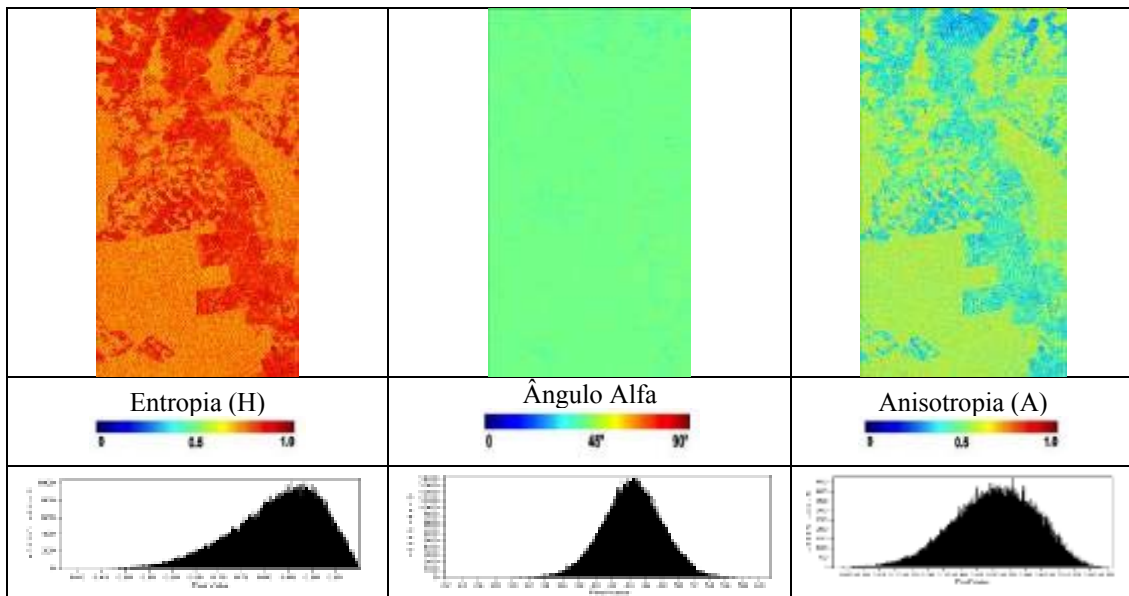


Figura 3.10 - Componentes Entropia (H) Ângulo Alfa (α) e Anisotropia (A) derivadas da decomposição de alvos.

Inicialmente pretendia-se utilizar uma classificação não-supervisionada baseada no plano (H/α) proposto por Cloude e Pottier, (1997). Contudo, numa análise prévia experimental, a interpretação dos resultados gerados por este método não foram considerados satisfatórios, devido as dificuldades para discriminar os diferentes tipos de espalhamentos no plano (H/α), como uma baixa separabilidade visual das classes temáticas na imagem de saída.

Decorrente dessa análise exploratória e com finalidade de se obter maiores recursos computacionais e operacionais, os elementos da matriz $[C_2]$ e os produtos da decomposição de alvos (H, A, α) da imagem original TerraSAR-X foram importados

dentro do programa de processamento de imagem PCI Geomatica OrthoEngine V10.3 (*PCI Geomatics Enterprises Inc.*®)¹

É importante destacar que uma etapa de correção geométrica da imagem foi necessária e devidamente realizada, sendo utilizado o processo de ortorretificação. A modelagem escolhida foi o método *Radar Satellite Modelling*, disponível no módulo *OrthoEngine* do *software PCI Geomatics* 10.3. Esta modelagem utiliza ao máximo as informações de efemérides do satélite e pontos de controle do terreno em conjunto com equações de colinearidade e co-planaridade. Nesta fase foi utilizada a opção *Toutin's mode* com coordenadas de GPS de navegação, coletadas durante o trabalho de campo. A modelagem Toutin necessita de um número mínimo de 8 pontos de controle (GCPs) e um modelo digital de elevação (DEM). O DEM empregado foi decorrente dos dados SRTM3 (http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America/), que possui 90 metros de resolução espacial.

O processo de ortorretificação da imagem TerraSAR-X foi realizado utilizando 11 GCPs oriundos de levantamento de campo com GPS de navegação. Durante este processo foi aplicada a interpolação por vizinho mais próximo com janela 5 x 5, uma vez que este foi o tamanho de janela utilizado para aplicar o filtro *speckle* no PolSarPRO. Como resultado foi obtida uma ortoimagem TerraSAR-X com valor de RMS (*Root Mean Square*) de 6,04 metros.

¹ O Programa *PCI Geomatica OrthoEngine* V10.3, tem funções para gerar a matriz de covariância e obter os parâmetros da decomposição de alvos para os dados originais do TerraSAR-X. Não obstante, os resultados obtidos no PCI não foram satisfatórios, por isso os processos foram realizados no aplicativo PolSarPRO.

Com base na ortoimagem, foi então realizado o processo de correção do conjunto de imagens derivadas geradas no PolSARPRO (A_{HH} , A_{VV} , Anisotropia, α , Entropia e $A_{HH.VV}^*$). Estas imagens foram corrigidas utilizando a mesma modelagem descrita anteriormente, sendo obtido um valor de RMS de 2,69 metros.

3.3.3 Classificação

Como o objetivo principal desta pesquisa é avaliar o potencial do TerraSAR-X para discriminar classes de uso e cobertura do solo em áreas tropicais, adotou-se como estratégia metodológica dois métodos de classificação: o primeiro, baseado em um classificador contextual e o segundo, em um classificador estatístico pontual (MAXVER). Na figura 3.11 estão os passos metodológicos desta fase.

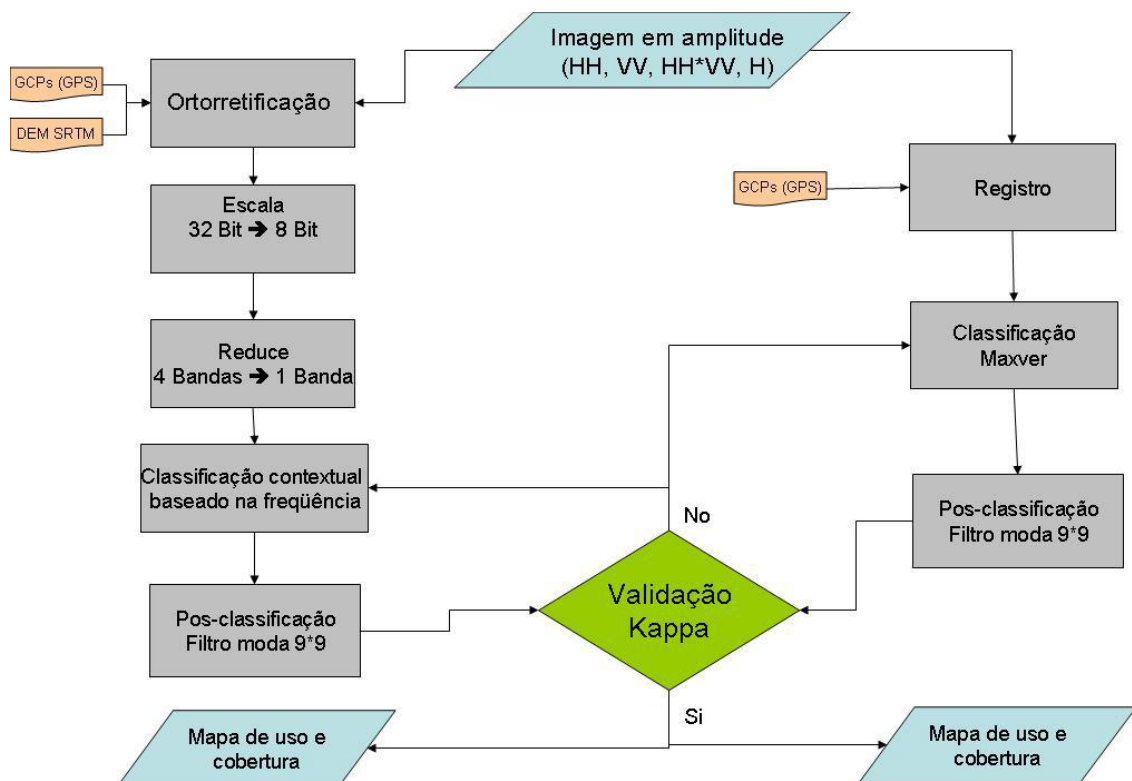


Figura 3.11 Passos metodológicos realizados na fase de classificação.

3.3.3.1 Classificação contextual

A classificação contextual empregada fez uso do algoritmo de Gong & Howarth (1992), implementado no software *PCI Geomatica* V10. 3, baseado na frequência e no valor de cinza do vetor redução para a identificação das classes temáticas de interesse. A inclusão de parâmetros incoerentes como dados *input* em classificações foi analisado por Alberga (2004).

O primeiro passo foi aplicar uma conversão nas imagens (A_{HH} , A_{VV} , (H), (Anisotropia), ângulo Alfa e $A_{<HH,VV*>}$) de 32 Bits para 8 bits, cujo procedimento foi realizado com o algoritmo *Scale*. Para aplicar o classificador contextual de frequência, as imagens devem ser reduzidas a uma só imagem. A redução foi então realizada com o algoritmo *Reduc*. Neste procedimento foram testados vários conjuntos de produtos, tais como: a) todas as imagens, (A_{HH} , A_{VV} , (H), (Anisotropia), ângulo Alfa e $A_{<HH,VV*>}$); b) conjunto A_{HH} e A_{VV} , c) conjunto A_{HH} , A_{VV} e H, d) conjunto A_{HH} , A_{VV} , H e A. Dessa forma pôde-se avaliar, previamente, que o melhor resultado foi obtido com o conjunto (A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH,VV*>}$ e H) e sobre esta imagem-redução aplicou-se o classificador contextual *Context*. Neste procedimento determinou-se que os parâmetros incoerentes SAR, de Anisotropia e Ângulo Alfa, bem como a informação de fase relativa contida no dado PolSAR, não forneceram ganho de informação para distinguir classes.

As áreas de treinamento para realizar a classificação supervisionada foram definidas e delimitadas com base nas observações georreferenciadas assinaladas no trabalho de campo.

3.3.3.2 Classificação MAXVER

A classificação MAXVER foi realizada usando o *software* ENVI 4.6 tendo como imagem de entrada o conjunto de imagem TerraSAR-X em amplitude (A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH,VV*>}$ e H) sem ortorretificação, visto que a classificação MAXVER obtém melhores resultados quando os dados possuem uma distribuição normal ou gaussiana. Este fato foi corroborado aplicando-se previamente uma classificação MAXVER nas imagens ortorretificadas, cujo resultado final não foi satisfatório, pois as classes apresentaram maior confusão (índice *Kappa* = 0,49), inferior ao obtido com àquelas

imagens sem ortorretificação (ver capítulo 4 secção 4.4.1). As distribuições de frequência dos níveis radiométricos das imagens TerraSAR-X, com e sem o processo de ortorretificação, podem ser visto na Figura 3.12.

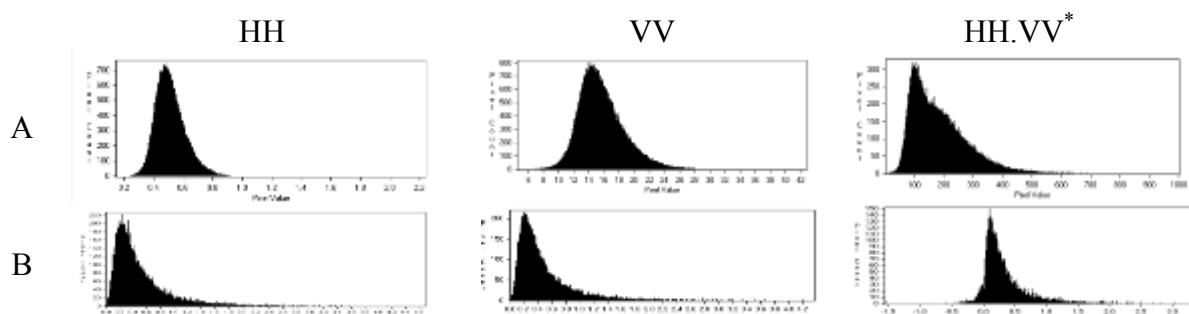


Figura 3.12- Distribuição de frequências das imagens HH, VV e $\langle HH.VV^* \rangle$ sem ortorectificação (A) e com ortorectificação(B)

A abordagem de empregar parâmetros das decomposições incoerentes e/ou coerentes com o classificador estatístico tipo MAXVER foi estudada por Alberga (2004), em cujo estudo ficou demonstrado que as classificações obtidas dos parâmetros incoerentes (ex, Entropia, Anisotropia e α) obtiveram melhor desempenho que as classificações obtidas de polarizações *QuadPol*. Além disso, este estudo ainda demonstrou que o classificador MAXVER conseguiu melhores resultados em comparação com aqueles obtidos pelos classificadores da mínima distância e paralelepípedo.

Na realização da classificação supervisionada MAXVER, utilizou-se o mesmo o conjunto de amostras de treinamento daquele empregado na classificação contextual.

Após a aplicação das duas abordagens classificatórias acima citadas, realizou-se uma fase de pós-classificação. Esta consistiu em aplicar um filtro de moda (janela 9x9) para reduzir o aspecto ruidoso dos dados temáticos resultantes dessas classificações.

3.3.3.3. Desempenho das classificações.

Para validar o desempenho das classificações foram calculados o grau de exatidão total e a exatidão por classes, decorrendo assim o índice de concordância *Kappa* global e *Kappa* condicional por classe.

Além disso, para analisar a separabilidade das classes foi calculada a distância estatística JM. Conforme Richards e Jia (1999), é uma medida efetiva para definir diferenças entre amostras representativas de determinados temas em imagens de satélite, como foi também demonstrado por Key et al.,(2001) e Van Niel et al. (2005). Segundo este índice as amostras com maior semelhança apresentam valores próximos a zero (0) e conseqüentemente, os valores próximo a dois (2) com maior diferenciação. Esta avaliação serviu para investigar o desempenho dos classificadores utilizados nesta pesquisa em áreas de floresta tropical.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados inicialmente os resultados obtidos no levantamento fisionômico-estrutural das tipologias vegetais encontradas nesta paisagem acreana (item 4.1), de forma a permitir a caracterização das classes de cobertura da terra, que posteriormente estão devidamente especificadas (item 4.2.). Posteriormente, são apresentados os resultados do comportamento temático das classes de uso e cobertura da terra, bem como das classificações dos dados TerraSAR-X e respectivas análises de desempenho temático.

4.1 ANÁLISES FLORÍSTICA E ESTRUTURAL

Nas 12 parcelas amostradas no inventário florestal foram encontrados 1048 indivíduos arbóreos, distribuídos em 50 famílias botânicas e 136 espécies (Tabela A.1). Deste total 8 indivíduos arbóreos, correspondentes a 3 espécies foram agrupados na categoria “não identificada”. A curva espécie-área, apresentada na Figura 4.1 indicou uma tendência à estabilização do aparecimento de novas espécies a partir da parcela 7.

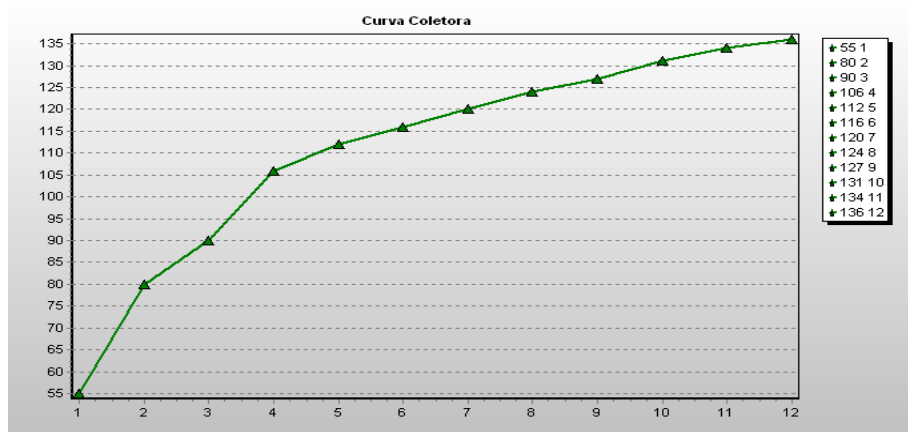


Figura 4.1 - Curva espécie-área obtida com a amostragem empregada no levantamento florestal

O valor de diversidade florística obtido para o índice de Shannon-Weaver de $H' = 4,10$ indicou uma alta diversidade florística associada à previsão da espécie a qual pertence um dado indivíduo amostrado, selecionado ao acaso no conjunto amostral. A

equabilidade de Pielou apresentou valor de 0,84, demonstrando a existência de uma elevada diversidade florística nos diferentes componentes do povoamento estudado.

Os parâmetros fitossociológicos das primeiras 22 espécies amostradas com maior IVI são apresentados na Figura 4.2². Na figura é possível observar que as 5 espécies com maior valor de importância no povoamento foram: *Mabea anadena* Pax & K. Hoffm., *Pouteria* sp., *Eschweilera andina* (Rusby) J. F. Macbr, *Cecropia* e *Lecythis retusa* sp. Juntas, estas espécies representaram 25% da densidade total observada. O inventário florestal mostrou um índice baixo de espécies localmente raras, do total de 136 espécies amostradas, 39 espécies foram representadas por um único indivíduo.

² A listagem completa pode ser vista na Tabela A.2

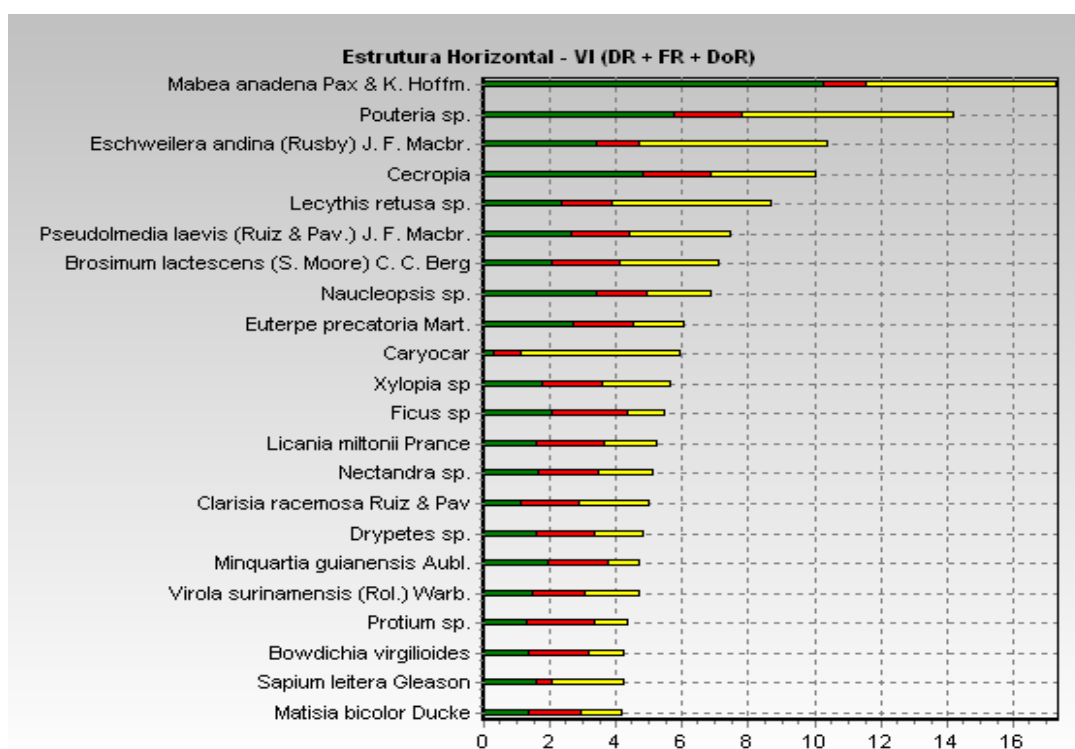


Figura 4.2 - Parâmetros fitossociológicos das 22 famílias de maior IVI encontradas no inventário florestal.

Com relação à distribuição da riqueza florística, foi constatado um padrão semelhante. O conjunto de apenas cinco famílias (ver figura 4.3) contribuiu com um 49,23 % do total de espécies encontradas, como segue: *Euphorbiaceae* (15,65 %), *Moraceae* (12,88%), *Cecropiaceae* (7,06%), *Lecythidaceae* (7,06%), *Sapotaceae* (6,58%).

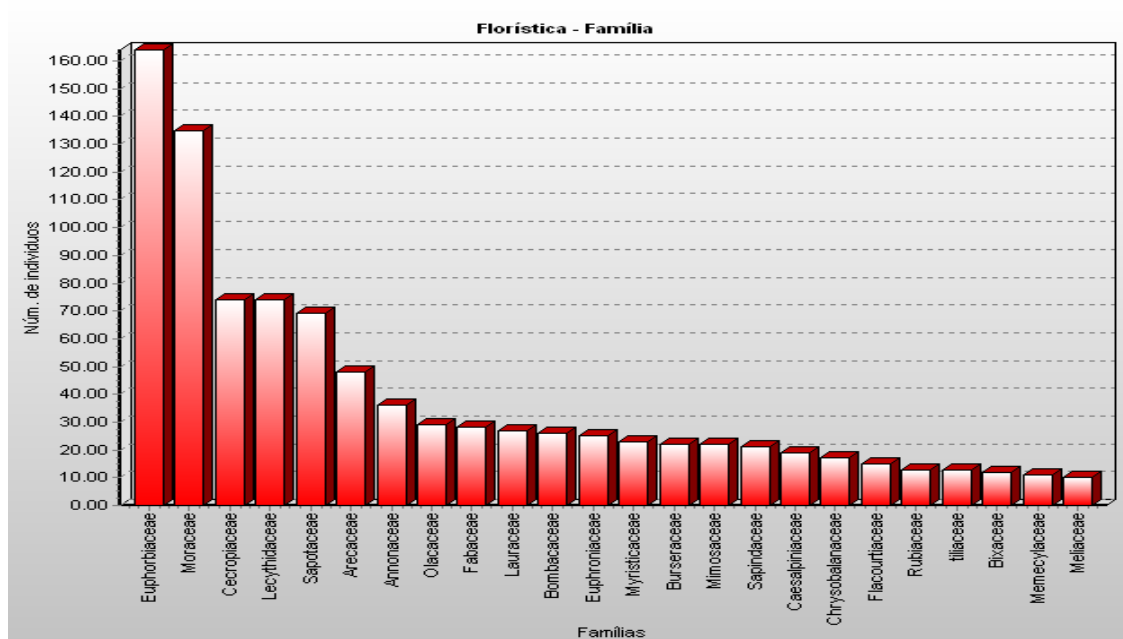


Figura 4.3 - Distribuição das famílias dos 1048 indivíduos arbóreos inventariados

Na figura 4.4 pode-se observar a distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos em intervalos de classes (de 5 cm). Na análise da figura, foi possível visualizar que a estrutura diamétrica seguiu o padrão próximo de J-invertido, sendo usual para florestas tropicais inequiâneas, sugerindo a existência de um balanço entre o recrutamento e a mortalidade de árvores. Conforme Longhi (1980) há uma alta concentração de indivíduos nas primeiras classes diamétricas (93,16% dos indivíduos até o limite de 35 cm), com uma redução significativa nas classes de maior diâmetro.

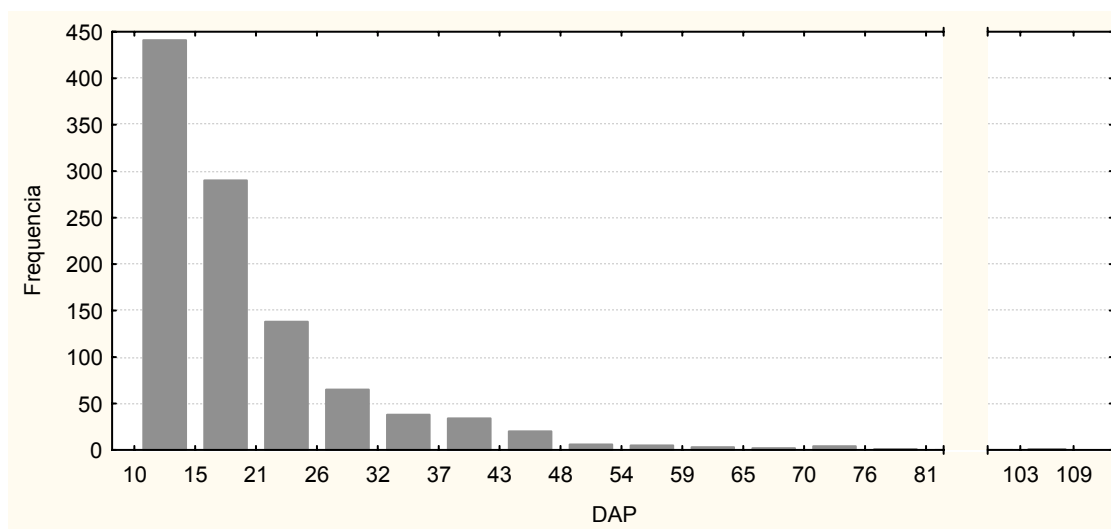


Figura 4.4 - Distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos inventariados

Com relação à altura total do conjunto de árvores obtidas no inventário florestal, a frequência de distribuição da altura concentrou-se principalmente entre os intervalos de 5m a 10m (320 indivíduos) e de 10 a 15 metros (375 indivíduos).

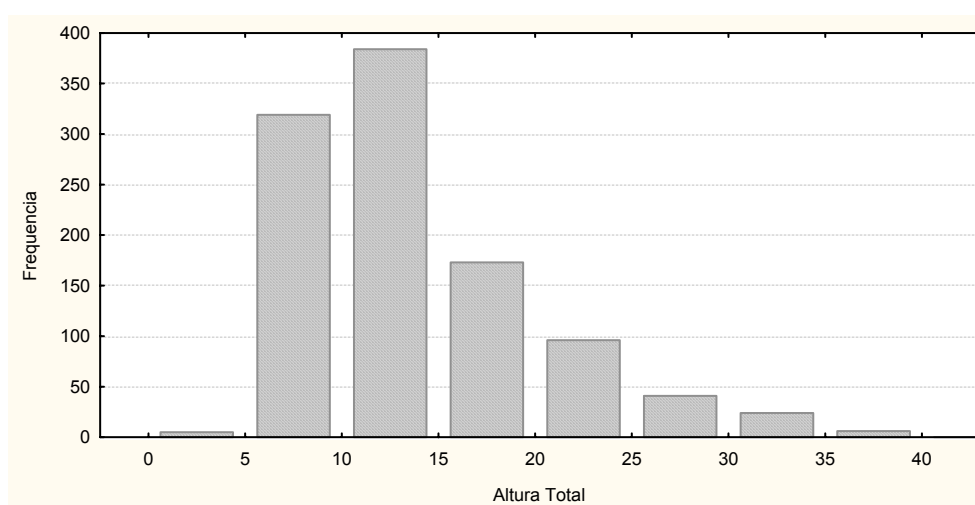


Figura 4.5 – Distribuição da altura total (HT) dos indivíduos arbóreos inventariados

4.1.1 Caracterização das parcelas amostrais

As 12 parcelas foram separadas em dois grupos distintos de acordo com os resultados da análise de agrupamento (UPGMA) baseada no índice de similaridade de Morisuta. Para distinção dos grupos formados, foi aplicado um nível de corte de 25% no eixo de escala

do dendrograma, conforme recomendado por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974).
(Ver figura 4.6)

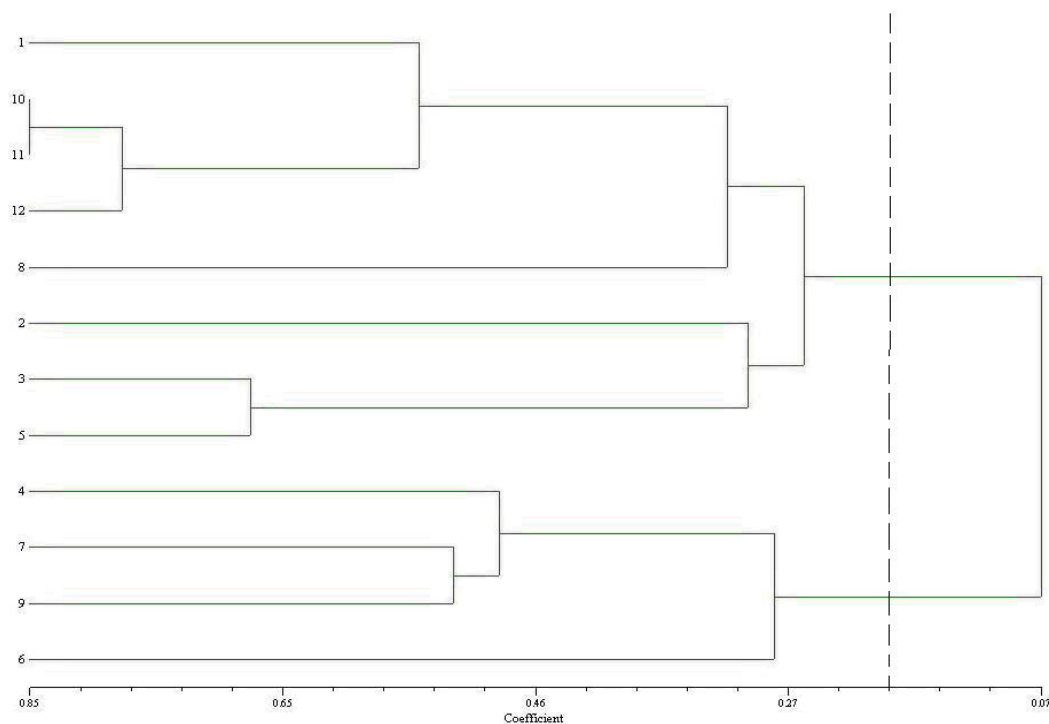


Figura 4.6 - Dendrograma de similaridade florística entre as diferentes parcelas

Assim, adotando-se o limiar de 0,19 as parcelas 1, 2, 3, 5, 8, 10, 11 e 12 formaram um grupo, sendo exatamente aquelas que foram caracterizadas como floresta no decorrer da etapa de campo. Por sua vez, as parcelas 4, 6, 7 e 9 formaram o segundo grupo, correspondendo aquelas caracterizadas como capoeira (sucessão secundária). Estas mesmas parcelas correspondem a baixos valores na composição florística, função do índice de Shannon-Weaver encontrado (Tabela 4.1).

Tabela 4.1- Número total de indivíduos, famílias e espécies de cada parcela amostral do IF, com o respectivo valor do índice de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou.

Parcela	N	S	F	H'	J
1	117	37	20	3,19	0,88
2	60	32	24	3,27	0,94
3	108	55	31	3,72	0,93
4	40	24	21	2,94	0,92
5	115	50	26	3,6	0,92
6	36	11	11	1,79	0,75
7	36	16	14	2,38	0,86
8	105	38	26	3,19	0,88
9	71	15	11	1,85	0,68
10	132	35	21	2,85	0,8
11	105	36	23	2,89	0,81
12	123	39	22	3,15	0,86
Geral	1048	136	50	4,1	0,84

A Tabela 4.1 apresenta, para cada parcela amostral, o número total de indivíduos, famílias e espécies inventariadas, além do valor do índice de Shannon-Weaver (H'). Com respeito à diversidade, a parcela que apresentou menor riqueza florística foi a parcela 6, com um $H' = 1,79$, em 11 espécies distribuídas em 36 indivíduos; ao contrário, a parcela 3 foi a que apresentou maior riqueza florística, com um $H' = 3,72$ em 55 espécies distribuídas em 108 indivíduos. Os únicos pares considerados floristicamente iguais foram as parcelas P10/P11 e P3/P5.

4.2 ANÁLISE DESCRITIVA DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA.

De acordo com os resultados do inventário florestal e do levantamento da paisagem (através de 189 pontos de observação devidamente georreferenciados), foram estabelecidas seis classes temáticas: floresta, capoeira, pasto limpo, pasto sujo, solo exposto e corpos d'água. Representações destas classes podem ser visualizadas na figura 4.7 para um melhor entendimento.

Floresta



Capoeira



Pasto sujo



Pasto limpo



Figura 4.7 - Descrição fotográfica das classes de uso e cobertura da terra na área de Sena Madureira (AC).

(Continua)

Solo exposto



Corpos d' água



Figura 4.7 -Conclusão.

A classe **Floresta** refere-se às áreas que se encontram recobertas por vegetação natural em condição primária ou, em alguns casos, num estágio de estrutura secundária bem avançada. Essas áreas estão ocupadas principalmente por comunidades de formações da Floresta Aberta Ombrófila Densa, com presença de palmeiras e ocorrência esparsa de bambus. Segundo os resultados da análise florístico-estrutural, nestas florestas as espécies mais representativas são: *Mabea anadena* Pax & K. Hoffm., *Pouteria* sp., *Eschweilera andina* (Rusby) J. F. Macbr., *Cecropia leucocoma* Miq. e *Lecythis retusa* sp., que juntas representaram 25% da densidade total observada. Com relação às famílias mais representativas se encontram: *Euphorbiaceae*, *Moraceae*, *Cecropiaceae*, *Lecythidaceae* e *Sapotaceae*.

A classe **Capoeira** contempla as áreas em estágio de regeneração, com vegetação secundária em diferentes idades, fruto do histórico uso agrícola/pecuário e posterior abandono. A capoeira é composta, em geral, pelo predomínio das espécies: *Cecropia leucocoma* Miq., *Horerea* sp., *Cecropia hololeuca* Miq., *Apeiba membranacea* Spruce ex Benth. e *Jacaratia digitata* (Poepp. & Endl.) Solms.

As extensas áreas de pastagem presentes na região estudada constituem a atividade mais freqüente do uso do solo. Segundo estudos do Zoneamento Ecológico-Económico (ACRE, 2006) a dinâmica desta atividade é muito grande e introduziu mudanças recentes nas características do processo produtivo. Estas áreas foram diferenciadas em duas classes: pasto limpo e pasto sujo. O primeiro refere-se a áreas de pastagem com melhores condições de palatibilidade pelo gado, com presença geralmente de *Paspalum amazonicum Trin* (ACRE, 2006), sem ou com poucos arbustos esparsos. A classe **Pasto sujo**, refere-se a pastagem com presença significativa de espécies invasoras, em geral ervas e arbustos do processo inicial de sucessão secundária e decorrentes do manejo inadequado.

A classe **Solo exposto** refere-se às áreas de solo preparado para plantio e algumas áreas de solo em pousio, esperando o momento de plantio. A classe **Corpos d'água** contempla os reservatórios, as áreas alagadas e a rede hidrográfica presente na região em estudo.

4.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS TerraSAR-X

Nesta etapa procurou-se verificar a consistência entre amostras correspondentes a cada classe temática, isso do ponto de vista do comportamento radiométrico na imagem TerraSAR-X. Para esta tarefa foram empregados histogramas, valores da distância estatística Jeffries-Matusita (JM) e gráficos do tipo *box-plot*. Para tal fim, foram utilizadas nestas análises as informações radiométricas das componentes HH, VV e [HH.VV*] e Entropia (H) nas imagens registrada e ortorretificada.

4.3.1 Imagem Ortorretificada.

As distribuições estatísticas das diferentes classes contidas nas amostras de treinamento foram analisadas com a finalidade de entendimento de seus comportamentos. Na figura 4.8 são apresentadas as diferentes distribuições das classes floresta (verde), capoeira (verde claro), pasto limpo (amarelo), pasto sujo (marrom) e água (azul) nas diferentes polarizações, isoladas ou combinadas (HH, VV, [HH.VV*] e Entropia).

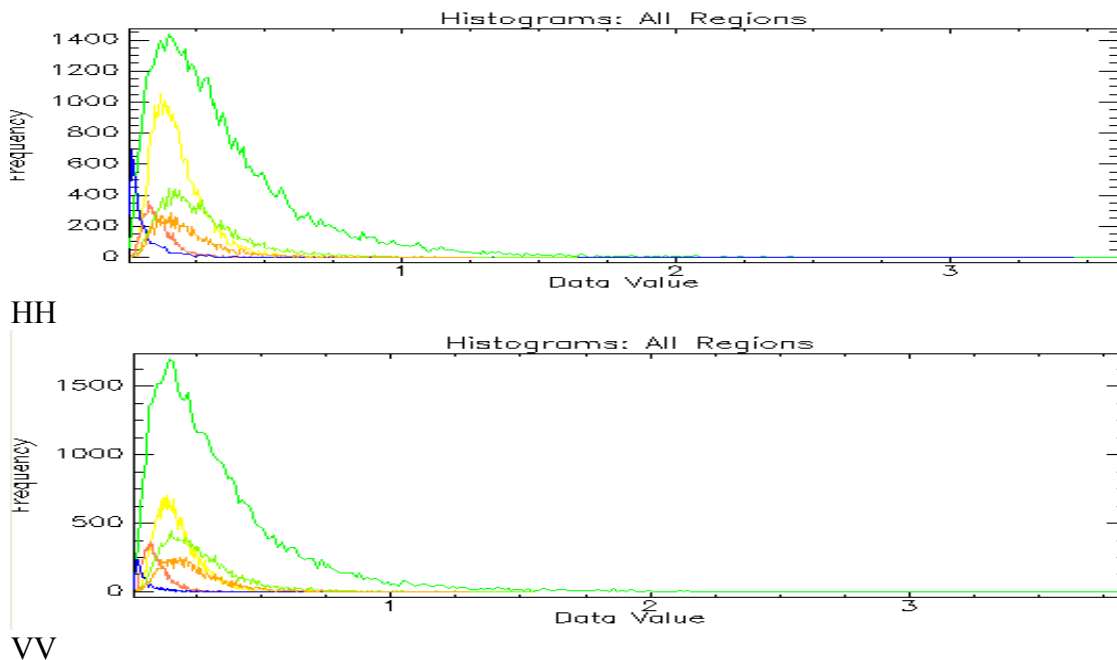


Figura 4.8- Distribuição de freqüências radiométricas das classes nas diferentes imagens no modo ortorretificado.

(Continua)

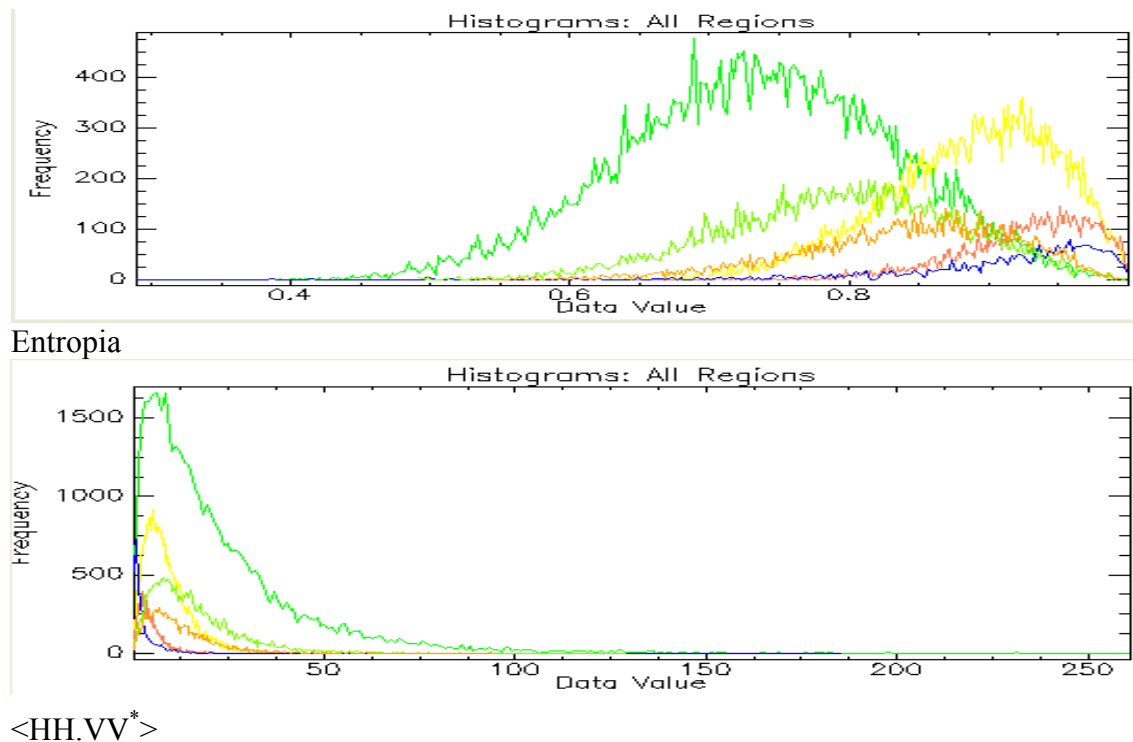


Figura 4.8- Conclusão

De acordo com os histogramas contidos na Fig 4.8. pode-se dizer que nas imagens amplitude HH, VV e $\langle HH.VV^* \rangle$ as amostras apresentam uma distribuição tipo Gama. Na imagem de entropia as amostras apresentaram uma distribuição gaussiana. É nesta banda onde se apresenta maior separabilidade entre as 6 classes, discriminando, ainda mais as classes floresta e pasto limpo. Nos produtos de polarização isolada, HH e VV os temas água, solo exposto, solo limpo e floresta já mostram uma boa diferenciação. Esta separabilidade temática obtida nas várias amostras representativas da paisagem investigada foi analisada através da medida de distância Jeffries-Matusita (JM), cujos resultados podem ser observados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Valores de Jeffries-Matusita (JM), das classes nas imagens ortoretificada e registradas do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH.VV*>}$, $A_{entropia}$).

Classes		Distância JM	
		Ortorretificada	Registrada
Capoeira	Pasto sujo	0.317	0.312
Pasto limpo	Pasto sujo	0.825	0.541
Floresta	Capoeira	0.898	0.794
Pasto Limpo	Capoeira	1.252	1.015
Floresta	Pasto sujo	1.339	1.176
Solo exposto	Água	1.397	1.546
Pasto Limpo	Solo exposto	1.455	1.832
Pasto Limpo	Água	1.611	1.695
Água	Pasto sujo	1.706	1.702
Água	Capoeira	1.709	1.613
Solo exposto	Pasto sujo	1.823	1.931
Floresta	Pasto Limpo	1.832	1.602
Floresta	Água	1.843	1.332
Solo exposto	Capoeira	1.878	1.975
Floresta	Solo exposto	1.977	1.961

Os valores foram computados na função *Compute ROI Separability* do *software* Envi, onde para cada par de classes temáticas há um valor JM (Capoeira - Água = Água - Capoeira).

Na imagem ortorretificada os pares de amostras com maior separabilidade corresponderam às classes Floresta - Solo exposto (JM = 1,977) e Solo exposto-Capoeira (JM = 1,878). As amostras que apresentaram baixa discriminação temática foram aquelas representativas entre as classes Capoeira e Pasto sujo (JM = 0,317).

4.3.2 Imagem Registrada.

Do mesmo modo, a imagem registrada foi também analisada com histogramas de frequência para as diferentes amostras, notando-se que a distribuição é do tipo gaussiana nas polarizações HH e VV. Na figura 4.9 são apresentadas as diferentes amostras (Floresta, Pasto limpo, Pasto sujo, Solo exposto, Água e Capoeira) e suas respectivas distribuições de frequências radiométricas.

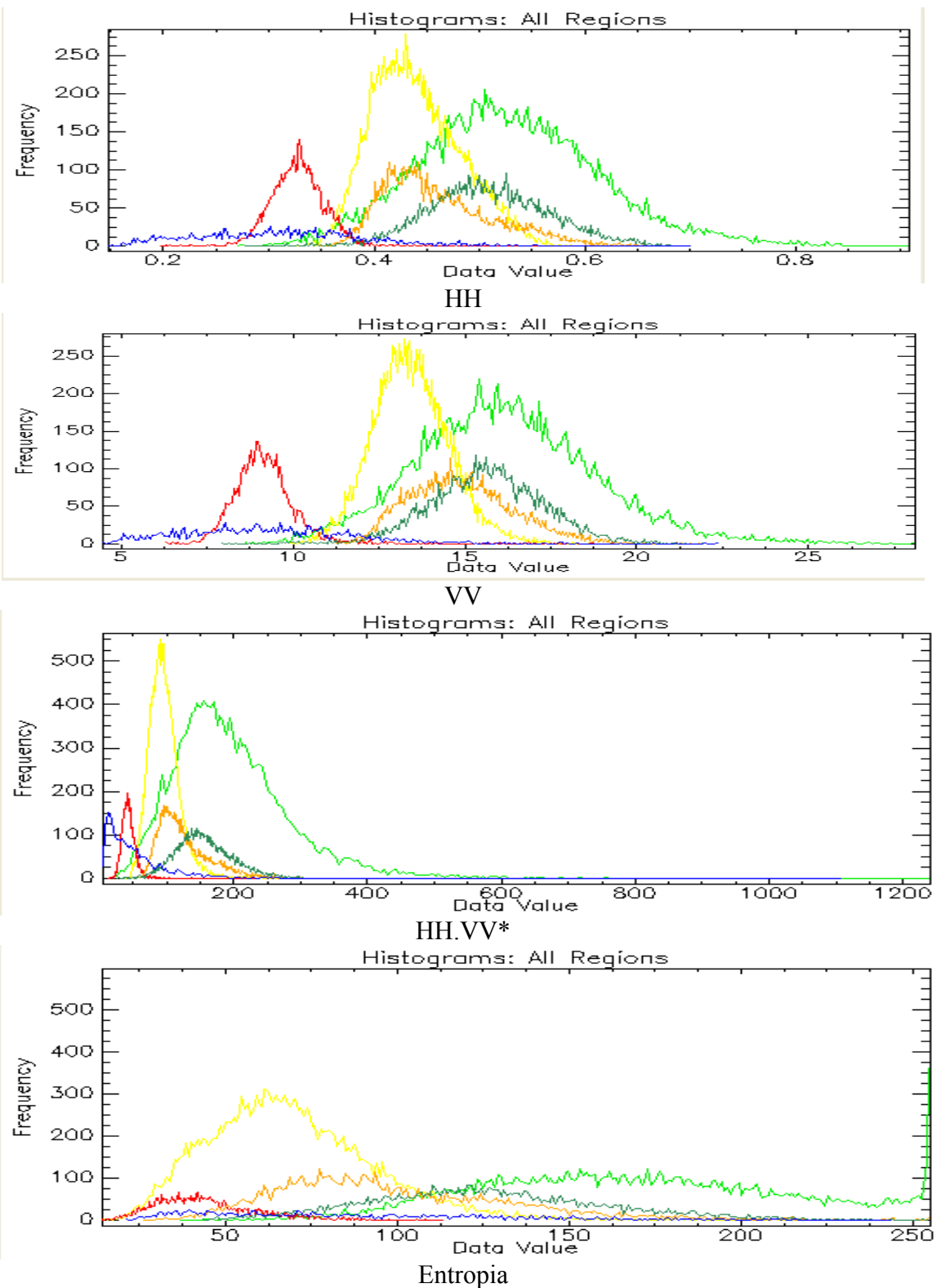


Figura 4.9 – Distribuição de frequências radiométricas das classes nas diferentes imagens no modo registrado.

As amostras de Água, Solo exposto, Pasto limpo e Floresta apresentam uma boa separabilidade nas imagens HH, VV e entropia. As amostras de Pasto sujo e Capoeira são as que apresentam maior dificuldade de distinção, comprovado também quando se observam os valores da distância Jeffries-Matusita ($JM = 0,312$), (vide tabela 4.2) seguidos pela distinção entre Pasto limpo e Pasto sujo, com um $JM = 0,541$. Em contrapartida, os temas que uma têm boa separabilidade foram Solo exposto e Capoeira, com um valor de 1,975, fato que também é visível nos histogramas.

4.3.3 Gráficos *box-plot*

Os gráficos do tipo *box-plot* são úteis para analisar a distribuição de um conjunto de dados a partir dos parâmetros descritivos como primeiro e terceiro quartil e a mediana. O valor máximo e o mínimo dos dados (excluindo os *outliers*) estão representados por hastes superiores e inferiores. Na Figura 4.10 estão representados os *box-plot* das amostras, onde a caixa representa o intervalo entre 25% (primeiro quartil) e 75% (terceiro quartil) dos dados de frequência retroespalhada, enquanto a linha que divide a caixa representa a mediana.

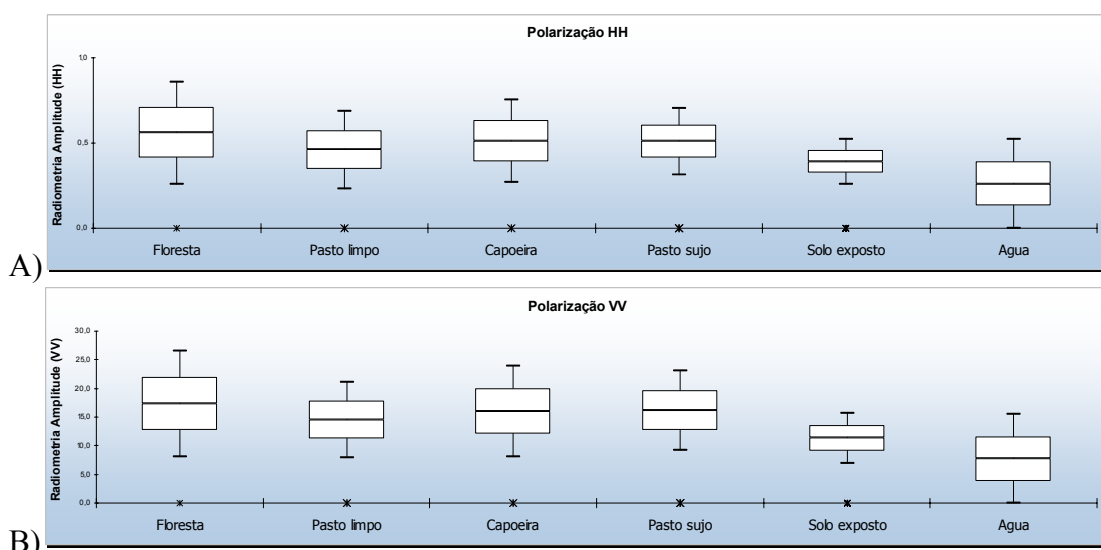


Figura 4.10 – Gráficos *box-plot* das classes de uso e cobertura da terra nas polarizações HH (a) , VV (b), HHxVV (c) e Entropia (d).

(Continua)

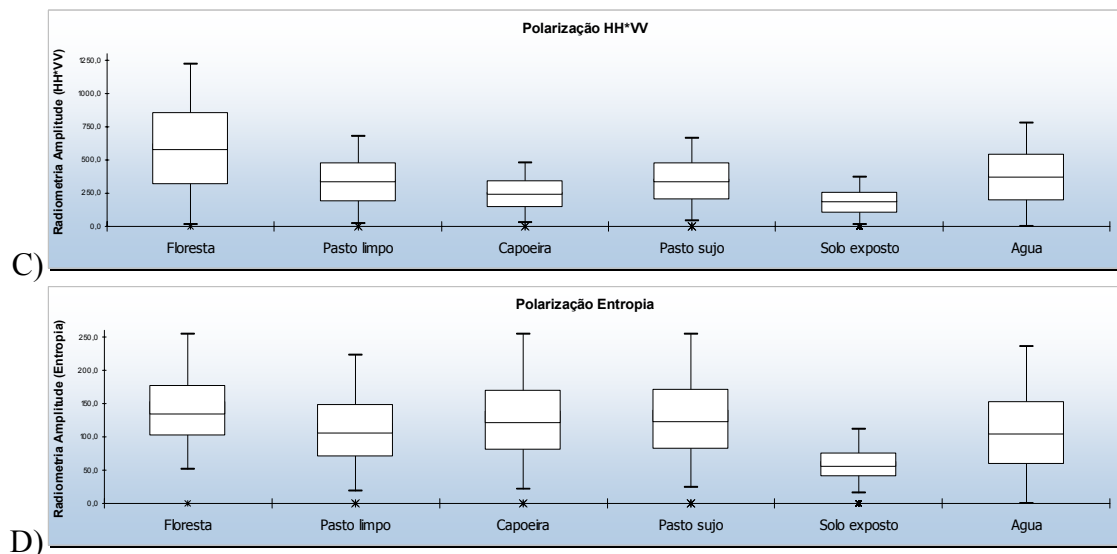


Figura 4.10 – Conclusão

Estes gráficos *box-plot* que ilustram o comportamento polarimétrico das seis classes temáticas mostram uma certa similaridade entre Capoeira e Pasto sujo, o que denota previamente uma difícil capacidade de separação a partir de técnicas de classificação de imagens.

Outra característica que se pode identificar é que a classe Água possui baixos valores nas diferentes componentes, o que se justifica pela reflexão especular e baixo retorno do sinal radar, em contraste ao comportamento polarimétrico da classe floresta, que apresenta os maiores valores resultantes dos processos de espalhamento superficial, *double-bounce* e volumétrico que regem a interação sinal-radar com o ambiente florestal. Nas componentes isoladas HH e VV as variações dos *box-plot* são muito semelhantes, enquanto que na componente $\langle HH.VV^* \rangle$ pode-se perceber uma maior diferenciação entre as classes. Na componente entropia as classes apresentam-se ocupando um mesmo espaço de atributos radiométricos, com menor diferenciação entre elas, exceto na classe solo exposto que possui uma particular distribuição de frequências polarimétricas que a individualiza.

De acordo com esta prévia análise dos dados SAR, há indícios de certa dificuldade na separabilidade entre as classes Pasto sujo e Capoeira, e uma boa separabilidade entre as amostras de Floresta, Solo exposto e Pasto limpo. Na próxima fase das abordagens classificatórias, os níveis desta separabilidade estão convenientemente apresentados e discutidos.

4.4 CLASSIFICAÇÕES DOS DADOS TerraSAR-X

Neste item são analisados os resultados das classificações de uso e cobertura da terra obtida pelos algoritmos MAXVER e *Context*, aplicados sobre o conjunto de imagens amplitude e matriz de covariância, respectivamente.

4.4.1 Classificação pelo algoritmo MAXVER

Com as amostras das classes de cobertura da terra selecionadas, a partir da imagem registrada, foi gerada a classificação MAXVER. Na figura 4.11 é apresentado o mapeamento temático resultante deste procedimento classificatório pontual. Na Tabela 4.3 está a matriz de confusão das classes e o índice *Kappa* (K).

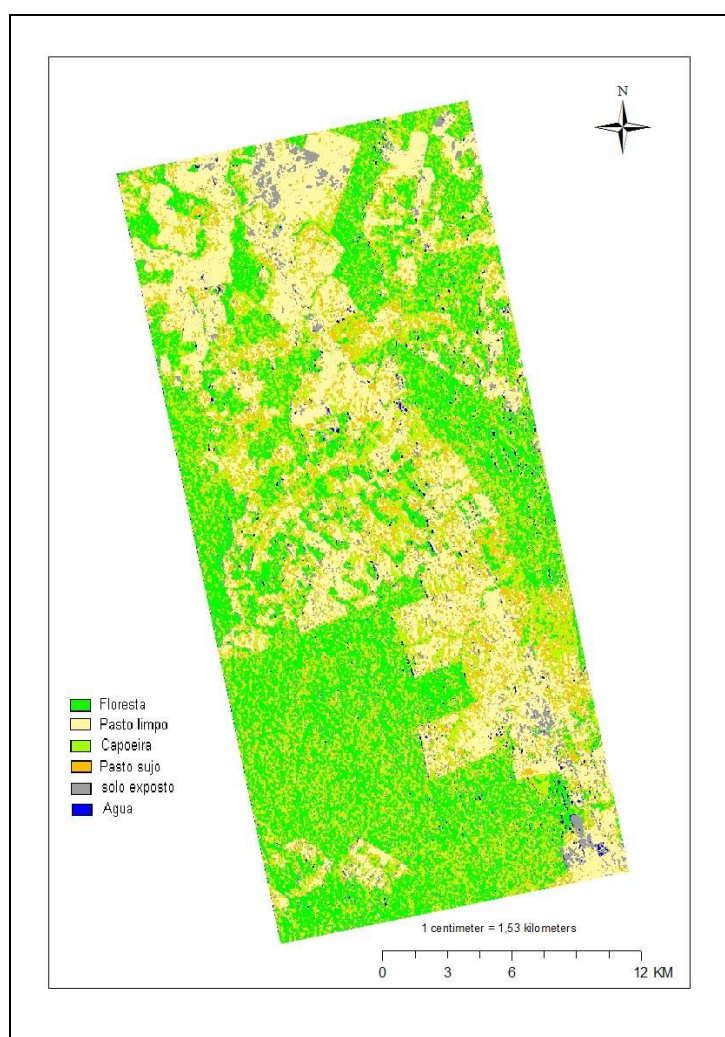


Figura 4.11 Classificação temática pelo método MAXVER do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH.VV*>}$, $A_{entropia}$).

Tabela 4.3 Matriz de confusão derivada da classificação MAXVER.

	Água	Capoeira	Floresta	Pasto limpo	Pasto sujo	Solo exposto
Água	32,03	0,02	0,33	0,33	0,00	0,00
Capoeira	2,57	43,74	25,10	3,42	17,57	0,00
Floresta	0,00	4,88	55,09	0,00	1,80	0,00
Pasto limpo	6,29	22,92	5,25	80,78	28,00	1,86
Pasto sujo	1,41	27,45	13,85	9,50	50,94	0,00
Solo exposto	57,70	1,00	0,37	5,97	1,69	98,14

Exatidão Global = 63.70% $Kappa = 0.530$ (Var = 5,43E-04)

A classificação pelo método MAXVER obteve uma boa concordância, com o índice *Kappa* ($K = 0,53$), segundo a categorização de Landis e Koch (1977). Particularizando a discriminação entre classes, o melhor desempenho classificatório foi do Solo exposto com 98% e Pasto limpo 81%. A classe Floresta apresentou só 55% dos pixels classificados corretamente, tendo inclusive uma confusão com a classe capoeira (25%). Esta baixa separabilidade pode ser explicada pela complexidade polarimétrica apresentada pelas amostras (ver secção 4.3.2) que, ao serem tratadas por um classificador pontual, tipicamente de reconhecimento gaussiano, pode ser considerado não adaptado às análises SAR para um certo número de classes detalhadas como tal.

4.4.2 Classificação *Context*

Do mesmo modo, mas utilizando a imagem ortorretificada e tendo como grupo de amostras as mesmas utilizadas na classificação MAXVER anterior, foi elaborada uma classificação contextual (Fig. 4.12), seguindo os passos descritos na secção 3.4.2.1.

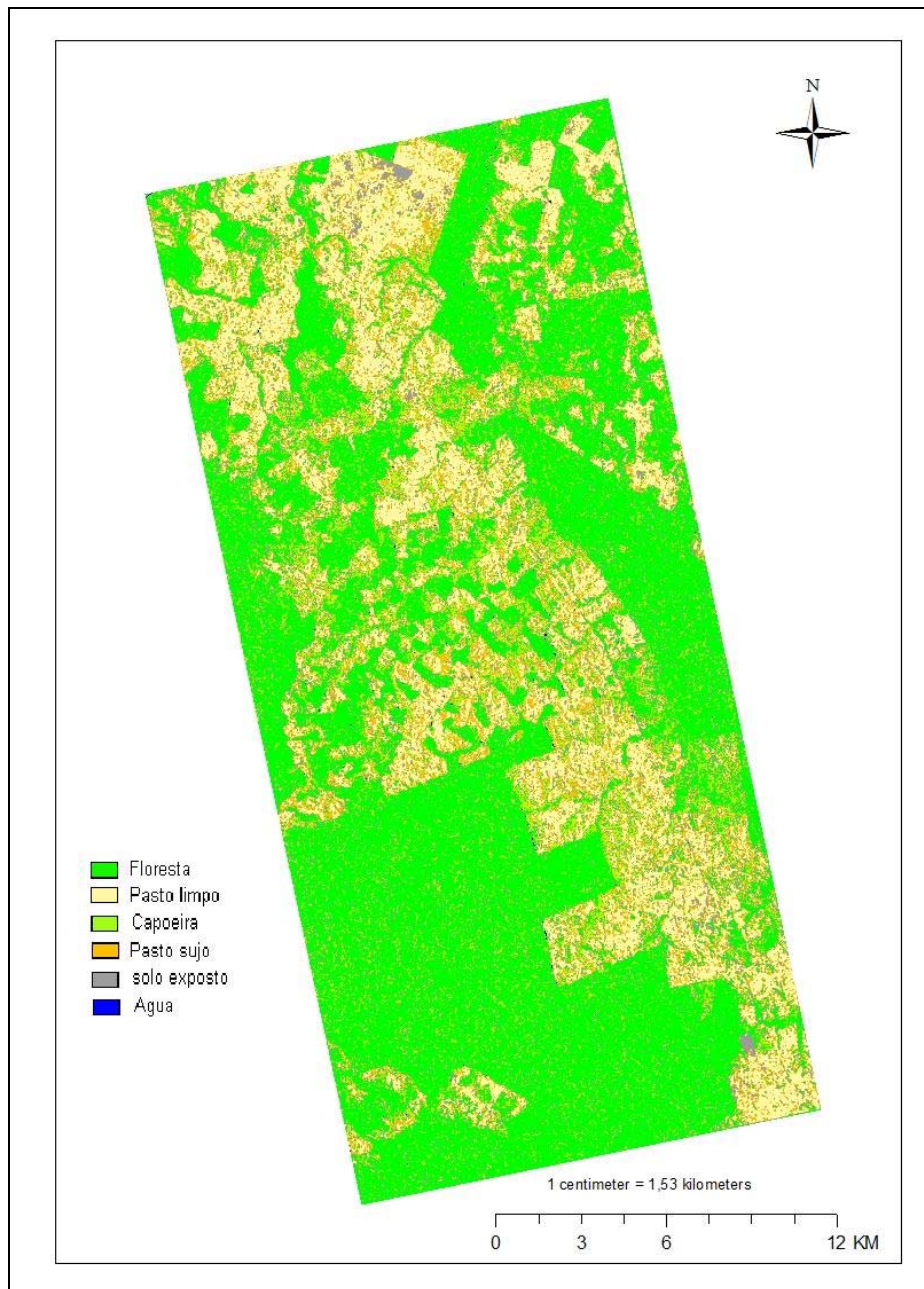


Figura 4.12 Classificação temática pelo método *Context* do conjunto de imagens (A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH.VV*>}$, $A_{entropia}$)

Ao se utilizar o classificador *Context* com o conjunto das quatro componentes [A_{HH} , A_{VV} , $A_{<HH.VV*>}$, $A_{entropia}$], foi alcançando o maior valor de *Kappa* (0,704). Na tabela 4.4, é apresentada a matriz de confusão, exatidão e o correspondente índice *Kappa*.

Tabela 4.4 - Matriz de confusão derivada da classificação pelo método *Context*.

	Água	Capoeira	Floresta	Pasto Limpo	Pasto Sujo	Solo Exposto
Água	81,82	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00
Capoeira	0,00	100,00	11,49	11,63	22,73	0,00
Floresta	0,00	0,00	81,61	0,00	9,09	0,00
Pasto Limpo	0,00	0,00	1,15	72,09	0,00	0,00
Pasto Sujo	0,00	0,00	3,45	13,95	59,09	0,00
Solo Exposto	18,18	0,00	1,15	2,33	9,09	100,00

Exatidão Global = 78.33% *Kappa* = 0.704 (Var = 3,42E-04)

De acordo com a categorização de Landis e Koch, (1977) a classificação pelo método *Context* obteve uma separabilidade muito boa (*Kappa* = 0.70). Nesta classificação, as classes Capoeira e Solo exposto foram classificados corretamente, enquanto, as classes Água (82%), Floresta (82%) e Pasto limpo (72%) foram classificadas satisfatoriamente.

A classe Pasto sujo apresentou uma exatidão aceitável com 59% dos pixels classificados corretamente. Esta classe foi muito confundida com a classe Capoeira (22%), confusão essa já observada no decorrer da análise das amostras através da distância JM, com valor de 0,317 (Tabela 4.2, item 4.3.1). Resumindo, numa rápida análise de discriminação temática global através das duas classificações realizadas na imagem TerraSAR-X, pode-se afirmar que a classificação pelo método *Context* apresentou melhor desempenho para separar as 6 diferentes classes.

4.4.3 Síntese comparativa entre classificações

Ao comparar os resultados das classificações MAXVER e *Context* realizada com as 4 componentes em amplitude da imagem TerraSAR-X conjuntamente e considerando as informações obtidas nas matrizes de confusão que foram consideradas diferentes de acordo com o teste Z, ao nível de significância de 5%, pode-se afirmar que a classificação *Context* obteve um melhor desempenho para distinguir as diferentes classes temáticas dentro da área de estudo.

A abordagem MAXVER alcançou um índice *Kappa* de 0,53, inferior ao alcançado com a classificação *Context* que obteve um valor de 0,70. Do mesmo modo, para avaliar o desempenho das classificações por classes, foi calculado o índice *Kappa* condicional o qual avalia o total de pixels de cada classe temática. Na tabela 4.5 consta o valor *Kappa* condicional calculado para cada classe de acordo com a classificação.

Tabela 4.5 – Valor *Kappa* condicional calculado para cada classe para as duas classificações

	Maxver		Context	
	<i>Kappa</i>	Var (<i>Kappa</i>)	<i>Kappa</i>	Var (<i>Kappa</i>)
Água	0,6931	3,03E-04	0,983	2,36E-04
Capoeira	0,2461	1,38E-05	0,623	1,79E-03
Floresta	0,9262	5,39E-06	0,880	1,38E-03
Pasto Limpo	0,6247	9,46E-06	0,981	3,03E-04
Pasto Sujo	0,2667	1,32E-05	0,727	3,10E-03
Solo Exposto	0,6523	2,33E-05	0,718	1,76E-03

Em geral, os resultados obtidos pelo cálculo do *Kappa* condicional mostram que a exatidão alcançada pelas classes pelo método MAXVER foi menor do que a obtida na classificação *Context*. No entanto, a classe Floresta no método MAXVER obteve um desempenho melhor em relação a classificação *Context*. Por sua vez, as classes Capoeira, Pasto sujo, alcançaram apenas um desempenho razoável, seguidas pelas classes Água, Pasto limpo e Solo exposto, que alcançaram segundo a categorização de Landis e Koch (1977), um bom desempenho através do procedimento classificatório MAXVER.

Na classificação *Context* os desempenhos da classe Água, Floresta e Pasto limpo foram excelentes, de acordo com a categorização de Landis e Koch (1977); do mesmo modo, as classes Capoeira, Pasto sujo e Solo exposto obtiveram um desempenho muito bom.

Conforme observado anteriormente a classe Floresta na classificação MAXVER teve um melhor desempenho em relação a classificação *Context*, no entanto, realizando uma comparação visual observa-se que a MAXVER apresenta maior confusão com a classe Pasto sujo. Isto pode estar relacionado com o efeito de sombreamento provocado pelo relevo nas áreas de Floresta densa, conforme observado por Rodrigues (2010). Certas

confusões também foram observadas entre classes foram entre Pasto limpo e Solo exposto.

Na classificação *Context* as áreas de floresta apresentam menor mistura, no entanto, áreas de Capoeira e Pasto limpo foram classificadas como Pasto sujo (caso analisado na matriz de confusão conforme tabela 4.5). Esta diferença pode-se observada na figura 4.13.

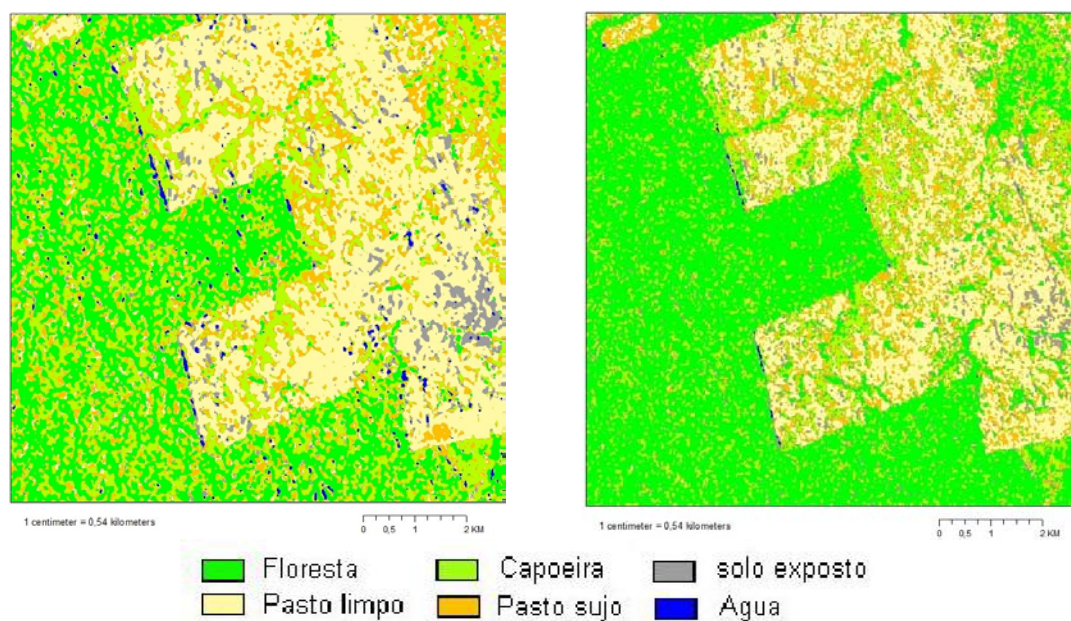


Figura 4.13 – Detalhes das diferenças temáticas entre as classificações MAXVER (esquerda) e *Context* (direita).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em decorrência dos procedimentos metodológicos adotados pode-se concluir:

- a) A classificação contextual (*Context*) apresentou melhor desempenho na classificação dos dados derivados do TerraSAR-X, apresentando um índice *Kappa* de 0.70, superior àquele do algoritmo classificatório MAXVER;
- b) As polarizações dual HH e VV de maneira individualizada, mostraram-se limitadas para separar as diversas classes de uso e cobertura da terra, sendo necessária a inclusão, nos procedimentos metodológicos, de elementos derivados da matriz de covariância como o produto $\langle HH.VV^* \rangle$ e do parâmetro incoerente “Entropia”, derivado da decomposição de alvos de Cloude e Pottier;
- c) Durante o processo da classificação verificou-se que os parâmetros incoerentes da Anisotropia e Ângulo Alfa, bem como a informação de fase relativa contida nos dados TerraSAR-X, não forneceram ganho de informação para melhor distinção das classes temáticas. Assim o conjunto de imagens para obter melhor discriminação temática foram com as componentes A_{HH} , A_{VV} , $\langle A_{HH.VV^*} \rangle$ e H ;
- d) Na análise exploratória dos dados TerraSAR-X foi verificado que as classes Pasto sujo e capoeira tiveram menor separabilidade. Este fato ficou evidenciado na análise dos gráficos *box-plot*, nos valores de distância JM entre classes e confirmados nas matrizes de confusão das classificações, independente do algoritmo utilizado, se pontual ou contextual. A metodologia de coleta de dados em campo, com informações florístico-estruturais da tipologia florestal investigada e os pontos de observação georreferenciados, mostrou-se suficientemente adequada para subsidiar as caracterizações das classes temáticas nas imagens TerraSAR, bem como no desempenho dos respectivos métodos de classificação empregados.

Numa perspectiva de prosseguimento da linha de pesquisa, recomenda-se utilizar dados TerraSAR-X *full* polarimétricos (HH, HV, VH, VV), o que provavelmente permitirá explorar com mais propriedade os diversos atributos coerentes e incoerentes contidos nas imagens-radar, ampliando inclusive o espectro de abordagens exploratórias (por exemplo, da análise das assinaturas polarimétricas das diversas classes). Recomenda-se para futuros trabalhos, o uso do classificador MAXVER-ICM, mais adaptado às estatísticas tradicionais de imagens de radar.

Em suma, os dados TerraSAR-X investigados possuem boa capacidade de discriminação das classes de uso e cobertura da terra nesta porção da Amazônia brasileira, respeitando-se as limitações da imagem utilizadas neste trabalho, modo dual polarimétrico (HH e VV), nível de processamento MGD além da frequência (banda X) e distorções geométricas inerentes ao sistema radar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERGA, V. **Comparison of methods for classification of land cover using polarimetric SAR** 2006. 171p Ph.D. Thesis Tech.Univ. Chemnitz, Chemnitz, Germany. Disponível em: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2004/0125>
- ANDRADE, N. S. O. **Qualidade geométrica de imagens JERS-1 (SAR) e Radarsat (modos S2 e S3) em ambiente de floresta tropical (Rondônia)**. 1999, 204p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1999.
- ANDRADE, N. S. O.; SANTA ROSA, A. N. C.; FARIA, P. C. C. Matrizes de espalhamento utilizadas na polarimetria SAR e o teorema da reciprocidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4783-4790. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.24.00.35>. Acesso em: 12 fev. 2010.
- ASNER, G.P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, p.3855-3862, 2001.
- BRATSOLIS, E. Unsupervised segmentation of agricultural regions using TerraSAR-X Images. In IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE & REMOTE SENSING SYMPOSIUM, IGARSS 2009.Cape Town, Africa. p 416- 419
- CAMERON, W. L.; LEUNG, L. K. Feature motivated polarization scattering matrix decomposition. In: INTERNATIONAL RADAR CONFERENCE, 1990, Arlington, USA. **Proceedings...** New York: IEEE, 1990, p. 549-557.
- CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C. SPOT-4 VEGETATION multi-temporal compositing for land cover change studies over tropical regions. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 7, p. 1323-1346, 2005.
- CLOUDE, S.R. Group theory and polarization algebra. **Optik**, v. 75, n. 1, p. 26-36, 1986.
- CLOUDE, S.R.; POTTIER, E., W. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. **IEEE Trans.on Geoscience and Remote Sensing**, v. 34, n. 2, p. 498-518, 1996.
- CLOUDE, S.R.; POTTIER, E. An entropy based classification scheme for land application of polarimetric SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 1, p. 68-78, 1997.

CLOUDE, S.R. The dual polarization entropy/alpha decomposition: a PALSAR case study. In: POLinSAR WORKSHOP, June 22-26th, 2007, Frascati, Italy. **Abstract Book...** Frascati: ESA, 2007. p.19.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Boca raton, Fl:Taylor & Francis Group, 2008. 201p

CORREIA, A. H. **Projeto, desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos pontuais e contextuais para imagens SAR polarimétricas**. 1998. 271 p. (INPE-7178-TDI/679). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/09.14.14.45>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) . **Previsão climática**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/monitoramento_brasil.shtml>. Acesso em 12 fev., 2010.

DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; LE TOAN, T.; BEAUDOIN, A.; KASISCHKE, E.S.; Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, p. 412–415. 1992

DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; PIERCE, L.E.; SHARICK, T.L.; BERGEN, K.M.; KELLNDORFER, J.; KENDRA, J.R.; LI, E.; LIN, Y.C.; NASHASHBI, A.; SARABANDI, K.; SIQUEIRA, P. Estimation of forest biophysical characteristics in northern Michigan with SIRC/X-SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, p. 877–895. 1995.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA), **Open-source software supports Germany's TerraSAR-X**, Disponível em: <http://www.esa.int/esaCP/SEMDV1T4LZE_index_0.html> Acesso em: 20 jan 2010

FREEMAN, A.; DURDEN, S.L. A three-component scattering model for polarimetric SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 3, p. 963-973, May 1998.

FREITAS, C.C.; SOLER, L.S.; SANT'ANNA S. J. S.; DUTRA, L.V.; SANTOS, J.R.; MURA, J.C.; CORREIA, A.H. Land Use and Land Cover Mapping in the Brazilian Amazon Using Polarimetric Airborne P-Band SAR Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, p. 2956-2970, 2008.

GABOARDI, C. **Utilização de imagem de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós**. 2002. 139 p. (INPE-9612-TDI/842). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2002.

GAMA, F. F.; SANTOS, J. R.; MURA, J. C.; ARAÚJO, R. H. Modelagem de parâmetros biofísicos de povoamentos de *Eucalyptus* através da interferometria e radiometria SAR (bandas X e P). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7265-7273.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação de dados SAR polarimétricos para estimativa volumétrica de florestas tropicais**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 110 p., 2007.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 229-244, 2008.

GONG, P.; HOWARTH, P. J. Frequency-Based Contextual Classification and Gray-Level Vector Reduction for land-use identification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.58, n.4, p:423-437, 1992

GOVERNO DO ESTADO DO ACRE. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II: documento Síntese – Escala 1:250.000**. Rio Branco: SEMA, 2006. 354p.

HELLMANN, M.P. **SAR polarimetry tutorial** (Beta version 0.1a). [2001]. [on line]. Disponível em: <<http://epsilon.nought.de/tutorials/polSMART/index.php>>.

HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar**. 3. ed. USA: John Wiley Sons, 1998. v. 2, 896p.

HOEKMAN, D. H.; QUIÑONES, M. J. Land cover type and biomass classification using AirSAR data for evaluation of monitoring scenarios in the Colombian Amazon. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n.2, p. 685-696, 2000.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p. 301-304, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da Floresta Amazônica por satélite**: Projeto PRODES. Desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais até o ano de 2009. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. 2010.

KASISCHKE, E. S.; MELACK, J. M.; DOBSON, C. M. The use of imaging radars for ecological applications-A review. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n.2, p. 141-156, 1997.

KEY, T.; WARNER, T.A.; MCGRAW, J. B; FAJVAN, M.A.. A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. **Remote Sensing of Environment**, 75, 100–112. 2001

KROGAGER, E. A New Decomposition of the radar target scattering matrix. **Electronic Letter**, v. 26, n. 18, p. 1525-1527, August 1990.

KUX, H. J. H.; SANTOS, J.R; AHERN, F.J.; PEITSCH, R.W.; LACRUZ, M.S.P. Evaluation of Radarsat for land use and land cover dynamics in the southwestern brazilian Amazon, State of Acre. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, 1998, p.350-359

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LE TOAN, T.; PICARD, G.; MARTINEZ, J. M.; MELON, P.; DAVIDSON, M. . On the relationships between radar measurements and forest structure and biomass. Im: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RETRIEVAL OF BIO- AND GEOPHYSICAL PARAMETERS FROM SAR DATA FOR LAND APLLICATIONS, 3., 2002, Sheffield, UK. **Proceedings...** Sheffield: ESA, 2002. P. 3-12. (ESA SP-475).

LEE. J.S.; POTTIER, E. **Polarimetric radar imaging: from basics to application**. 1rd edition. USA.Taylor &Francis, 2009. p398

LEE, J. S.; GRUNES, M. R.; DE GRANDI, G. Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for classification. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 37, n. 5, 1999.

LECKIE, D. G., RANSON, K. J. Forestry applications using imaging radar. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Ed.). **Principles and Applications of Imaging Radar**. New York: John Wiley, 1998. cap. 9, p. 435-509, v.2, ed.3.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze, no sul do Brasil**. 1980, 198p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 1980.

LIM H. S.; MATJAFRI M. Z.; ABDULLAH K.; SALEH N. MOHD. 2008. Analysis of land covers over northern peninsular Malaysia by using ALOS-PALSAR data based on frequency-based contextual and neural network classification technique. In: ALOS PI

2008 SYMPOSIUM.11., 2008., Island of Rhodes, Greece. **Proceedings...** ESA, 2008. ALOS PI 2008 Symposium, 2008b. ISBN. 978-92-9221-228-5.

LORENA, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças**. 2001. 116 p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/04.22.14.15>>. Acesso em: 16 fev. 2010.

LUCKMAN, A.; BAKER, J.; KUPLICH, T. M.; YANASSE, C. C. F.; FRERY, A. A study of the relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. **Remote Sensing of Environment**. n. 60, p.1-13. 1997

MAGURRAN, A. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1988. 179 p.

MORISUTA, M. **Measuring of interspecific association and similarity between communities**. Fukuoka: Memoir Faculty Kyuishy University, Series E3: 65-80. 1959.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, G. H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974. 547 p.

NEEFF, T. ; DUTRA, L. V. ; SANTOS, J. R.; FREITAS, C. C.; ARAUJO, L.S. Power spectrum analysis of SAR data for spatial forest characterization in Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, n.13, p. 2851-2865, 2005.

NEGRI, R. G.; DUTRA, L. V.; FREITAS, C. C.; SCOFIELD, G. B.; SILVA, D. L. A.; ABOUD NETA, S. R. Classificação da cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens polarimétricas em banda L e Máquina de Vetores Suporte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7863-7869. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15959-PRE/10568). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.11.18.20>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

NARVAES, I. S. **Avaliação de dados SAR polarimétricos para estimativa de biomassa em diferentes fitofisionomias de florestas tropicais**. 2010. 190 p. (sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.09.22.43-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3837N9S>>. Acesso em: 25 mar. 2011.

PARADELLA, W.R.; SANTOS, A.R; VENEZIANI, P.; CUNHA, E.S. Radars imageadores nas geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, n.01, p.56-62, 2005.

PITZ, W.; MILLER, D. The TerraSAR-X satellite. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions**. v, 48, n. 2, p. 615-622, 2010.

POPE, K. O.; BENAYAS-REY, J. M.; PARIS, J. F. Radar remote sensing of forest and wetland ecosystems in the Central American tropics. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. 2, p.205-219, 1994.

RANEY, R. K. Radar fundamentals: technical perspective. In: Henderson, F. M.; Lewis, A.J. (eds.), **Principles and applications of imaging radar**. Manual of Remote Sensing. 3. ed. v. 2, New York: John Wiley & Sons, p. 9–130, 1998.

RADAM BRASIL. **Folhas SC.19 Rio Branco**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, v. 17, 1978, 554 p.

RICHARDS, J.A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag. (1999).

RIGNOT, E.; SALAS, W. A.; SKOLE, D. L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and Thematic Mapper data. **Remote Sensing of Environment**. n.59, p.167-179. 1997

RODRIGUES, T.G. **Análise da viabilidade de mapeamento topográfico (escala 1:100.000) na região Amazônica através da integração de informações altimétricas SRTM-3 e planimétrica PALSAR: uma avaliação para a Serra dos Carajás (PA)**. 2010. 163 p. (INPE-16742-TDI/1676). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.

SAATCHI, S.S.; SOARES, J.V.; ALVES, D.S. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C Imagery. **Remote Sensing of Environment**, 59(2), pp. 191-202, 1997

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.2739-2752, 2007

SANTOS, J. R.; LA CRUZ, M. S. P.; ARAÚJO, L. S. Savanna and tropical rainforest biomass estimation using JERS-1 data. **International Journal of Remote Sensing**. n.23, p.1217-1229. 2002

SANTOS, J.R.; FREITAS, C.C.; ARAUJO, L.S.; DUTRA, L.V.; MURA, J.C.; GAMA, F.F.; SOLER, L.S.; SANT'ANNA, S.J.S. Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. **Remote Sensing of Environment**, v.87, n.4, p.482-493, 2003

SANTOS, J. R.; GONÇALVES, F. G.; DUTRA, L. V.; MURA, J. C.; PARADELLA, W. R. Analysis of airborne SAR data (L-band) for discrimination land use/land cover types in the Brazilian Amazon region. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2007, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: IEEE, 2007.

SANTOS, J. R. ; Mura, J.C. ; Paradella, W.R. ; Dutra, L.V. ; Gonçalves, F.G. Mapping recent deforestation in the Brazilian Amazon using simulated L-band MAPSAR images. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p. 4879-4889, 2008.

SANTOS, J. R. ; NARVAES, I.S.; GRAÇA, P. M. L.A.; GONÇALVES, F.G. Polarimetric responses and scattering mechanisms of tropical forests in the Brazilian Amazon. In: Gary Jedlovec (NASA/MSFC-USA). (Org.). **Advances on geoscience and remote sensing**. 1a. ed. Vukovar, Croatia: IN-TECH, 2009, v. 8, p. 183-206.

SANTOS, P. R. A.; OLIVEIRA, L. M. T. Unidades de conservação federais do Estado do Acre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2895 - 2900. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.11.00>>. Acesso em: 16 fev. 2010.

SCHMULLIUS, C.; RIEDEL, T. Application potential of future TerraSAR-X for land/cover mapping and vegetation parameter retrieval. In: TerraSAR-X SCIENCE TEAM MEETING. 2004, Oberpfaffenhofen. **Proceedings...** Oberpfaffenhofen: DLR and Infoterra, 2004.

SCOFIELD, G. B.; DUTRA, L. V.; SILVA, D. L. A.; NEGRI, R. G.; ABOUD NETA, S. R.; FREITAS, C. C. Mapeamento da cobertura da terra na Floresta Nacional de Tapajós - PA utilizando imagem de coerência polarimétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6227-6232. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-16026-PRE/10635). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.27>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

SERVELLO, E. L.; KUPLICH, T. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANO, E. E. Imagens polarimétricas RADARSAT-2 na discriminação de coberturas da terra na Floresta Nacional do Tapajós. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7465-7472. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-16027-PRE/10636). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.40.55>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

SHIMABUKURO, Y. E; AMARAL, S; AHERN, F. J.; PIETSCH, R. W. Land cover classification from Radarsat data of the Tapajós National Forest, Brazil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, 1998.

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

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**: the principles and practice of numerical classification. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1973. 573 p.

TANASE, M.; SANTORO, M.; RIVA, J.D.L.; PEREZ-CABELLO, F. Backscatter properties of multitemporal TerraSAR-X data and the effects of influencing factors on burn severity evaluation, in a Mediterranean Pine Forest. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE & REMOTE SENSING SYMPOSIUM, IGARSS 2009, 2009, Cape Town. **Proceedings...** Cape Town, Africa, 2009. P. 593-506.

ULABY, F. T.; ELACHI, C. **Radar polarimetry for geoscience applications**. London: Artech House, 1990. 364 p.

VAN DER SANDEN, J. J., HOEKMAN, D. H. Potential of airborne radar to support the assessment of land cover in a tropical rain forest environment. **Remote Sensing of Environment**. n.68, p.26-40. 1999

VAN NIEL, T. G., MCVICAR, T. R.; DATT, B. On the relationship between training sample size and data dimensionality: Monte Carlo analysis of broadband multi-temporal classification. **Remote Sensing of Environment**, 98, 468–480.2005

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C.; TOLEDO, P. M. Estratégias para evitar a perda biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 153-164, 2005.

VIEIRA, P. R. **Desenvolvimento de classificadores de máxima verossimilhança e ICM para imagens SAR**, 1996, 251 p. (INPE – 6124 – TDI/585). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1996.

WARING, R. H., WAY, J., HUNT Jr., E. R., MORRISSEY, L., RANSON, K. J., WEISHAMPEL, J. F., OREM, R., FRANKLIN, S. E. Imaging radar for ecosystems studies. **BioScience**.n.45, p.715-723, 1995.

WERNINGHAUS, R. BUCKREUSS, S. The TerraSAR-X mission and system design, **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions** . v.48, n.2, p. 606-614, 2010.

APÊNDICE A

Tabela A1. Famílias botânicas identificadas, estando listadas por número de indivíduos presentes na amostragem inventariada.

Família	Núm. Indivíduos	% Total
Euphorbiaceae	164	15,65
Moraceae	135	12,88
Cecropiaceae	74	7,06
Lecythidaceae	74	7,06
Sapotaceae	69	6,58
Arecaceae	48	4,58
Annonaceae	36	3,44
Olacaceae	29	2,77
Fabaceae	28	2,67
Lauraceae	27	2,58
Bombacaceae	26	2,48
Euphroniaceae	25	2,39
Myristicaceae	23	2,19
Burseraceae	22	2,1
Mimosaceae	22	2,1
Sapindaceae	21	2
Caesalpiniaceae	19	1,81
Chrysobalanaceae	17	1,62
Flacourtiaceae	15	1,43
Rubiaceae	13	1,24
Tiliaceae	13	1,24
Bilaceae	12	1,15
Memecylaceae	11	1,05
Meliaceae	10	0,95
Apocynaceae	9	0,86
Boraginaceae	9	0,86
Caricaceae	9	0,86
Nyctaginaceae	9	0,86
Violaceae	9	0,86
Clusiaceae	7	0,67
Rutaceae	7	0,67
Caryocaraceae	6	0,57
Salicaceae	6	0,57
Vochysiaceae	6	0,57
Anacardiaceae	4	0,38
Melastomataceae	4	0,38
Myrtaceae	4	0,38
Sterculiaceae	4	0,38
Ulmaceae	4	0,38
(continua)		

Tabela A1 - Conclusão

Família	Núm. Indivíduos	% Total
Solanaceae	3	0,29
Bignoniaceae	2	0,19
Malvaceae	2	0,19
Opiliaceae	2	0,19
Polygonaceae	2	0,19
Simaroubaceae	2	0,19
Araliaceae	1	0,1
Combretaceae	1	0,1
Lythraceae	1	0,1
Poaceae	1	0,1
Não identificada	1	0,1

Tabela A2 - Relação das espécies arbóreas inventariadas nas 12 parcelas, com o respectivo número de indivíduos (N), densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) , índice do valor de importância (IVI) e relativo (IVI%), por ordem alfabética de famílias e em ordem decrescente de IVI.

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,01	0,06	0,409	0,14
<i>Agonandra silvatica</i> Ducke	2	0,833	0,19	8,33	0,26	0,037	0,21	0,663	0,22
<i>Allophylus</i> sp.	2	0,833	0,19	8,33	0,26	0,007	0,04	0,492	0,16
<i>Alseis</i> sp.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,012	0,07	0,422	0,14
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	7	2,917	0,67	41,67	1,29	0,059	0,34	2,298	0,77
<i>Ampelocera</i> sp.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,02	0,12	0,47	0,16
<i>Anadenanthera colubrina</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,006	0,04	0,389	0,13
<i>Aniba canelilla</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Mez	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,005	0,03	0,381	0,13
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth	13	5,417	1,24	25	0,77	0,099	0,57	2,588	0,86
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr. var. molar	4	1,667	0,38	25	0,77	0,034	0,2	1,355	0,45
<i>Aspidosperma auriulatum</i>	3	1,25	0,29	25	0,77	0,051	0,3	1,355	0,45
<i>Aspidosperma vargasii</i> A. DC.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,042	0,24	0,595	0,2
<i>Astrocaryum</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,027	0,16	0,863	0,29
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,037	0,21	0,919	0,31
<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,182	1,05	1,408	0,47
<i>Banara nitida</i> Spruce ex Benth.	15	6,25	1,43	25	0,77	0,13	0,75	2,959	0,99
<i>Bellucia</i> sp.	3	1,25	0,29	8,33	0,26	0,051	0,3	0,842	0,28
<i>Bertholletia excelsa</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,163	0,95	1,302	0,43
<i>Bertholletia excelsa</i> h	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,118	0,69	1,041	0,35
<i>Bixa urucurana</i> Willd.	12	5	1,15	41,67	1,29	0,199	1,16	3,591	1,2
<i>Bombacopsis paraensis</i> (Ducke) A. Robyns	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,029	0,17	0,52	0,17

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Bowdichia sp.</i>	6	2,5	0,57	16,67	0,52	0,093	0,54	1,627	0,54
<i>Bowdichia virgilioides</i>	15	6,25	1,43	58,33	1,8	0,181	1,05	4,285	1,43
<i>Brosimum lactescens (S. Moore) C. C. Berg</i>	22	9,167	2,1	66,67	2,06	0,513	2,98	7,143	2,38
<i>Calycophyllum</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,007	0,04	0,396	0,13
<i>Capirona decorticans Spruce</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,036	0,21	0,916	0,31
<i>Caryocar sp.</i>	4	1,667	0,38	25	0,77	0,834	4,85	6,003	2
<i>Caryocar villosum (Aubl.) Pers.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,02	0,11	0,821	0,27
<i>Caryodendron sp.</i>	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,154	0,89	1,696	0,57
<i>Casearia gossypiosperma Briq.</i>	6	2,5	0,57	25	0,77	0,049	0,29	1,633	0,54
<i>Castilla ulei Warb.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,095	0,55	1,257	0,42
<i>Cathedra sp</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,022	0,13	0,835	0,28
<i>Cecropia hololeuca Miq.</i>	51	21,25	4,87	66,67	2,06	0,544	3,16	10,089	3,36
<i>Cecropia leucocoma Miq.</i>	18	7,5	1,72	8,33	0,26	0,149	0,86	2,84	0,95
<i>Cedrela odorata L.</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,175	1,02	1,372	0,46
<i>Cedrela sp.</i>	2	0,833	0,19	8,33	0,26	0,016	0,09	0,539	0,18
<i>Celtis schippii Trel. ex Standl.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,014	0,08	0,787	0,26
<i>Chorsia speciosa St. Hill</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,025	0,14	0,496	0,17
<i>Clarisea sp.</i>	7	2,917	0,67	25	0,77	0,064	0,37	1,812	0,6
<i>Clarisia racemosa Ruiz & Pav</i>	12	5	1,15	58,33	1,8	0,359	2,08	5,034	1,68
<i>Coccoloba mollis Casar.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,067	0,39	1,098	0,37
<i>Copaifera sp</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,012	0,07	0,42	0,14
<i>Cordia ripicola Johnst.</i>	9	3,75	0,86	50	1,55	0,089	0,52	2,924	0,97
<i>Couratari macrosperma A. C. Sm.</i>	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,086	0,5	1,298	0,43
<i>Dialium guianense (Aubl.) Sandwithroca</i>	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,026	0,15	0,951	0,32
<i>Diniceaeim amargoso</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,069	0,4	1,109	0,37
<i>Diniceaeim sp</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,058	0,34	0,689	0,23
<i>Drypetes sp.</i>	17	7,083	1,62	58,33	1,8	0,254	1,47	4,9	1,63

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Duguetia spixiana</i> Mart.	4	1,667	0,38	25	0,77	0,032	0,19	1,343	0,45
<i>Eschweilera andina</i> (Rusby) J. F. Macbr.	5	2,083	0,48	16,67	0,52	0,103	0,6	1,593	0,53
<i>Eschweilera</i> sp.	36	15	3,44	41,67	1,29	0,982	5,7	10,428	3,48
<i>Eugenia feijoi</i> O. Berg	4	1,667	0,38	16,67	0,52	0,019	0,11	1,008	0,34
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	29	12,083	2,77	58,33	1,8	0,266	1,54	6,115	2,04
<i>Faramea tamberlikiana</i> Müll. Arg.	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,081	0,47	1,178	0,39
<i>Ficus insipida</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,058	0,34	0,689	0,23
<i>Ficus</i> sp.	22	9,167	2,1	75	2,32	0,185	1,08	5,494	1,83
<i>Garcinia macrophylla</i> Mart.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,006	0,03	0,386	0,13
<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	3	1,25	0,29	25	0,77	0,189	1,1	2,158	0,72
<i>Guarea</i> sp.	5	2,083	0,48	33,33	1,03	0,05	0,29	1,8	0,6
<i>Heisteria acuminata</i> (Bonpl.) Engl.	6	2,5	0,57	33,33	1,03	0,091	0,53	2,133	0,71
<i>Hevea guianensis</i>	11	4,583	1,05	33,33	1,03	0,217	1,26	3,338	1,11
<i>Horerea</i> sp.	25	10,417	2,39	25	0,77	0,13	0,76	3,916	1,31
<i>Hymenaea</i>	3	1,25	0,29	25	0,77	0,115	0,67	1,73	0,58
<i>Inga Alba</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,024	0,14	0,492	0,16
<i>Inga</i> sp.	12	5	1,15	50	1,55	0,158	0,92	3,609	1,2
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb	4	1,667	0,38	33,33	1,03	0,047	0,27	1,685	0,56
<i>Jacaranda</i> sp.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,082	0,47	0,828	0,28
<i>Jacaratia digitata</i> (Poepp. & Endl.) Solms	9	3,75	0,86	8,33	0,26	0,167	0,97	2,087	0,7
<i>Lafoensia Vandelli</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,007	0,04	0,392	0,13
<i>Lecythis retusa</i> sp.	4	1,667	0,38	16,67	0,52	0,075	0,44	1,334	0,44
<i>Lecythis</i> sp.	25	10,417	2,39	50	1,55	0,823	4,78	8,713	2,9
<i>Leonia glycyarpa</i> Ruiz & Pav. var. <i>racemosa</i> (Mart	4	1,667	0,38	16,67	0,52	0,025	0,14	1,041	0,35
<i>Licania miltonii</i> Prance	17	7,083	1,62	66,67	2,06	0,271	1,58	5,26	1,75
<i>Mabea anadena</i> Pax & K. Hoffm.	108	45	10,31	41,67	1,29	0,992	5,76	17,355	5,78
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud. subsp. <i>Tinctoria</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,055	0,32	0,674	0,22

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Matisia bicolor</i> Ducke	15	6,25	1,43	50	1,55	0,219	1,27	4,25	1,42
<i>Metrodorea flavida</i> K. Krauseá	3	1,25	0,29	25	0,77	0,048	0,28	1,339	0,45
<i>Mezilaurus</i> spp	5	2,083	0,48	41,67	1,29	0,048	0,28	2,046	0,68
<i>Miconia</i> Sp.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,01	0,06	0,409	0,14
<i>Micrantha</i> sp.	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,035	0,21	1,008	0,34
<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	21	8,75	2	58,33	1,8	0,161	0,94	4,745	1,58
<i>Mouriri</i> sp.	11	4,583	1,05	33,33	1,03	0,15	0,87	2,954	0,98
<i>Naucleopsis pseudonaga</i> (Mildbr.) C. C. Berg	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,034	0,2	0,904	0,3
<i>Naucleopsis</i> sp.	36	15	3,44	50	1,55	0,334	1,94	6,921	2,31
<i>Nectandra</i> sp.	18	7,5	1,72	58,33	1,8	0,28	1,63	5,148	1,72
<i>Neea parviflora</i> Poepp. & Endl.	9	3,75	0,86	50	1,55	0,095	0,55	2,959	0,99
Não identificada	6	2,5	0,57	33,33	1,03	0,088	0,51	2,114	0,7
Não identificada	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,042	0,25	0,599	0,2
Não identificada	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,007	0,04	0,394	0,13
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	8	3,333	0,76	16,67	0,52	0,103	0,6	1,878	0,63
<i>Ocotea</i> sp.	3	1,25	0,29	25	0,77	0,053	0,31	1,367	0,46
<i>Oenocarpus bataua</i>	16	6,667	1,53	50	1,55	0,197	1,15	4,219	1,41
<i>Olyra latifolia</i> L.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,027	0,16	0,513	0,17
<i>Onychopetalum</i> Sp	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,025	0,14	0,85	0,28
<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A. H. Gentry	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,044	0,25	1,055	0,35
<i>Parkia nitida</i> Miq.	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,018	0,11	0,813	0,27
<i>Perebea mollis</i> (Poepp. & Endl.) Huber subsp. moll	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,02	0,12	0,823	0,27
<i>Poeppigia procera</i> C. Presl	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,037	0,22	0,57	0,19
<i>Pourouma cecropiifolia</i> Mart.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,022	0,13	0,48	0,16
<i>Pourouma</i> sp	4	1,667	0,38	33,33	1,03	0,178	1,03	2,444	0,81
<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	2	0,833	0,19	8,33	0,26	0,066	0,38	0,831	0,28
<i>Pouteria</i> sp.	61	25,417	5,82	66,67	2,06	1,093	6,35	14,233	4,74

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Protium sp.</i>	14	5,833	1,34	66,67	2,06	0,169	0,98	4,379	1,46
<i>Pseudobombax sp.</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,005	0,03	0,381	0,13
<i>Pseudolmedia laevis (Ruiz & Pav.) J. F. Macbr.</i>	28	11,667	2,67	58,33	1,8	0,527	3,06	7,539	2,51
<i>Pterocarpus sp.</i>	3	1,25	0,29	25	0,77	0,033	0,19	1,248	0,42
<i>Qualea dinizii Ducke</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,009	0,05	0,405	0,14
<i>Qualea sp.</i>	5	2,083	0,48	16,67	0,52	0,046	0,27	1,258	0,42
<i>Quararibea guianensis Aubl.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,011	0,07	0,772	0,26
<i>Rinorea sp.</i>	5	2,083	0,48	33,33	1,03	0,023	0,13	1,641	0,55
<i>Sapindus sp.</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,066	0,38	0,736	0,25
<i>Sapium leitera Gleason</i>	17	7,083	1,62	16,67	0,52	0,371	2,16	4,293	1,43
<i>Schefflera morototoni (Aubl.) Maguire, Steyer. &</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,016	0,09	0,445	0,15
<i>Sclerolobium sp.,</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,01	0,06	0,765	0,26
<i>Senna sylvestris (Vell.) H. S. Irwin & Barneby va</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,005	0,03	0,384	0,13
<i>Simarouba amara Aubl.</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,024	0,14	0,846	0,28
<i>Solanum quaesitum C. V. Morton</i>	3	1,25	0,29	16,67	0,52	0,013	0,08	0,878	0,29
<i>Stryphnodendron sp.</i>	6	2,5	0,57	16,67	0,52	0,073	0,42	1,512	0,5
<i>Symphonia sp.</i>	6	2,5	0,57	16,67	0,52	0,094	0,55	1,633	0,54
<i>Tabebuia serratifolia (Vahl) G. Nicholson</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,005	0,03	0,381	0,13
<i>Tabebuia serratifolia (Vahl) Nichol</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,066	0,38	0,736	0,25
<i>Tabernaemontana heterophylla Vahl</i>	5	2,083	0,48	25	0,77	0,138	0,8	2,053	0,68
<i>Tachigali sp.</i>	4	1,667	0,38	16,67	0,52	0,14	0,81	1,709	0,57
<i>Talisia sp.</i>	18	7,5	1,72	41,67	1,29	0,169	0,98	3,991	1,33
<i>Tapirira guianensis Aubl</i>	2	0,833	0,19	16,67	0,52	0,083	0,48	1,188	0,4
<i>Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Steud.</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,011	0,06	0,416	0,14
<i>Tetragastris altissima (Aubl.) Swart</i>	7	2,917	0,67	25	0,77	0,234	1,36	2,801	0,93
<i>Theobroma grandiflorum (Wild. ex Spring) Schum</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,008	0,05	0,399	0,13
<i>Theobroma sp.</i>	3	1,25	0,29	8,33	0,26	0,048	0,28	0,822	0,27

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	IVI (%)
<i>Torresea acreana</i> Ducke	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,003	0,02	0,372	0,12
<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth subsp. <i>Quadrijuga</i>	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,006	0,03	0,387	0,13
<i>Trichilia</i> sp.	1	0,417	0,1	8,33	0,26	0,008	0,05	0,401	0,13
<i>Unonopsis</i> Sp.	11	4,583	1,05	50	1,55	0,095	0,55	3,148	1,05
<i>Virola surinamensis</i> (Rol.) Warb.	16	6,667	1,53	50	1,55	0,283	1,65	4,718	1,57
<i>Xylopia</i> sp	19	7,917	1,81	58,33	1,8	0,358	2,08	5,695	1,9
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	4	1,667	0,38	16,67	0,52	0,051	0,3	1,193	0,4
Total	1048	436,667	100	3233,33	100	17,214	100	300	100