

MARIA CLARA FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE VEGETAÇÃO E SEUS  
PADRÕES EM IMAGEM DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE  
MORRO DO CHAPÉU, BAHIA, BRASIL**

FEIRA DE SANTANA – BAHIA

2006



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA**

**CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE VEGETAÇÃO E SEUS  
PADRÕES EM IMAGEM DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE  
MORRO DO CHAPÉU, BAHIA, BRASIL**

**MARIA CLARA FERREIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de *Mestre em Botânica*.

**ORIENTADOR: PROF. DR. WASHINGTON DE JESUS SANT'ANNA DA FRANCA  
ROCHA (UEFS)**

**CO-ORIENTADOR: PROF. DR. LUCIANO PAGANUCCI DE QUEIROZ (UEFS)**

**FEIRA DE SANTANA – BA**  
**2006**

*A DEUS por sua onipresença.  
Aos meus pais pela permissão da vinda.  
A Davi que entendeu ou não, minha constante ausente presença.  
A minha família, por fazer parte dela.  
A todos que um dia ou sempre estiveram comigo.*

## AGRADECIMENTOS

A Unidade Estadual de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (DIGEO1-NE1/BGE).

A FAPESB pelo apoio financeiro a este projeto (Processo nº 143104004226).

Ao Prof. Dr. Washington meu orientador, meu muito obrigada.

Àqueles que me estimularam a retornar à Universidade: Adilva, Dra. Ana Giulietti, Ana Rodarte, André Maurício – *in memorian*, Bete Brocki, Chirs, Ciça, Cris, Efigênia, Fábio Bandeira, Jorge, Dr. Luciano Paganucci, Rose, Tati, Valdir e Valdira, a minha gratidão.

A turma do IBGE pelo apoio sempre que precisei. A Helge especialmente. A Selma, Lílian e Carlos Augusto pelos “socorros” sempre. A Brandão, Coppieters, Estácio, Gerusa, Hilda, Margô, Norma, Perpétua, R. Coeli, Roberval, Washington.

Ao Prof. Geraldo C. P. Pinto pelos ensinamentos, incentivos, apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis pela confiança e amizade.

A Jucimara por todo apoio, valeu amiga.

A Adilva pelo apoio, atenção e cuidado, pela presença constante.

Aos amigos e colegas da Pós-Graduação em Botânica da UEFS que em algum momento dessa jornada estiveram presentes: Andréia, Ciça, Cris, Ivanilza, Jomar, Jorge, Lia, Márcia, Marlon, Maria, Paulo Cezar e Sérgio. Há atitudes que nunca serão esquecidas, você Tati, foi protagonista de uma.

A Lenise, Tânia Jost e Teo nos Herbários.

A Aloísio e Tadeu da SEMAR em Morro do Chapéu.

Ao Dr. Larry Noblick pela presteza na identificação da *Attalea seabrensis*.

A Adriana e Gardênia na Pós-Graduação e a Rejane e Neusa na biblioteca.

A Lena e Mima pelo apoio nos cuidados com o Davi.

Aos meus MESTRES em várias etapas da vida: Luzia, Nita, Marli, Galvão, Álvaro (*in memorian*), N. Rizzi, J. Henrique e Roldão exemplos para minha formação.

Especialmente ao Irmão Delmar, que em Morro do Chapéu esteve sempre pronto a nos ajudar, meu muito obrigada.

Aos amigos que esqueci e não deveria, peço perdão e minha gratidão.

A Valdir por tudo e sempre, o meu maior Amor e

A **DEUS** por tudo permitir.

## ABREVIATURAS E SIGLAS

DN - *Digital number* = NC

C-BERS - Satélite Sino-brasileiro de recursos terrestres

ENVI - *Environment Visualizing for Images*

GPS - *Global Positioning System*

IHS - *Intensity Hue Saturation* (Intensidade, Matiz, Saturação)

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISODADA - *Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques Algorithm*

MAXVER - Máxima Verossimilhança

MLME - Modelo Linear de Mistura Espectral

NC - nível de cinza

NDVI - (*Normalized Difference Vegetation Index*) Índice de vegetação da diferença normalizada

NIR=IVP - (*Near infrared*) infra vermelho próximo

PDI - Processamento digital de imagens

PRODES - Projeto de levantamento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal

RGB - Red-Green-Blue

ROIS - Regiões de interesse

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas

SR - Sensoriamento remoto

VIS - Visível

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Espectro eletromagnético.....	19
Figura 2.2	Curva de reflectância típica de uma folha verde sadia na faixa ótica do espectro eletromagnético.....	21
Figura 2.3	Esquema da assinatura espectral da folha.....	22
Figura 2.4	Esquema representativo do <i>pixel</i> misto.....	31
Figura 3.1	Localização do município de Morro do Chapéu.....	37
Figura 4.1	Pontos de coletas de material botânico dos Herbários ALCB, HRB e HUEFS.....	61
Figura 4.2	Comportamento espectral médio de todas as classes.....	63
Figura 4.3	Aspecto geral da Savana .....	65
Figura 4.4	Comportamento espectral da classe Savana .....	66
Figura 4.5	Pecuária extensiva na Savana Estépica.....	67
Figura 4.6	Aspecto geral da Savana Estépica.....	68
Figura 4.7	Comportamento espectral da classe Savana Estépica.....	69
Figura 4.8	Aspecto geral da Savana Estépica .....	69
	Comportamento espectral da classe Savana Estépica	
Figura 4.9	Florestada II.....	70
Figura 4.10	Aspecto geral da Savana Estépica Arborizada.....	71
Figura 4.11	Comportamento espectral da classe Savana Estépica Arborizada.....	72
Figura 4.12	Comportamento espectral da classe Savana Estépica Arborizada II.....	73
Figura 4.13	Aspecto geral da Floresta da Sibra.....	73
Figura 4.14	Aspecto florestal no centro do município.....	74
Figura 4.15	Atividade de carvoejamento na floresta.....	75
Figura 4.16	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman.....	75
Figura 4.17	Comportamento espectral da classe floresta.....	76
Figura 4.18	Aspecto do Refúgio Ecológico Montano.....	77
Figura 4.19	Comportamento espectral da classe Refúgio Ecológico Montano.....	79
Figura 4.20	Comportamento espectral do contato Savana/Savana Estépica	80

Figura 4.21	Comportamento espectral contato Savana/Refúgio Ecológico....	81
Figura 4.22	Comportamento espectral do contato Savana/Savana Estépica/Refúgio Ecológico.....	82
Figura 4.23	Comportamento espectral da classe agricultura.....	83
Figura 4.24	Comportamento espectral da classe agropecuária.....	84
Figura 4.25	Comportamento espectral da classe nuvem.....	85
Figura 4.26	Comportamento espectral da classe sombra.....	86
Figura 4.27	Imagem NDVI.....	99
Figura 4.28	Imagem MLME R-solo/G-vegetação/B-sombra.....	100
Figura 4.29	MLME: A – fração vegetação.....	101
	B - fração solo.....	102
	C - fração sombra.....	103
Figura 4.30	A – Segmentação (área antrópica).....	104
	B – Segmentação (Floresta).....	105
	C – Segmentação (Refúgio).....	105
	D – Segmentação (Savana Estépica).....	105
Figura 4.31	Composição colorida R5G4B3.....	107
Figura 4.32	Imagem classificada MaxVer.....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características de satélites e sensores para estudos de recursos naturais.....	14
Tabela 2.2	Resolução espectral do sensor ETM+/Landsat 7 e TM/Landsat 5.....	19
Tabela 2.3	Principais índices de vegetação.....	30
Tabela 3.1	Dados pluviométricos mensais (mm) da estação meteorológica de Morro do Chapéu - 2001 e 2002.....	50
Tabela 3.2	Parâmetros de avaliação do coeficiente Kappa.....	58
Tabela 4.1	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Savana.....	66
Tabela 4.2	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Savana Estépica Florestada II.....	69
Tabela 4.3	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Savana Estépica Arborizada II.....	70
Tabela 4.4	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Savana Estépica Arborizada.....	72
Tabela 4.5	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Savana Estépica Arborizada II.....	72
Tabela 4.6	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da Floresta Estacional semidecidual.....	76
Tabela 4.7	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral do Refúgio Ecológico Montano.....	78
Tabela 4.8	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral do contato Savana/Savana Estépica.....	80
Tabela 4.9	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral do contato Savana/Refúgio Ecológico.....	81
Tabela 4.10	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral do contato Savana/Savana Estépica/Refúgio Ecológico.....	81
Tabela 4.11	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da agricultura.....	83
Tabela 4.12	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da	83



	agropecuária.....	
Tabela 4.13	Parâmetros estatísticos do comportamento estatísticos do comportamento espectral da nuvem.....	84
Tabela 4.14	Parâmetros estatísticos do comportamento espectral da classe sombra.....	85
Tabela 4.15	Índice de separabilidade da Savana (Cerrado).....	87
Tabela 4.16	Índice de separabilidade da Savana Estépica Florestada (Caatinga arbórea).....	87
Tabela 4.17	Índice de separabilidade da Savana Estépica Florestada (Caatinga arbórea II).....	88
Tabela 4.18	Índice de separabilidade da Savana Estépica Arborizada (Caatinga arbustiva).....	89
Tabela 4.19	Índice de separabilidade da Savana Estépica Arborizada (Caatinga arbustiva II).....	89
Tabela 4.20	Índice de separabilidade da Floresta Estacional Semidecidual.....	90
Tabela 4.21	Índice de separabilidade do Refúgio Ecológico.....	91
Tabela 4.22	Índice de separabilidade do contato Savana/Savana Estépica.....	91
Tabela 4.23	Índice de separabilidade do contato Savana/Refúgio Ecológico.....	92
Tabela 4.24	Índice de separabilidade do contato Savana/Savana Estépica/Refúgio Ecológico.....	92
Tabela 4.25	Índice de separabilidade da agricultura.....	93
Tabela 4.26	Índice de separabilidade da agropecuária.....	93
Tabela 4.27	Índice de separabilidade da nuvem.....	94
Tabela 4.28	Índice de separabilidade da sombra.....	94
Tabela 4.29	Índice de separabilidade dos pares de classe.....	95
Tabela 4.30	Matriz de confusão – pixels.....	109
Tabela 4.31	Matriz de confusão – porcentagem.....	110
Tabela 4.32	Erros de inclusão e omissão.....	112
Tabela 4.33	Exatidão da classificação.....	112

## **ABSTRACT**

(CHARACTERIZATION OF VEGETATION TYPES OF MORRO DO CHAPÉU, BAHIA, AND THEIR SPECTRAL PATTERNS IN SATELLITE IMAGES). THE AIM OF THE RESEARCH WAS TO CHARACTERIZE THE SPECTRAL PATTERNS OF THE VEGETATION TYPES OF MORRO DO CHAPÉU MUNICIPALITY AREA IN BAHIA, BRAZIL, BASED ON LANDSAT7 ETM+ SATELLITE IMAGERY. THE SEMI-ARID REGION COMPRISES DIFFERENT LANDSCAPES MODELED BY LOCAL CLIMATIC AND PHYSIOGRAPHIC FACTORS. IN THE 5,531 KM<sup>2</sup> OF MORRO DO CHAPÉU AREA, DUE TO ITS PECULIARITIES OF ALTITUDE AND CLIMATE, THE MOST IMPORTANT TYPES OF NORTHEASTERN VEGETATION ARE FOUND: FOREST, CAATINGA, CERRADO, RUPESTRE FIELDS AND ECOTONES OF THESE VEGETATION TYPES. CONSIDERING ALL THESE ASPECTS THE AREA WAS SELECTED FOR A RESEARCH ON VEGETATION PATTERN RECOGNITION, WHICH WAS BASED ON THE DIGITAL IMAGE TECHNIQUES AVAILABLE ON ENVI VERSION 3.5 AND SPRING VERSION 4.0 AND 4.2 SOFTWARES. VEGETATION INDEX, SPECTRAL LINEAR MIXTURE MODEL, SEGMENTATION AND SUPERVISED CLASSIFICATION WERE THE MOST IMPORTANT DATA MANIPULATION TECHNIQUES. BASED ON THE SEPARABILITY OF THE SPECTRAL PATTERNS OF THE VEGETATION TYPES 14 CLASSES OF INTEREST WERE DEFINED AND USED FOR SUPERVISED CLASSIFICATION. THE MAXIMUM LIKELIHOOD TECHNIQUE SHOWED THE BEST PERFORMANCE. THE ASSESSMENT OF THE CLASSIFICATION RESULTS BASED ON THE CONFUSION MATRIX SHOWED THAT, IN SPITE OF THE HETEROGENEITY OF THE VEGETATION DUE IN SOME EXTENT TO DEGRADATION BY HUMAN ACTIVITIES, SOME CLASSES SHOWED EXCELLENT ACCURACY. THE ACCURACY WAS LOW ONLY FOR THE CLASSES FORMED BY ECOTONES, BUT THE GENERAL ASSESSMENT BASED ON THE KAPPA COEFFICIENT WAS CONSIDERED GOOD.

Key-Words : Vegetation, Remote Sensing, Spectral Pattern, Morro Do Chapéu.

## RESUMO

O município de Morro do Chapéu, Bahia, situado na parte setentrional da Chapada Diamantina, região denominada Piemonte da Diamantina, é um dos locais onde as características semi-áridas se manifestam de forma diferente. A altitude varia de 480 m a 1.293 m; domina no município o clima tropical de altitude com média das temperaturas baixa e amplitude térmica diária alta. Dentro do seu território de 5.531 km<sup>2</sup>, são encontrados os principais tipos de vegetação que ocorrem no Nordeste: Floresta, Savana Estépica (caatingas), Savana (cerrados), Refúgio Ecológico (campos rupestres) e ecótonos desses tipos de vegetação. Para caracterizar os padrões espectrais das imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 associados aos tipos de vegetação do município de Morro do Chapéu, Bahia, Brasil foi utilizada a tecnologia de processamento digital de imagens (PDI) que só recentemente passou a integrar a rotina das pesquisas de recursos naturais. Inicialmente as imagens obtidas através do sensoriamento remoto (RADAR e óptico) eram interpretadas de forma analógica, com o advento das técnicas de PDI é possível extrair e processar as informações das imagens de forma mais rápida e eficiente. Nesta pesquisa foram usadas as seguintes técnicas: Modelo linear de mistura espectral (MLME), Segmentação, Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e Classificação supervisionada disponíveis no ENVI versão 3.5 e no SPRING versão 4.0 e 4.2. Foram testados alguns métodos de classificação supervisionada e escolhido o método MaxVer por ter apresentado melhor desempenho na classificação. Foram definidas 14 classes de cobertura do solo considerando o grau de separabilidade entre elas. A acurácia da classificação foi testada pelo coeficiente Kappa que apresentou valor de 0.7808 considerado muito bom. O padrão da Floresta e da Savana Estépica apresentaram boa separabilidade, enquanto isso, ocorre o contrário com a separação dos padrões das áreas de Tensão Ecológica, Savana e Refúgio Ecológico.

Palavras chave: vegetação, sensoriamento remoto, padrões espectrais, Morro do Chapéu.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1	MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU – HISTÓRICO.....	4
2.2	VEGETAÇÃO.....	5
2.2.1	VEGETAÇÃO DE MORRO DO CHAPÉU.....	5
2.2.2	Mapeamentos.....	6
2.2.3	Sistemas de classificação da vegetação brasileira.....	7
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO.....	12
2.3.1	HISTÓRICO.....	13
2.3.2	SISTEMA SENSOR.....	17
2.3.2.1	Tipos de sensores .....	17
2.3.2.2	SENSOR ÓPTICO.....	18
2.3.2.3	SATÉLITES DO SISTEMA LANDSAT.....	18
2.3.3	ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	19
2.3.3.1	Comportamento espectral dos alvos na faixa óptica.....	20
2.3.3.2	Comportamento espectral da vegetação.....	20
2.4	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI).....	23
2.4.1	TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO.....	24
2.4.1.1	Correção geométrica.....	24
2.4.1.2	Registro de imagens.....	25
2.4.1.3	Correção radiométrica.....	27
2.4.1.4	Correção atmosférica.....	28
2.4.1.5	Mosaico de imagens.....	28
2.4.2	TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO FASE II.....	29
2.4.2.1	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO .....	29
2.4.2.2	MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL (MLME) .....	31
2.4.2.3	SEGMENTAÇÃO.....	32
2.4.2.4	CLASSIFICAÇÃO.....	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	37

3.1.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	38
3.1.2	Aspectos fisiográficos.....	39
3.1.2.1	Geologia.....	39
3.1.2.2	Geomorfologia.....	40
3.1.2.3	Pedologia.....	42
3.1.2.4	Vegetação.....	43
3.2.	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	48
3.2.1	IMAGENS ORBITAIS.....	49
3.2.2	Material cartográfico e temático.....	49
3.2.3	Dados pluviométricos.....	50
3.2.4	Sistemas de processamento de imagens (software).....	50
3.2.5	Equipamentos complementares.....	51
3.3	METODOLOGIA.....	51
3.3.1	SELEÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS E ÁREAS DE TREINO.....	51
3.3.1.1	Seleção prévia das áreas.....	51
3.3.1.2	Coleta de dados nas unidades amostrais.....	52
3.3.2	Processamento das imagens.....	52
3.3.2.1	Técnicas de pré-processamento.....	52
3.3.2.1.1	Correção geométrica.....	52
3.3.2.1.2	Atenuação dos efeitos da atmosfera.....	53
3.3.2.1.3	EQUALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA.....	53
3.3.2.1.4	MOSAICO.....	54
3.3.2.1.5	Seleção das bandas.....	55
3.3.2.2	Processamento das imagens – fase II.....	55
3.3.2.2.1	Obtenção das áreas de treino.....	55
3.3.2.2.2	Índice de vegetação diferença normalizada (NDVI) .....	56
3.3.2.2.3	Modelo linear de mistura espectral (MLME).....	56
3.3.2.2.4	Segmentação.....	57
3.3.2.2.5	Classificação.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1	VEGETAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU.....	59
4.1.1	ABORDAGEM GERAL.....	59
4.1.2	Análise de dados de herbários.....	60

4.1.3	Tipos de vegetação (classes) e seus respectivos padrões espectrais. ....	61
4.1.3.1	Savana (Cerrado).....	64
4.1.3.2	Savana Estépica (Caatinga).....	66
4.1.3.3	Floresta Estacional Semidecidual.....	73
4.1.3.4	Refúgio Ecológico Montano (Campo Rupestre).....	77
4.1.3.5	Áreas de Tensão Ecológica (área de contato ou ecotóno).....	79
4.1.3.6	Áreas de uso (agricultura e agropecuária).....	82
4.1.3.7	Nuvens e sombras.....	84
4.1.4	SEPARABILIDADE DAS CLASSES.....	86
4.1.4.1	Índices de separabilidade das classes.....	86
4.1.4.2	Separabilidade dos pares de classes (do menor para o maior).....	94
4.2	PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	97
4.2.1	Índice de vegetação diferença normalizada (NDVI).....	97
4.2.2	Modelo linear de mistura espectral (MLME).....	97
4.2.2.1	Fração vegetação.....	101
4.2.2.2	Fração solo.....	102
4.2.2.3	Fração sombra.....	103
4.2.3	SEGMENTAÇÃO.....	103
4.2.4	CLASSIFICAÇÃO.....	106
4.2.4.1	Matriz de erro ou de confusão.....	109
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
	REFERÊNCIAS.....	117
	GLOSSÁRIO.....	129

